
**ФИТОПЛАНКТОН,
ФИТОБЕНТОС, ФИТОПЕРИФИТОН**

УДК 574.583(282.2):581(470.51.58)

**МЕЖГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА
ИРИКЛИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА**

© 2020 г. Е. А. Джаяни*

*Саратовский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии,
Саратов, Россия*

*e-mail: dgajani@mail.ru

Поступила в редакцию 13.05.2019 г.

После доработки 17.12.2019 г.

Принята к публикации 26.03.2020 г.

По данным 2016–2018 гг. обсуждаются межгодовые и сезонные изменения состава и развития фитопланктона верхнего и нижнего участков Ириклинского водохранилища (р. Урал) в зависимости от объема притока и сброса, уровня и температуры воды. При максимальном притоке и уровне воды в мае наблюдается уменьшение удельного числа видов и биомассы фитопланктона, в июле и октябре – их повышение. Различия между верхним и нижним плесами по числу видов и биомассе фитопланктона связаны с уровнем и температурой воды, объемом притока и сброса.

Ключевые слова: фитопланктон, структура, удельное число видов, биомасса, сезонные и межгодовые изменения, Ириклинское водохранилище

DOI: 10.31857/S0320965220050022

ВВЕДЕНИЕ

Ириклинское водохранилище создано в 1958 г. на р. Урал – третьем по протяженности водотоке Европы. Водоохранилище руслового типа, с многолетним регулированием стока, объем при нормальном подпорном уровне (245 м БС) 3.25 км³, площадь акватории 260 км², длина 73 км, наибольшая и средняя глубина 36 и 12.5 м. Водоем включает каскад русловых плесов, а также ряд крупных боковых заливов (Соловых и др., 2003). Качество вод и водный режим водохранилища определяется особенностями р. Урал, для которой характерны маловодность, низкий модуль стока, его большая межгодовая и сезонная неравномерность, незначительная доля грунтового питания (Сивохип, 2014; Соловых и др., 2003). Река и ее водосборный бассейн подвержены комплексному антропогенному воздействию, связанному с распашкой земель, уничтожением лесополос, поступлением коммунальных стоков, освоением рудных и нефтяных месторождений.

Состояние сообществ гидробионтов водохранилищ определяется многими факторами. В ряде работ показано влияние уровня воды на развитие ФП – основного продуцента автохтонного органического вещества в крупных пресных водоемах

(Гончаров, Даценко, 2002; Даценко, 2007; Корнева, 2015; Литвинов и др., 2003; Эдельштейн и др., 2017; Korneva, Mineeva, 1996). Как правило, большинство закономерностей выявлено на основе средних за вегетационный период величин, либо для отдельных сезонов и для водоема в целом. Однако хорошо известна неоднородность количественных и качественных характеристик ФП различных участков водохранилищ (Даценко, 2007; Даценко и др., 2017; Минеева, 2004; Эдельштейн и др., 2017). Она обусловлена особенностями морфометрии и температурного режима водоемов, сезонным развитием ФП и его обеспеченностью минеральным питанием. В связи с этим важно выяснить, насколько совпадает направленность изменений сообществ на отдельных участках водохранилища в условиях межгодовых колебаний гидрологических характеристик в разные сезоны года.

Цель работы – изучить межгодовые изменения количественных характеристик фитопланктона верхнего и нижнего русловых плесов Ириклинского водохранилища при различных температурах и уровнях воды, объемах притока и сброса.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материал собран в мае, июле и октябре 2016–2018 гг. на глубоководных и мелководных станци-

Сокращения: ПП – приплотинный плес; УВБ – удельное видовое богатство; ФП – фитопланктон, ЧП – Чапаевский плес.

Таблица 1. Сезонные изменения гидрологических характеристик р. Урал и Ириклинского водохранилища, отмеченные в годы исследования

Год	Май	Июль	Октябрь
Уровень воды в р. Урал, м БС			
2016	252.9	251.9	251.7
2017	252.6	251.9	251.7
2018	252.5	251.7	251.6
Уровень воды в водохранилище, м БС			
2016	244.6	244.6	243.2
2017	244.9	244.6	243.6
2018	244.0	243.9	242.9
Объем притока, м ³ /с			
2016	175.8	42.1	16.6
2017	104.4	27.6	16.6
2018	83.2	16.7	12.0
Объем сброса, м ³ /с			
2016	37.5	47.6	27.6
2017	67.8	60.0	30.0
2018	15.0	45.0	25.0

ях (не менее трех точек сбора) двух плесов Ириклинского водохранилища: верхнего ЧП (52°04' с.ш., 58°49' в.д., максимальная глубина 15 м) и нижнего ПП (51°40' с.ш., 58°37' в.д., максимальная глубина 36 м). Пробы ФП отбирали из поверхностного слоя воды, фиксировали раствором Утермеля с добавлением формалина и концентрировали осадочным методом (Гусева, 1959; Методические..., 1984). Учет водорослей проводили под световым микроскопом "Микромед-3" в камере "Учинская-2" объемом 0.01 мл, биомассу ФП определяли счетно-объемным методом. К доминирующим отнесены виды, биомасса которых была ≥10% общей. Состояние ФП оценивали по УВБ (числу видов в пробе) и биомассе, качество воды – по индексу сапробности Пантле-Букк в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Индикаторную значимость видов определяли по спискам Вегла (Wegll, 1983). Параллельно с отбором проб ФП измеряли температуру воды. Данные по уровню р. Урал и водохранилища, объему притока и сброса воды получены из материалов открытого доступа (www.gis.vodinfo.ru, <http://ueiv.ru>).

Проведен статистический анализ первичных данных. Проверка по критерию Колмогорова–Смирнова показала их нормальное распределение. Достоверность межгодовых различий средних характеристик ФП оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа ANOVA ($p < 0.05$), множественные сравнения групповых средних – по критерию наименьшей значимой разности (LSD-test). Для определения связей с

факторами среды использовали коэффициент корреляции Пирсона ($p < 0.05$).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В годы исследования отмечены изменения гидрологических характеристик р. Урал и Ириклинского водохранилища (табл. 1, 2). Минимальные уровень, объем притока и сброса во все сезоны вегетационного периода наблюдали в 2018 г. Наибольшая температура воды в ЧП в мае зарегистрирована в 2017 г., в июле – в 2018 г., в октябре – в 2016 г., в ПП – в июле 2017 и 2018 гг. и октябре 2018 г. Статистически значимые различия температуры воды между плесами отсутствовали, хотя в ЧП весной она была на 2.4–5.4°C выше, чем в ПП, летом – либо такая же (2017 г.), либо на 0.2–4.3°C выше, а осенью – на 3.5–5.4°C ниже. Прозрачность воды, независимо от сезона, в ПП была выше, чем в ЧП. В мае статистически значимых межгодовых различий прозрачности воды в ЧП не обнаружено, а в ПП максимальная величина была зафиксирована в 2016 г. В июле минимальная прозрачность воды в ЧП наблюдалась в 2016 г., в ПП – в 2018 г., а в октябре – в 2016 и 2017 гг. соответственно.

Развитие ФП и состав доминирующих видов в плесах водохранилища характеризовались сезонными и межгодовыми изменениями. В мае более высокие УВБ и биомассу ФП ежегодно фиксировали в ЧП (табл. 3, 4). Максимальные показатели в обоих плесах получены в 2018 г. При этом увеличение УВБ в ЧП происходило за счет цианобактерий, в ПП – диатомовых водорослей, а увеличение биомассы в ЧП за счет диатомовых и эвгленовых, в ПП – диатомовых и зеленых водорослей. В ЧП в 2016 г. в состав доминирующих видов входили *Cyclotella meneghiniana* Kütz. (в среднем 34% общей биомассы) и *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehrenberg (22%), в 2017 и 2018 гг. – *Stephanodiscus hantzschii* Grun. (46 и 62% соответственно). В ПП в 2016 г. доминировали виды рода *Cryptomonas* (42%), в 2017 г. – *Ceratium hirundinella* (O.F. Müller.) Bergh (20%), *Rhodomonas lens* Pasch. (12%), *Cryptomonas* sp. (12%), *Chroomonas acuta* Uterm. (15%), в 2018 г. – не определенные до вида представители сем. Volvocaceae (61%).

В июле более высокими показателями развития ФП, как и весной, ежегодно характеризовался ЧП (табл. 3, 4). В межгодовом аспекте наибольшие УВБ и биомасса отмечены в 2017 г., наименьшие – в 2016 г. В ЧП это связано с изменением числа видов цианобактерий и зеленых водорослей, в ПП – цианобактерий. К доминирующим видам в ЧП в 2016 г. относились *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen (24%), *Anabaena scheremetievi* Elenk. (41%), в 2017 г. – *A. flos-aquae* Born. et Flah. (16%), *Cryptomonas* sp. (15%), в 2018 г. – *Trachelomonas* sp. (16%), *T. planctonica* (Swir.)

Таблица 2. Изменение средней температуры и прозрачности воды в плесах Ириклинского водохранилища в 2016–2018 гг.

Показатель	Месяц	2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>
Чапаевский плес						
Температура, °С	V	13.1 ± 0.1 ^{*, b}	16.3 ± 0.3 ^{*, c}	13.5 ± 0.5	85.3	0.000
	VII	22.6 ± 0.4 ^{*, c}	23.7 ± 0.3 ^{*, c}	28.1 ± 0.3	237	0.000
	X	8.9 ± 0.3 ^{*, b, c}	8.0 ± 0.2	7.6 ± 0.1	31.6	0.001
Прозрачность, м	V	1.1 ± 0.1	1.3 ± 0.1	1.1 ± 0.1	1.91	0.228
	VII	0.6 ± 0.1 ^{*, b}	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1	5.44	0.045
	X	1.1 ± 0.1 ^{*, b, c}	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.1	7.13	0.026
Приплотинный плес						
Температура, °С	V	10.7 ± 1.0	10.9 ± 0.3	10.8 ± 1.1	0.051	0.951
	VII	22.4 ± 0.3 ^{*, b, c}	23.7 ± 0.3	23.8 ± 0.1	30.9	0.001
	X	12.4 ± 0.1 ^{*, b, c}	12.1 ± 0.1 ^{*, c}	13.0 ± 0.1	104	0.000
Прозрачность, м	V	2.7 ± 0.2 ^{*, b, c}	1.6 ± 0.1	1.8 ± 0.1	87.9	0.000
	VII	2.0 ± 0.2 ^{*, c}	2.1 ± 0.1 ^{*, c}	1.3 ± 0.2	22.1	0.002
	X	2.7 ± 0.2	2.3 ± 0.3 ^{*, c}	3.0 ± 0.0	7.40	0.024

Примечание. Здесь и в табл. 3–5: *F* – критерий Фишера; *p* – уровень значимости; достоверные различия между исследованными годами по ANOVA ($p < 0.05$) выделены жирным шрифтом; * – достоверные различия по LSD-test ($p < 0.05$).

(10%). В ПП в число доминантов в 2016 г. входили *Ceratium hirundinella* (61%), *Peridinium cinctum* (O.F.M.) Ehrenberg (22%), в 2017 г. – *Ceratium hirundinella* (44%), *Peridinium latum* Paulsen (18%), *P. cinctum* (13%), в 2018 г. – *Ceratium hirundinella* (73%).

В октябре более высокие УВБ и биомасса ФП в ЧП отмечены лишь в 2016 г., в остальные годы они были выше в ПП, а в 2018 г. в обоих плесах биомасса почти не различалась (табл. 3, 4). Увеличение УВБ в ЧП в 2016 г. происходило за счет цианобактерий, эвгленовых и стрептофитовых водорослей, в ПП в 2018 г. возрастало число видов диатомовых, в 2017 г. – зеленых. В ПП статистически значимых межгодовых различий биомассы не зафиксировано, но ее наибольшая величина зарегистрирована в 2017 г., наименьшая – в 2018 г. Высокую биомассу ФП в ЧП в 2016 г. создавали цианобактерии, диатомовые, эвгленовые и стрептофитовые водоросли. В ЧП в 2016 г. в состав доминирующего комплекса входили виды рода *Cryptomonas* (28%), *Aulacoseira granulata* (11%), в 2017 г. – *Cryptomonas* sp. (30%), *Peridinium cinctum* (22%), *Ceratium hirundinella* (11%), в 2018 г. – виды рода *Cryptomonas* (77%). В ПП в 2016 г. доминировали *Aulacoseira granulata* (26%), *Peridinium latum* (24%), в 2017 г. – *Aulacoseira granulata* (43%), *Peridinium latum* (17%), *Cryptomonas* sp. (10%), в 2018 г. – *Stephanodiscus* sp. (15%), *Cosmarium* sp. (15%), *Stephanodiscus hantzschii* (11%), *Cryptomonas* sp. (11%).

Изменения биомассы и видового состава доминирующих видов определяли пространственные и межгодовые флуктуации трофического ста-

туса и сапробности исследованных плесов водохранилища. По шкале Жукинского и др. (1976), биомасса ФП в мае 2016 и 2017 гг. в ЧП достигала значений, свойственных β-мезотрофным водам, в 2018 г. – β-эвтрофным, в ПП – соответственно α-мезотрофным и β-мезотрофным. В июле 2016 г. значения биомассы ФП в ЧП характеризовали β-мезотрофный статус вод, в 2017 и 2018 гг. – α-эвтрофный, в ПП ежегодно – β-мезотрофный. В октябре 2016 и 2017 гг. в ЧП биомасса ФП соответствовала β-мезотрофным условиям, в 2018 г. – α-мезотрофным, в ПП в 2016 и 2018 гг. – α-мезотрофным, в 2017 г. – β-мезотрофным.

Значения индекса сапробности в мае 2016 и 2017 гг. в обоих плесах соответствовали β-мезосапробным водам, лишь в 2018 г. в ЧП – α-мезосапробным (табл. 5). В июле индекс сапробности в ЧП характеризовал β-мезосапробные условия, в ПП в 2016 и 2018 гг. – олигосапробные, в 2017 г. – β-мезосапробные. В октябре 2016–2018 гг. в обоих плесах значения индекса соответствовали β-мезосапробным водам.

Корреляционный анализ показал, что уровень воды в водохранилище во все сезоны связан с объемом притока ($r = 0.81...0.96$), а при увеличении уровня возрастал объем сброса воды ($r = 0.97...0.99$). В свою очередь, с уровнем и сбросом воды в мае в ЧП обнаружены отрицательные корреляционные связи общей биомассы ФП, биомассы Bacillariophyta и Стуртофита ($r = -0.81 ... -0.89$). В ПП с уровнем воды отрицательно связано УВБ ($r = -0.70$), с уровнем и сбросом – число видов Bacillariophyta, общая биомасса ФП, биомасса Bacillariophyta и

Таблица 3. Изменение среднего УВБ ($m \pm SD$) фитопланктона в плесах Ириклинского водохранилища в 2016–2018 гг.

Месяц	Отдел	Чапаевский плес				Приплотинный плес					
		2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>	2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>
V	Vacillariophyta	17.3 ± 3.1	16.3 ± 2.5	16.0 ± 2.6	0.19	0.831	5.7 ± 2.9 ^{*,c}	4.0 ± 1.0 ^{*,c}	15.7 ± 5.1	10.05	0.012
	Cyanobacteria	0.7 ± 0.6 ^{*,c}	1.3 ± 0.6 ^{*,c}	3.3 ± 0.6	17.33	0.003	1.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	1.0 ± 1.0	1.42	0.325
	Chlorophyta	16.0 ± 6.1	13.7 ± 3.1	18.7 ± 3.8	0.93	0.445	2.7 ± 1.5	3.3 ± 1.2	4.3 ± 0.6	1.58	0.280
	Cryptophyta	5.0 ± 1.0	0	4.0 ± 1.7	0.75	0.435	4.7 ± 2.1	5.7 ± 0.6	4.7 ± 0.6	0.60	0.579
	Dinophyta	0.7 ± 1.2	1.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0	0.68	0.548	0.7 ± 0.6	2.0 ± 0.0	1.3 ± 0.6	5.00	1.000
	Euglenophyta	2.3 ± 0.6 ^{*,c}	4.7 ± 2.1	8.3 ± 2.1	9.15	0.015	0	0	0	—	—
	Streptophyta	0.7 ± 0.6	1.0 ± 1.0	1.0 ± 0.0	1.79	0.260	0	0	0.3 ± 0.6	1.00	0.422
	Chrysophyta	0	1.0 ± 1.0	0	16.20	0.028	0	0	0	—	—
	Xanthophyta	0	0	0.7 ± 0.6	—	—	0	0	0	—	—
	Всего	42.7 ± 11.2	39.3 ± 8.1	53.0 ± 5.3	2.10	0.204	15.0 ± 6.1 ^{*,c}	15.7 ± 1.5 ^{*,c}	27.3 ± 5.0	6.70	0.030
VII	Vacillariophyta	7.3 ± 1.5	8.7 ± 3.2	9.3 ± 2.1	0.55	0.604	6.3 ± 1.2	6.7 ± 4.6	5.3 ± 1.2	0.18	0.839
	Cyanobacteria	5.7 ± 1.2 ^{*,b}	12.0 ± 1.0 ^{*,c}	9.7 ± 2.1	13.85	0.006	2.7 ± 0.6 ^{*,b}	3.3 ± 1.2 ^{*,c}	1.0 ± 1.0	2.64	0.165
	Chlorophyta	11.7 ± 4.0 ^{*,b}	30.3 ± 6.1 ^{*,c}	28.3 ± 2.1	16.30	0.004	3.7 ± 3.2	5.3 ± 2.3	4.0 ± 1.0	0.42	0.675
	Cryptophyta	2.0 ± 1.0	5.0 ± 1.0	3.7 ± 1.5	4.69	0.059	3.7 ± 0.6	4.7 ± 0.6	4.7 ± 1.5	1.00	0.422
	Dinophyta	1.7 ± 0.6	5.0 ± 1.7	3.0 ± 1.7	4.00	0.079	2.7 ± 0.6	3.7 ± 0.6	4.7 ± 1.5	3.00	0.125
	Euglenophyta	3.3 ± 1.5	4.0 ± 1.0	4.3 ± 1.5	0.41	0.680	0	0	0	—	—
	Streptophyta	0	2.7 ± 1.2	1.7 ± 1.5	0.03	0.870	0	0.7 ± 1.2	1.7 ± 0.6	3.80	0.086
	Chrysophyta	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.00	0.000	0	0	1.0 ± 0.0	—	—
	Xanthophyta	0.7 ± 0.6	1.0 ± 0.0	1.0 ± 1.0	1.43	0.340	0	0	0	—	—
	Всего	32.7 ± 3.1 ^{*,b}	69.0 ± 6.2 ^{*,c}	61.3 ± 9.8	22.82	0.002	19.0 ± 4.4	24.3 ± 8.5	22.3 ± 2.9	0.66	0.553
X	Vacillariophyta	7.3 ± 1.5	5.0 ± 0.0	4.7 ± 2.9	1.78	0.247	8.0 ± 1.0 ^{*,c}	6.7 ± 1.5	10.7 ± 1.5	6.59	0.031
	Cyanobacteria	5.7 ± 1.2 ^{*,b,c}	1.0 ± 0.0	1.7 ± 1.2	21.00	0.002	2.7 ± 0.6	5.7 ± 2.3	2.7 ± 0.6	4.50	0.064
	Chlorophyta	18.0 ± 3.6 ^{*,b}	9.0 ± 5.3	8.7 ± 1.5	5.82	0.039	5.0 ± 1.0 ^{*,b}	9.0 ± 0.0 ^{*,c}	5.0 ± 1.0	24.00	0.001
	Cryptophyta	7.7 ± 0.6 ^{*,c}	6.3 ± 0.6	5.7 ± 0.6	9.33	0.014	4.3 ± 0.6	4.7 ± 1.5	5.7 ± 0.6	1.44	0.308
	Dinophyta	1.7 ± 0.6	0.7 ± 1.1	0.3 ± 0.6	2.17	0.196	1.3 ± 1.5	1.0 ± 0.0	0	1.86	0.236
	Euglenophyta	3.0 ± 0.0 ^{*,b,c}	0	0.3 ± 0.6	73.00	0.000	0	0	0	—	—
	Streptophyta	3.3 ± 0.6 ^{*,b,c}	0.7 ± 0.6	0	42.00	0.000	1.3 ± 1.1	3.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	3.75	0.101
	Chrysophyta	0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.50	0.630	0	0	0	—	—
	Xanthophyta	0	0	0	—	—	0	0	0	—	—
	Всего	46.7 ± 4.0 ^{*,b,c}	22.7 ± 6.1	21.7 ± 4.0	25.76	0.001	22.7 ± 3.1	30.0 ± 6.1	25.0 ± 0.0	2.73	0.144

Таблица 4. Изменение средней биомассы (мг/л) ($m \pm SD$) фитопланктона в плесах Ириклинского водохранилища в 2016–2018 гг.

Ме- сяц	Отдел	Чапаевский плес				Приплогинный плес					
		2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>	2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>
V	Vacillariophyta	3.76 ± 0.66 ^{*,c}	2.87 ± 1.20 ^{*,c}	10.53 ± 2.73	16.94	0.003	0.06 ± 0.03 ^{*,c}	0.05 ± 0.02 ^{*,c}	0.73 ± 0.22	28.42	0.001
	Cyanobacteria	0.001 ± 0.001	0.03 ± 0.03	0.02 ± 0.01	3.47	0.100	0.0004 ± 0.0004	0.015 ± 0.020	0.01 ± 0.005	1.07	0.400
	Chlorophyta	0.40 ± 0.51	0.25 ± 0.11	0.40 ± 0.15	0.24	0.789	0.01 ± 0.01 ^{*,c}	0.02 ± 0.01 ^{*,c}	2.01 ± 0.53	42.56	0.000
	Струтофyta	0.19 ± 0.02 ^{*,b}	0	0.23 ± 0.09 ^{*,b}	15.35	0.004	0.16 ± 0.11	0.25 ± 0.15	0.29 ± 0.04	1.12	0.386
	Dinophyta	0.07 ± 0.12	0.17 ± 0.09	0.08 ± 0.08	0.91	0.450	0.02 ± 0.03	0.13 ± 0.14	0.12 ± 0.11	0.99	0.424
	Euglenophyta	0.09 ± 0.04 ^{*,c}	0.36 ± 0.23 ^{*,c}	1.12 ± 0.41	11.66	0.009	0	0	0	—	—
	Streptophyta	0.02 ± 0.02	0.03 ± 0.03	0.06 ± 0.02	1.93	0.226	0	0	0.001 ± 0.002	1.00	0.422
	Chrysophyta	0	0.004 ± 0.004	0	3.27	0.110	0	0	0	—	—
	Xanthophyta	0	0	0.004 ± 0.004	2.29	0.183	0	0	0	—	—
	Общая	4.53 ± 1.21 ^{*,c}	3.7 ± 1.3 ^{*,c}	12.4 ± 3.2	15.32	0.004	0.3 ± 0.2 ^{*,c}	0.5 ± 0.3 ^{*,c}	3.2 ± 0.7	43.05	0.000
VII	Vacillariophyta	1.02 ± 0.34	0.66 ± 0.27	0.43 ± 0.19	3.59	0.094	0.26 ± 0.01	0.44 ± 0.39	0.30 ± 0.14	0.45	0.656
	Cyanobacteria	1.40 ± 0.34	2.04 ± 0.87 ^{*,c}	0.61 ± 0.28	4.87	0.055	0.03 ± 0.01	0.21 ± 0.10 ^{*,c}	0.0008 ± 0.001	11.20	0.009
	Chlorophyta	0.20 ± 0.16 ^{*,c}	0.81 ± 0.11 ^{*,c}	2.27 ± 0.58	26.88	0.001	0.06 ± 0.05	0.19 ± 0.12	0.08 ± 0.03	1.89	0.245
	Струтофyta	0.27 ± 0.18	1.75 ± 1.16	0.91 ± 0.60	2.85	0.135	0.11 ± 0.07	0.26 ± 0.22	0.04 ± 0.01	2.30	0.181
	Dinophyta	0.17 ± 0.16	1.68 ± 1.29	0.89 ± 0.60	2.52	0.160	2.16 ± 0.75	3.61 ± 2.46	2.83 ± 1.69	0.50	0.630
	Euglenophyta	0.10 ± 0.09 ^{*,c}	0.50 ± 0.34	2.36 ± 1.34	6.79	0.029	0	0	0	—	—
	Streptophyta	0	0.06 ± 0.05	0.04 ± 0.03	2.32	0.180	0	0.03 ± 0.05	0.06 ± 0.01	2.84	0.135
	Chrysophyta	0.003 ± 0.0005	0.003 ± 0.005	0.01 ± 0.01	0.24	0.797	0	0	0.01 ± 0.003	18.89	0.003
	Xanthophyta	0.001 ± 0.001	0.002 ± 0.000	0.004 ± 0.006	0.45	0.656	0	0	0	—	—
	Общая	3.2 ± 1.2	7.5 ± 2.3	7.5 ± 3.3	3.29	0.108	2.6 ± 0.8	4.7 ± 2.7	3.3 ± 1.6	1.03	0.414
X	Vacillariophyta	0.70 ± 0.27 ^{*,b,c}	0.14 ± 0.12	0.03 ± 0.03	12.96	0.007	0.40 ± 0.11	1.09 ± 0.91	0.18 ± 0.01	2.40	0.171
	Cyanobacteria	0.14 ± 0.10 ^{*,b,c}	0.0007 ± 0.0006	0.0017 ± 0.0006	6.12	0.036	0.02 ± 0.02	0.04 ± 0.01	0.004 ± 0.003	3.04	0.122
	Chlorophyta	0.18 ± 0.13	0.04 ± 0.02	0.02 ± 0.01	4.26	0.070	0.02 ± 0.00	0.08 ± 0.09	0.03 ± 0.04	0.93	0.444
	Струтофyta	1.15 ± 0.25 ^{*,c}	0.56 ± 0.39	0.35 ± 0.25	5.66	0.042	0.11 ± 0.04	0.36 ± 0.23	0.09 ± 0.02	3.84	0.084
	Dinophyta	0.08 ± 0.04	0.36 ± 0.63	0.004 ± 0.01	0.81	0.488	0.25 ± 0.22	0.33 ± 0.15	0	3.46	0.100
	Euglenophyta	0.18 ± 0.06 ^{*,b,c}	0	0.0007 ± 0.0012	24.96	0.001	0	0	0	—	—
	Streptophyta	0.05 ± 0.02 ^{*,b,c}	0.002 ± 0.003	0	19.68	0.002	0.02 ± 0.02	0.06 ± 0.05	0.07 ± 0.09	0.34	0.722
	Chrysophyta	0	0.005 ± 0.01	0.003 ± 0.005	0.57	0.594	0	0	0	—	—
	Xanthophyta	0	0	0	—	—	0	0	0	—	—
	Общая	2.50 ± 0.49 ^{*,c}	1.11 ± 0.98	0.40 ± 0.28	8.03	0.020	0.81 ± 0.36	1.95 ± 1.31	0.37 ± 0.15	3.23	0.112

Таблица 5. Изменение индекса сапробности ($m \pm SD$) в плесах Ириклинского водохранилища в 2016–2018 гг.

Месяц	2016 ^a	2017 ^b	2018 ^c	<i>F</i>	<i>p</i>
Чапаевский плес					
V	2.32 ± 0.18	2.38 ± 0.10	2.54 ± 0.03	2.69	0.147
VII	2.05 ± 0.02	1.98 ± 0.16	2.04 ± 0.04	0.51	0.627
X	2.00 ± 0.19	1.83 ± 0.03	2.05 ± 0.16	1.94	0.224
Приплотинный плес					
V	1.91 ± 0.18	1.81 ± 0.14	1.73 ± 0.10	1.23	0.357
VII	1.46 ± 0.04	1.60 ± 0.15* ^c	1.41 ± 0.03	3.82	0.085
X	2.04 ± 0.15	2.14 ± 0.12	1.98 ± 0.20	0.72	0.525

Chlorophyta ($r = -0.76 \dots -0.89$). В июле в ЧП с уровнем воды положительно коррелировала биомасса Cyanobacteria ($r = 0.70$), отрицательно – Chlorophyta и Euglenophyta ($r = -0.75$ и -0.71), в ПП отрицательно – число видов и биомасса Chrysophyta ($r = -0.91 \dots -0.93$), со сбросом воды положительно – биомасса цианобактерий ($r = 0.76$). В октябре лишь в ПП получена положительная корреляция между уровнем водохранилища и показателями ФП – числом видов Chlorophyta, Cyanobacteria, общей биомассой ФП, биомассой Cyanobacteria, Dinophyta и Cryptophyta ($r = 0.68 \dots 0.74$), а также отрицательная – числом видов диатомовых ($r = -0.83$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные позволяют описать особенности сезонного развития и пространственного распределения ФП Ириклинского водохранилища при межгодовых колебаниях уровня и температуры воды. В мае в обоих плесах наибольшие количественные показатели ФП формировались в год с минимальными уровнем, объемом притока и сброса воды. При этом в ЧП в этих условиях отмечен максимальный индекс сапробности и повышение трофического статуса, оцененного по биомассе ФП. В июле наибольшие УВБ, общая биомасса ФП и биомасса Cyanobacteria в обоих плесах отмечены при максимальном уровне в 2017 г., в ПП одновременно увеличивался индекс сапробности. Однако показатели водного режима в июле 2017 г. почти не отличались от таковых в 2016 г. Очевидно, ведущую роль играла температура воды. При ее высоких значениях в 2017 г. количественные характеристики ФП были выше, чем в 2016 г., и незначительно отличались от полученных при минимальных значениях уровня, объема притока и сброса, но высокой температуре воды в 2018 г. В октябре наибольшие УВБ и биомасса ФП в ЧП отмечены при максимальных значениях объема притока и температуры воды (2016 г.), в ПП – при максимальных объ-

емах притока и сброса, а также уровне воды в водохранилище (2017 г.).

Полученные данные не согласуются с частью выводов, сделанных при изучении Москворецких и Волжских водохранилищ (Даценко, 2007; Литвинов и др., 2003; Корнева, 2015; Эдельштейн и др., 2017; Korneva, Mineeva, 1996). Так, на примере ФП Можайского водохранилища показано, что максимальное обилие первичных продуцентов весной наблюдается при увеличении объема паводка, способствующем поступлению биогенных веществ с водосбора (Даценко и др., 2017). Одновременно в большинстве водохранилищ обнаружена отрицательная связь между биомассой ФП и уровнем воды, что объясняется увеличением поступления биогенных веществ из донных осадков (внутренней биогенной нагрузкой) при снижении уровня (Гончаров, Даценко, 2002; Даценко, 2007; Корнева, 2015). В Ириклинском водохранилище максимальный приток весной не приводил к увеличению количественных характеристик ФП, даже на фоне более высокой температуры воды. Снижение биомассы ФП при подъеме уровня наблюдалось лишь в мае, а в июле и октябре она возрастала. По-видимому, характер изменения ФП при увеличении уровня воды и объема притока зависит от ряда факторов, которые регулируют диффузный обмен между водной толщей и придонными слоями, а также поступление питательных веществ с водосбора и с водами питающей реки. Так, для оз. Балхаш показано, что связь между уровнем воды и развитием планктонных сообществ может быть как отрицательной, так и положительной, а направленность изменений определяется соотношением биогенных и органических веществ, накопленных в водоеме и поступающих с водосбора (Крупа и др., 2013). Такая ситуация может наблюдаться не только в разнотипных водоемах, но и в пределах одного водного объекта в разные годы, а также сезоны вегетационного периода. В Ириклинском водохранилище в годы с повышенным притоком и сбросом в мае речные воды разбавляли водную массу водохранилища, обогащенную питатель-

ными веществами, которые поступали с поверхностным стоком в начале и на пике половодья, а также были накоплены ранее. В межень этот пул включался в круговорот и расходовался, а увеличение притока в июле и октябре вновь обогащало водные массы питательными веществами, о чем свидетельствует повышение биомассы ФП и цианобактерий, а также индекса сапробности.

Объем притока и сброса, уровень и температура воды определяют разницу УВБ и биомассы ФП в верхнем (ЧП) и нижнем (ПП) участках водохранилища. Максимальные показатели ФП в мае и июле 2016–2018 гг., а также в октябре 2016 г. наблюдались в верхнем плесе. По-видимому, это в большей степени связано с аккумуляцией здесь веществ, приносимых р. Урал. Кроме того, известно, что вынос биогенных элементов из придонных слоев к поверхности водоема интенсивнее происходит при меньших глубинах (Гончаров, Абдуллаева, 2014; Даценко и др., 2017). Именно ЧП характеризуется меньшей глубиной, чем ПП (Соловых и др., 2013). Однако в октябре 2017 г. наибольшие биомасса и УВБ ФП отмечены в ПП, а в октябре 2018 г. различия почти отсутствовали. По нашему мнению, в октябре 2017 г., благодаря большому объему притока и максимальному сбросу воды, водные массы верхних участков, принимающие речные воды с высокой концентрацией биогенных веществ (Шашуловская и др., 2017), наиболее активно проникали в ПП и, наряду с более высокой температурой воды, дополнительно стимулировали развитие ФП. В октябре 2018 г., напротив, минимальный объем речных вод, а также более высокая температура воды, чем в другие годы, способствовали наименьшим различиям числа видов и биомассы ФП в обоих плесах.

Выводы. Межгодовые и сезонные изменения биомассы и числа видов ФП Ириклинского водохранилища определяются уровнем воды, ее притоком и сбросом, а также температурой. Изменения ФП верхнего и нижнего участков водохранилища происходят сходным образом: в мае в годы с большим объемом притока и высоким уровнем воды удельное число видов и биомасса ФП сокращается, а в июле и октябре — увеличивается. Максимальное число видов и биомасса ФП характерны для верхнего участка водохранилища, однако, осенью, при увеличении притока, уровня, сброса и температуры воды наибольшие показатели отмечены в низовье.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам “СаратовНИРО” за помощь в сборе проб.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Государственного задания № 076-00005-18-00.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гончаров А.В., Абдуллаева К.М. 2014. Особенности фитопланктона Москворецких водохранилищ в связи с их глубоководностью и изменением уровня воды // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. № 34. С. 128.
- Гончаров А.В., Даценко Ю.С. 2002. Зависимость степени развития фитопланктона от уровня воды в москворецких водохранилищах // Актуальные проблемы водохранилищ: Тез. конф. Борок. С. 64.
- Гусева К.А. 1959. К методике учета фитопланктона // Тр. Ин-та биологии водохр. АН СССР. Вып. 2. № 5. С. 44.
- Даценко Ю.С. 2007. Эвтрофирование водохранилищ. Гидроло-гидрохимические аспекты. Москва: ГЕОС.
- Даценко Ю.С., Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. 2017. Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище // Тр. Карел. науч. центра РАН. Вып. 10. С. 73.
- Жукинский В.Н., Оксюк О.П., Цеб Я.Я., Георгиевский В.Б. 1976. Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и его применение для анализа качества вод // Гидробиол. журн. Т. 12. № 6. С. 103.
- Корнева Л.Г. 2015. Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома: Костромской печатный дом.
- Крупа Е.Г., Цой В.Н., Лопарева Т.А. и др. 2013. Многолетняя динамика гидробионтов озера Балхаш и ее связь с факторами среды // Вестник АГТУ. Серия: Рыб. хоз-во. № 2. С. 85.
- Литвинов А.С., Пырина И.Л., Рошупко В.Ф. 2003. Сопряженность межгодовой изменчивости характеристик гидрометеорологического режима и продуктивности фитопланктона в Рыбинском водохранилище // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: Тез. конф. Минск: Белорус. гос. ун-т. С. 302.
- Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Фитопланктон и его продукция. 1984. Ленинград: ГосНИОРХ.
- Минеева Н.М. 2004. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. Москва: Наука.
- Сивохин Ж.П. 2014. Анализ эколого-гидрологической специфики трансграничного бассейна р. Урал в связи с регулированием стока // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. № 3. С. 87.
- Соловых Г.Н., Раимова Е.К., Осадчая Н.Д., Фабарисова Л.Г., Никитина Л.П. 2013. Гидробиологическая характеристика Ириклинского водохранилища. Екатеринбург: Урал. отд. РАН.

- Шашуловская Е.А., Мосияш С.А., Филимонова И.Г., Гришина Л.В., Кузина Е.Г. 2017. Формирование гидрoхимического режима верхнего течения р. Урал в условиях техногенного регулирования стока // Поволжский экологический журнал. № 4. С. 417. <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-4-417-425>
- Эдельштейн К.К., Пуклаков В.В., Даценко Ю.С. 2017. Экспериментально-теоретические основы диагноза и прогноза цветения в водохранилищах-источниках муниципального водоснабжения // Вода Magazine. № 4 (116). С. 34.
- Korneva L.G., Mineeva N.M. 1996. Phytoplankton composition and pigment concentration as indicator of water quality in the Rybinsk Reservoir // Hydrobiologia. V. 322 (1/3). P. 255. <https://doi.org/10.1007/BF00031837>
- Sládeček V. 1973. System of Water Quality from the Biological Point of View // Arch. Hydrobiol. Beih. 7. Ergebnisse der Limnologie. H. 7.
- Wegl R. 1983. Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. Bd 26.

Interannual Changes in Phytoplankton of the Iriklinisky Reservoir

E. A. Dzhaiani*

Russian Research Federal Institute for Fishery and Oceanography, Saratov Branch, Saratov, Russia

**e-mail: dgajani@mail.ru*

The interannual changes in the phytoplankton of the upper and lower parts of the Iriklinisky reservoir during different seasons of the vegetation period are described, depending on the level regime, inflow, discharge of water and its temperature. The found correlations show the leading role of the considered factors. It was revealed that in May an increase in the inflow and water level leads to depletion of the specific number of phytoplankton species and biomass, in contrast to the situation in July and October, when an increase in these indicators is observed. It is shown that the features of the ratio of the number of species and the biomass of phytoplankton in the upper and lower reaches are related to the level and discharge modes, as well as the water temperature.

Keywords: Iriklinisky Reservoir, phytoplankton, specific number of species, biomass, structure, seasonal and interannual changes