

УДК 574.583(282.2):581(470.51.58)

## ФИТОПЛАНКТОН ПРОТОЧНОГО И ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО УЧАСТКОВ р. УРАЛ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ

Е. А. Джаяни

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства  
и океанографии», Саратовский филиал  
Россия, 410002, Саратов, Чернышевского, 152  
E-mail: dgajani@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.02.2019 г., после доработки 25.07.2019 г., принята 14.10.2019 г.

*Джаяни Е. А.* Фитопланктон проточного и зарегулированного участков р. Урал в разные сезоны // Поволжский экологический журнал. 2020. № 1. С. 31 – 43. DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-31-43>

Описаны особенности сезонных изменений числа видов, биомассы и соотношения таксономических групп фитопланктона проточного и зарегулированного участков р. Урал. На незарегулированном участке реки максимальное число видов зарегистрировано в июле, в верхней и нижней зонах водохранилища – в октябре. Максимальная биомасса фитопланктона на незарегулированном участке реки и в нижней зоне водохранилища наблюдалась летом, в верхней зоне – весной. Обсуждается влияние сочетания ряда параметров водных объектов и факторов среды: типологии, морфометрии, скорости течения, поступления веществ с водосбора и из лежащих выше участков, температуры на количественные характеристики сообществ. Показана ведущая роль температуры воды для развития фитопланктона незарегулированных участков реки и низовья водохранилища, которые характеризуются условиями среды, препятствующими обильному развитию фитопланктона: высокими скоростями течения, поздним наступлением биологической весны и низкой обеспеченностью питательными веществами. Величины биомассы на незарегулированных участках реки соответствуют  $\beta$ -мезотрофно –  $\beta$ -эвтрофным водам, в верхней зоне водохранилища –  $\beta$ -мезотрофным, на приплотинном участке –  $\alpha$ - $\beta$ -мезотрофным. По индексу сапробности вся исследованная акватория характеризуется  $\beta$ -мезосапробными условиями.

*Ключевые слова:* фитопланктон, р. Урал, Ириклинское водохранилище, сезонные изменения, количественные характеристики.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-31-43>

### ВВЕДЕНИЕ

Водохранилища кардинально изменяют гидрологический режим рек, что приводит к трансформации сообществ гидробионтов. С одной стороны, описанию особенностей их формирования посвящено значительное число работ (на примере каскадов водохранилищ Волги, Ангары, Днепра, Енисея и т.д.), с другой стороны, разнообразие речных экосистем, затронутых гидростроительством, столь велико, что каждая крупная река и разные зоны ее водохранилищ требуют отдельного изучения. Это позволит выявить общие закономерности и специфические черты фор-

мирования сообществ и экологического состояния этих сложных квазиприродных систем.

Река Урал – один из крупных водотоков Европы (длина 2428 км), экологическое состояние которого определяет комплекс антропогенных факторов, в числе которых распашка целинных земель, уничтожение лесополос, коммунальные стоки, интенсивное освоение рудных и нефтяных месторождений, а также зарегулирование стока. Заполнение наиболее крупного на реке Ириклинского водохранилища началось в 1958 г., нормальный подпорный уровень (НПУ) достигнут в 1966 г. Водохранилище руслового типа, регулирование многолетнее, при НПУ (245 м) объем составляет 3.25 км<sup>3</sup>, площадь акватории – 260 км<sup>2</sup>, длина – 73 км, наибольшая и средняя глубины – 36 и 12.5 м. Водосбор р. Урал до ГЭС составляет 36640 км<sup>2</sup>. Геология, рельеф, почвы, растительность и климат обусловили своеобразный гидрологический режим всего бассейна реки, для которого характерны маловодность, низкий модуль стока, незначительная роль грунтового питания, большая межгодовая и сезонная неравномерность стока (Соловых и др., 2003; Сивохип, 2014). Очевидно, значительные колебания стока способствуют изменению состояния сообществ гидробионтов в течение вегетационного периода и в проточных, и зарегулированных участках реки. В качестве индикатора изменений биологического режима разнотипных водоемов и водотоков успешно используются количественные и структурные характеристики одного из важнейших элементов водных экосистем – фитопланктона (Охапкин, 1997; Даценко, 2007; Корнева, 2015; Даценко и др., 2017; Эдельштейн и др., 2017).

Цель статьи – изучение сезонных особенностей структуры фитопланктона проточного и зарегулированного участков р. Урал.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Фитопланктон (ФП) собирали в мае, июле и октябре 2016 г. в поверхностном слое русловых и прибрежных участков в р. Урал выше зоны выклинивания подпора (52°16' с.ш., 58°55' в.д. и 52°16' с.ш., 58°54' в.д.), в верхнем (втором по продольному профилю – Чапаевском) (52°04' с.ш., 58°49' в.д.) и нижнем (приплотинном) (51°40' с.ш., 58°37' в.д.) русловых плёсах Ириклинского водохранилища. Параллельно измеряли глубину, прозрачность, температуру и скорость течения воды. Пробы ФП фиксировали раствором Утермеля с добавлением формалина; камеральную обработку проводили общепринятым методом (Методические..., 1984). Фитопланктон оценивали по средним величинам числа видов в пробе, биомассе и доле таксономических групп организмов. При анализе сообществ использовали индекс Шеннона, рассчитанный по биомассе. Проведена оценка сапробности по индексу Пантле – Букка в модификации Сладечека (Sládeček, 1973). Индикаторная значимость видов определялась по спискам Р. Вегла (Wegl, 1983). Для анализа использованы непараметрические методы статистики, которые включали оценку достоверности различий по критерию Краскела – Уоллиса ( $p < 0.05$ ) и определение коэффициента корреляции Спирмена ( $p < 0.05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Река Урал выше зоны выклинивания подпора водохранилища. Максимальная прозрачность воды наблюдалась при минимальной скорости течения осенью, которая в разных зонах варьировала в пределах 0.07 – 0.8 м/с (в среднем 0.3 м/с), в то время как в мае – 0.7 – 1.5 (1.0), в июле – 0.03 – 2.6 (1.0). Наибольшая температура воды отмечена в июле, наименьшая – в октябре (см. табл. 1).

**Таблица 1**

Средняя (*min–max*) глубина, прозрачность и температура воды исследованных участков

Участок	Месяц	Глубина, м	Прозрачность, м	Температура, °С
I	05	0.4 (0.3–0.7)	0.4	13.1 (13.0–13.1)
	07	0.6 (0.3–0.8)	0.5	23.0 (23)
	10	0.5 (0.2–0.8)	0.8	4.5 (4.4–4.5)
II	05	4.7 (3–6)	1.1 (1–1.2)	13.1 (13–13.2)
	07	5.7 (3–8)	0.6 (0.5–0.7)	22.6 (22.3–23)
	10	4.3 (1.5–8)	1.1 (1–1.2)	8.9 (8.6–9.2)
III	05	12.7 (3–31)	2.7 (2.6–2.9)	10.7 (9.5–11.5)
	07	14.8 (3.5–33)	2.0 (1.8–2.2)	22.4 (22.2–22.7)
	10	12.8 (4.8–28.2)	2.7 (2.6–2.9)	12.4 (12.4–12.5)

*Примечание.* I – р. Урал выше зоны выклинивания водохранилища, II – Чапаевский плёс водохранилища, III – нижний (приплотинный) плёс водохранилища.

Максимальное число видов ФП в пробе обнаружено в июле, минимальное в октябре ( $p = 0.048$ ). Значимое изменение удельного числа видов определялось представленностью Chlorophyta ( $p = 0.048$ ). Кроме того, в течение периода исследований сокращалось количество видов Euglenophyta ( $p = 0.032$ ) (табл. 2).

**Таблица 2**

Среднее удельное число видов фитопланктона и коэффициент его вариации ( $C_V$ ) на исследованных участках

Участок	Месяц	Таксономические группы								Всего
		1	2	3	4	5	6	7	8	
I	05	23.5	0.5	12.5	2.5	0.0	2.3* <sup>10</sup>	0.3	2.0	43.5
	07	18.0	0.3	31.3* <sup>10</sup>	3.3	1.5	1.0	0.8	0.0	56.5* <sup>10</sup>
	10	20.5	0.5	10.5	1.5	0.0	0.3	0.5	0.5	34.5
	$C_V$	21	124	57	45	160	106	160	124	26
II	05	17.3	0.7	16.0	5.0	0.7	2.3	0.7	0.0	42.7
	07	7.3	5.7	11.7	2.0	1.7	3.3	0.0	0.3	32.7
	10	7.3	5.7	18.0	7.7	1.7	3.0	3.3	0.0	46.7
	$C_V$	49	91	40	68	95	63	126	181	23
III	05	5.7	1.3	2.7	4.7	0.7	0.0	0.0	0.0	15.0
	07	6.3	2.7	3.7	3.7	2.7	0.0	0.0	0.0	19.0
	10	8.0	2.7	5.0	4.3	1.3	0.0	1.3	0.0	22.7
	$C_V$	29	38	56	28	79	0	198	0	28

*Примечание.* I – р. Урал выше зоны выклинивания водохранилища, II – Чапаевский плёс водохранилища, III – нижний (приплотинный) плёс водохранилища; 1 – Bacillariophyta; 2 – Cyanophyta; 3 – Chlorophyta; 4 – Cryptophyta; 5 – Dinophyta; 6 – Euglenophyta; 7 – Streptophyta; 8 – Chrysophyta; \*<sup>10</sup> – достоверные отличия с данными, полученными в месяце, указанном в надстрочном индексе.

В июле также зарегистрирована наибольшая биомасса ФП, которая достоверно превышала данные в мае ( $p = 0.024$ ) за счет Bacillariophyta ( $p = 0.018$ ) (табл. 3). В октябре значительно снижалась биомасса Chlorophyta и Cryptophyta, она была меньше, чем в июле (соответственно  $p = 0.007$  и  $0.021$ ). Биомасса ФП в мае и октябре характеризовала  $\beta$ -мезотрофный статус вод, в июле –  $\beta$ -эвтрофный (Жукинский, 1976, цит. по: Китаев, 2007).

**Таблица 3**

Средние значения биомассы (В, мг/л над чертой) и доли (%) таксономических групп фитопланктона в общей биомассе, индексов Шеннона ( $H_B$ , бит/г), сапробности Пантле – Букка ( $S$ ) и коэффициенты их вариации ( $C_V$ ) на исследованных участках

Участок	Месяц	В/%								Общая	$H_B$	$S$
		Таксономические группы										
		1	2	3	4	5	6	7	8			
I	05	1.057 74.6	0.003 0.2	0.204 14.4	0.039 2.8	0.000 0.0	0.070 5.0	0.009 0.7	0.035 2.4	1.417	4.1	2.10
	07	14.426*05 84.3	0.024 0.1	2.376 13.9	0.092 0.5	0.146 0.9	0.015 0.1	0.020 0.1	0.000 0.0	17.103*05	2.3*05	2.50*05
	10	2.894 96.4*05	0.000 0.0	0.097*07 3.2*05	0.006*07 0.2*05	0.000 0.0	0.002 0.0	0.003 0.1	0.001 0.0	3.003	3.0	2.20
	$C_V$	109 16	302 203	137 61	108 124	156 168	155 174	162 231	157 153	110	26	13
II	05	3.756 83.0	0.001 0.0	0.402 8.9	0.187 4.1	0.070 1.5	0.092 2.0	0.018 0.4	0.000 0.0	4.528	3.1	2.30
	07	1.021 32.3*05	1.404*05 44.4*05	0.203 6.4	0.266 8.4	0.165 5.2	0.096 3.0	0.000 0.0	0.003 0.2	3.159	2.7	2.05
	10	0.701 28.1	0.144 5.8	0.182 7.3	1.154*05 46.2	0.082 3.3	0.183 7.3	0.049 2.0	0.000 0.0	2.495	3.3	2.01
	$C_V$	88 54	164 157	119 91	119 131	135 119	91 96	132 159	250 230	50	16	16
III	05	0.058 23.6	0.000 0.2	0.010 4.2	0.157 63.4	0.021 8.6	0.000 0.0	0.000 0.0	0.000 0.0	0.247	3.0	1.83
	07	0.262 10.1	0.028 1.1	0.038 1.4	0.108 4.2	2.162*10 83.2*10	0.000 0.0	0.000 0.0	0.000 0.0	2.598*05	1.9	1.45
	10	0.398*05 48.9	0.017 2.0	0.023 2.9	0.110 13.6	0.247 30.4	0.000 0.0	0.018 2.3	0.000 0.0	0.814	3.1	2.03
	$C_V$	67 68	117 119	105 69	59 103	135 94	0 0	208 204	0 0	94	25	21

Примечание. Условные обозначения см. табл. 1, 2.

Основу биомассы составляли Bacillariophyta, причем их доля в течение периода изучения возрастала, в результате чего значения в мае и октябре различались достоверно ( $p = 0.005$ ), доли Chlorophyta и Cryptophyta, напротив, к октябрю сокращались (соответственно  $p = 0.042$  и  $0.013$ ). Максимальный индекс Шеннона отмечен в мае, минимальный – в июле ( $p = 0.005$ ). Индекс сапробности в мае и октябре характеризовал  $\beta$ -мезосапробные условия, в июле его значение находилось на границе  $\beta$ - и  $\alpha$ -мезосапробных вод, различия величин в мае и июле были достоверными ( $p = 0.008$ ) (см. табл. 3). Изменения индексов связаны с составом и суммарной долей доминирующих видов. Так, весной в реке доминировал вид-индикатор  $\beta$ -мезосапробных условий *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compere, средняя доля которого составляла 21.3% от общей биомассы. Летом преобладали виды-индикаторы  $\alpha$ -мезосапробных вод – *Stephanodiscus hantzschii* Grunow и *Cyclotella*

*meneghiniana* Kützing, первый из которых составлял 23.5% биомассы, второй – 55.0%. Осенью среди доминантов также отмечен *Stephanodiscus hantzschii* (23.4%) и появлялся индикатор  $\beta$ -мезосапробных вод – *Surirella brebissonii* var. *kuetzingii* Krammer & Lange-Bertalot (syn. *Surirella ovata* Kützing) (37.1%).

*Чапaeвский плёс водохранилища.* Максимальная температура воды и минимальная прозрачность зафиксированы в июле (см. табл. 1). Наименьшее количество видов ФП в пробе наблюдалось в июле, наибольшее – в октябре, а биомасса снижалась от мая к октябрю (см. табл. 2, 3). В течение периода исследования увеличивалась биомасса Cryptophyta, в результате чего в октябре она была выше, чем в мае ( $p = 0.032$ ), а в июле была больше биомасса Cyanophyta ( $p = 0.016$ ). По биомассе ФП во все сезоны плёс имел  $\beta$ -мезотрофный статус. Основа биомассы представлена Bacillariophyta, минимальную долю они составляли в июле при увеличении доли Cyanophyta, в результате чего она достоверно превышала значения в мае ( $p = 0.016$ ) (см. табл. 3).

Достоверных различий индекса Шеннона в разные сезоны не обнаружено, хотя минимальное значение зарегистрировано в июле, максимальное – в октябре (см. табл. 3). Это связано с тем, что летом доля двух доминантов – *Aulacoseira granulata* (Ehrenberg) Simonsen и *Anabaena scheremetieviae* Elenkin – составила 65.8% от общей биомассы, а в октябре, когда доминировали три вида – *Aulacoseira granulata*, *Cryptomonas curvata* Ehrenberg и *Cryptomonas* sp., – их суммарная доля была 48%. Весной в плёсе доминировали *Cyclotella meneghiniana* и *Ulnaria ulna*, доля которых составляла 55.9%. В течение всего времени изучения индекс сапробности характеризовал  $\beta$ -мезосапробные условия (см. табл. 3).

*Приплотинный плёс водохранилища.* Как и в верховье водохранилища, минимальная прозрачность зафиксирована при максимальной температуре воды в июле (см. табл. 1). В течение периода изучения количество видов ФП в пробе увеличивалось, хотя различия были недостоверными (см. табл. 2). Наименьшая биомасса ФП обнаружена в мае, в июле она значительно увеличивалась ( $p = 0.045$ ), а в октябре – снижалась, но была выше, чем в мае (см. табл. 3). Увеличение общей биомассы в июле обеспечивалось Dinophyta, биомасса которых и доля в общей биомассе превышали значения в октябре ( $p = 0.046$  и  $0.045$  соответственно). В течение периода изучения возрастала биомасса Bacillariophyta, и в октябре она значимо превышала значения в мае ( $p = 0.009$ ). По величинам биомассы в мае и октябре плёс имел  $\alpha$ -мезотрофный статус, в июле –  $\beta$ -мезотрофный.

Минимальный индекс Шеннона зарегистрирован в июле, причем в это время отмечен индекс сапробности, характеризующий олигосапробные условия, в то время как весной и осенью он соответствовал  $\beta$ -мезосапробным (см. табл. 3). Это связано с составом и суммарной долей доминирующих видов: в июле преобладали *Ceratium hirundinella* (O.F.M.) Bergh и *Peridinium cinctum* (O.F.M.) Ehrenberg, выступающие индикаторами соответственно олиго- и  $\beta$ -мезосапробных вод, их суммарная доля в общей биомассе была 83.1%, в мае преобладали *Cryptomonas* sp., а также индикаторы  $\beta$ -мезосапробных условий *Cryptomonas curvata* и *Rhodomonas lens* Pascher (51.5%), а в октябре –  $\beta$ -мезосапроб *Aulacoseira granulata* и *Peridinium latum* Paulsen (50.3%).

В целом полученные данные показали, что сезонные изменения ФП различаются на проточном и зарегулированном участках, причем в пределах последнего также обнаружены отличия. В реке наибольшее удельное число видов ФП зарегистрировано в июле, в плёсах водохранилища – в октябре, при этом на участках водохранилища сезонные различия были недостоверными. Максимальная биомасса ФП в реке и в приплотинном плёсе наблюдалась летом, в верхнем плёсе – весной. По всей видимости, пространственно-временное распределение ФП связано с сочетанием ряда факторов, объяснение роли которых представлено ниже.

В июле в реке снижаются расходы воды, о чем свидетельствуют литературные данные (Павлейчик, Сивохин, 2013) и сведения об общем притоке воды в водохранилище в 2016 г. (в мае он составил в среднем  $90.6 \text{ м}^3/\text{с}$ , в июле – 17, в октябре –  $9.8^*$ ). Кроме того, в июле в реке достигала максимума температура воды (см. табл. 1), с чем связано повышение числа видов в пробе и биомассы ФП ( $r = 0.63, 0.52$ ). Помимо этого, в летний период в реке регистрируются наиболее высокие концентрации биогенных веществ (Шашуловская и др., 2017). Все это определяло увеличение до максимальных величин удельного числа видов и биомассы ФП в реке летом (см. табл. 2, 3).

Верхние плёсы водохранилища первыми принимают речные воды, характеризующиеся высокой концентрацией органических и биогенных веществ (Павлейчик, Сивохин, 2013; Шашуловская и др., 2017), которые, наряду с ФП реки, аккумулируются в верховье водоема. Однако достоверных изменений числа видов и биомассы ФП в разные сезоны здесь не обнаружено (см. табл. 2, 3), что мы связываем с величиной притока воды в водохранилище ( $r = 0.69$ ) и расположением плёса. В мае высокая биомасса ФП, которая превышала значения на речном участке (см. табл. 3), определялась высоким расходом реки, проникновением ее вод до исследуемого участка и аккумуляцией здесь приносимых веществ. В июле расходы реки снижались, равно как и дальность поступления ее вод, в результате чего вещества с водосбора в большей степени могли аккумулироваться в самом верхнем Уртазымском плёсе, где, к сожалению, первичный материал не собирали. Ограниченное поступление веществ (или отсутствие такового) в этот период, по всей видимости, способствовало незначительному снижению биомассы и числа видов ФП в Чапаевском плёсе (см. табл. 2, 3). В октябре число видов в пробе и биомасса ФП еще более уменьшились, что связано с максимальным сокращением притока речной воды в водохранилище, которая в этот период характеризуется минимальной концентрацией биогенных веществ (Шашуловская и др., 2017), а также снижением температуры воды и окончанием периода вегетации. В целом для плёса был характерен минимальный коэффициент вариации биомассы ФП, что свидетельствует о более стабильных условиях существования сообществ, формируемых различным сочетанием ряда факторов, среди которых основные – аккумуляция веществ, приносимых рекой с водосбора и, одновременно, его второе место в каскаде русловых плесов водохранилища.

В приплотинном плёсе наибольшая биомасса ФП наблюдалась летом, что связано с максимальным прогревом воды ( $r = 0.94$ ). При этом ряд факторов препятст-

---

\* См.: <http://ueiv.ru/>

ует значительному увеличению биомассы водорослей в низовье в целом. Среди них назовем основные: замедленный водообмен водохранилища (1 раз в 2 года (Соловых и др., 2003)), способствующий осаждению большей части веществ в верхних и средних плёсах, о чем косвенно свидетельствует уменьшение минерализации воды по продольному профилю водохранилища (Павлейчик, Сивохиц, 2013) и снижение концентрации органических и биогенных веществ (Шашуловская и др., 2017); морфометрия плёса, который характеризуется максимальными глубинами (Соловых и др., 2003), малыми шириной, выраженностью и площадью литоральной зоны, что, наряду с более высокой прозрачностью воды, характеризует участок как морфометрически олиготрофный. Кроме того, определенную роль могло играть смещение сроков наступления биологической весны из-за более позднего освобождения ото льда и медленного прогревания водной массы при максимальных глубинах, что также наблюдалось в озерном плёсе Рыбинского водохранилища (Рыбинское..., 1972).

О различиях сезонных изменений ФП на исследованных участках свидетельствует также представленность таксономических групп организмов. В реке основу удельного числа видов на протяжении всего периода изучения составляли Bacillariophyta (31.9 – 59.4%), но в июле лидирующую позицию занимали Chlorophyta (55.3% против 28.7 в мае и 30.4 в октябре). В Чапаевском плёсе доля Bacillariophyta и Chlorophyta в мае составляла 40.6 и 37.5% соответственно, в июле и октябре доля диатомовых сокращалась (до 22.4 и 15.7%) на фоне увеличения доли цианобактерий (с 1.6 в мае до 17.3 в июле и 12.1% в октябре), в июле возрастала доля эвгленовых (с 5.5 до 10.4%). Кроме того, относительно реки в течение всего времени изучения здесь больше доля криптофитовых (в среднем в 2.3 раза). В приплотинном плёсе по сравнению с рекой на протяжении всего времени изучения была меньше доля видов Chlorophyta (в 2 раза), больше доля цианобактерий (в 15.8 раза) и Cryptophyta (в 4.4 раза), в мае и октябре меньше доля Bacillariophyta (в 1.4 и 1.7 раза), а относительно верхнего плёса – Chlorophyta (в 1.9 раза), но больше Cryptophyta (в 2.3 раза) и Dinophyta (в 2.4 раза). В целом необходимо отметить, что в условиях зарегулирования в составе ФП в мае и октябре появлялись Dinophyta, а в июле их доля была выше, чем в реке в 3.6 раза.

Различалась и доля таксономических групп в общей биомассе. В реке ее основу составляли Bacillariophyta, в мае и июле второй по доле группой были Chlorophyta (см. табл. 3). В Чапаевском плёсе в мае также лидировали диатомовые, в июле – Cyanophyta, в октябре – Cryptophyta. В приплотинном плёсе в мае преобладали Cryptophyta, в июле – Dinophyta, в октябре – Bacillariophyta, а субдоминирующее положение занимали Dinophyta и Cryptophyta. Следовательно, особенности ФП исследованных участков определялись сочетанием ряда их характеристик и факторов: типологией, морфометрией, скоростью течения, трофическими условиями, зависимыми от поступления веществ с водосбора и из лежащих выше участков, температурой воды.

В целом показатели ФП характеризовали незарегулированный участок р. Урал как высокопродуктивный, что наиболее ярко проявлялось летом при максимальной температуре воды, когда биомасса соответствовала β-эвтрофным водам (Жукинский, 1976, цит. по: Китаев, 2007). Основу сообщества составляли

Bacillariophyta и Chlorophyta, что, как показано на примере бассейна Средней Волги, характерно для больших высокотрофных водотоков (Охапкин, 1997). Однако проточность препятствовала изменению показателей развития сообщества, которые наблюдаются при высокой биогенной и органической нагрузке в водоемах, о чем свидетельствуют относительно высокие значения индекса Шеннона, величины индекса сапробности, характеризующие  $\beta$ -мезосапробные условия, хотя в июле и октябре среди доминантов обнаружены виды-индикаторы  $\alpha$ -мезосапробных вод. Структура ФП Чапаевского плёса соответствовала таковой зарегулированных водотоков, сообщества которых характеризуются увеличением биомассы и доли цианобактерий (Охапкин, 1997). Однако пространственное расположение плёса – второе в каскаде русловых плёсов водохранилища, в результате чего большая часть биогенных и органических веществ, приносимых высокотрофной рекой, могла аккумулироваться в самом верхнем Уртазымском плёсе, не приводило к ожидаемому в условиях зарегулирования значительному увеличению биомассы ФП. В целом биомасса ФП характеризовала мезотрофные условия в плёсе. В приплотинном плёсе биомасса и состав ФП отличались относительной бедностью, что мы связываем с влиянием замедленного водообмена и аккумуляцией веществ с водосбора в акватории верхних плёсов, что также определяло минимальные величины индекса сапробности. Максимальные биомассы наблюдались летом при увеличении температуры воды.

Важно отметить, что в водохранилище, особенно в приплотинном плёсе, наибольшего обилия достигали криптофитовые и динофитовые водоросли, увеличение количества которых в последние годы отмечено во многих регионах (Корнева и др., 1999; Трифонова, Афанасьева, 2004; Моисеенко и др., 2009; Никулина, 2016). С одной стороны, литературные данные свидетельствуют, что большинство видов Dinophyta являются показателями олиготрофных вод, с чем, очевидно, связано снижение индекса сапробности в приплотинном плёсе в июле до величин, характерных для олигосапробных вод. С другой стороны, есть сведения о встречаемости некоторых видов в мезо- и полисапробных водах (Догадина, 1974; Трифонова, 1990; Горбулин, 2011), как и криптофитовых, увеличение количества которых наблюдается при эвтрофировании (Охапкин, 1997). Дальнейшее выяснение закономерностей развития и распределения Dinophyta и Cystrophyta связано с необходимостью определения их биоиндикационного значения и большой пищевой ценностью, определяемой высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот (Ahlgren et al., 1990; Gulati, Mott, 1997; Weers, Gulati, 1997).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Особенности сезонных изменений удельного числа видов, биомассы и соотношения таксономических групп ФП проточного и зарегулированного участков р. Урал определяются сочетанием ряда характеристик водных объектов и факторов среды: типологии, морфометрии, скорости течения, поступления веществ с водосбора и из вышележащих участков, температуры воды. Изменения количественных показателей ФП, который развивался в условиях среды, препятствующих его высокому обилию – в реке из-за высоких скоростей течения, в приплотинном

плёсе из-за более позднего наступления биологической весны, а также осаждения и включения в круговорот большей части веществ в верхних плёсах водоема – были связаны с температурой воды, ведущая роль которой также показана для сообществ водотоков бассейна Волги (Охапкин, 1997). Во втором в каскаде русловых Чапаевском плёсе оптимальное сочетание ряда факторов среды создавало условия для стабильной количественной представленности ФП в течение исследованного периода. Величины биомассы позволяют оценить трофический статус реки на незарегулированных участках как  $\beta$ -мезотрофно- $\beta$ -эвтрофный, верхнего участка водохранилища –  $\beta$ -мезотрофный, приплотинного участка –  $\alpha$ - $\beta$ -мезотрофный. По индексу сапробности вся исследованная акватория характеризуется  $\beta$ -мезосапробными условиями.

Автор выражает искреннюю признательность сотрудникам Саратовского филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» за помощь в сборах проб.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Горбулин О. С.* Эколого-биологические характеристики Dinophyta флоры континентальных водоемов Украины // Вісн. Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна. Сер. Біологія. 2011. Вып. 14. С. 43 – 58.

*Даценко Ю. С.* Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. М. : ГЕОС, 2007. 252 с.

*Даценко Ю. С., Пуклаков В. В., Эдельштейн К. К.* Анализ влияния абиотических факторов на развитие фитопланктона в малопроточном стратифицированном водохранилище // Тр. Карельск. науч. центра РАН. 2017. Вып. 10. С. 73 – 85. DOI: <https://doi.org/10.17076/lm611>

*Догадина Т. В.* Пирофитовые водоросли сточных вод // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10, № 1. С. 73 – 74.

*Жукинский В. Н., Оксюк О. П., Цеев Я. Я., Георгиевский В. Б.* Проект унифицированной системы для характеристики континентальных водоемов и водотоков и его применение для анализа качества вод // Гидробиол. журн. 1976. Т. 12, № 6. С. 103 – 111.

*Китаев С. П.* Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов. Петрозаводск : КарНЦ РАН, 2007. 395 с.

*Корнева Л. Г.* Фитопланктон водохранилищ бассейна Волги. Кострома : Костромской печатный дом, 2015. 284 с.

*Корнева Л. Г., Минеева Н. М., Елизарова В. А., Пырина И. Л., Сигарева Л. Е., Генкал С. И., Митропольская И. В., Литвинов А. С., Шарпова Н. А.* Экология фитопланктона Рыбинского водохранилища. Тольятти : ИЭВБ РАН, 1999. 264 с.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресных водоемах. Фитопланктон и его продукция / Гос. НИИ озern. и речн. рыб. хоз-ва. Л., 1984. 32 с.

*Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А., Шаров А. Н., Вандыш О. И., Кудрявцева Л. П.* Антропогенная трансформация Арктической экосистемы озера Имандра : тенденции к восстановлению после длительного периода загрязнения // Водные ресурсы. 2009. Т. 36, № 3. С. 312 – 325.

*Никулина В. В.* Многолетние изменения фитопланктона в водоеме, не подверженном антропогенному воздействию (оз. Кривое, северная Карелия) // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2016. Т. 320, № 3. С. 336 – 347.

*Охапкин А. Г.* Структура и сукцессии фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 1997. 48 с.

*Павлейчик В. М., Сивохин Ж. П.* Формирование качества поверхностных вод бассейна верхнего течения реки Урал в условиях техногенной трансформации природной среды // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 5. С. 456 – 467.

Рыбинское водохранилище и его жизнь / отв. ред. Б. С. Кузин. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1972. 364 с.

*Сивохин Ж. П.* Анализ эколого-гидрологической специфики трансграничного бассейна р. Урал в связи с регулированием стока // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. География. Геоэкология. 2014. № 3. С. 87 – 94.

*Словых Г. Н., Раимова Е. К., Осадчая Н. Д., Фабарисова Л. Г., Никитина Л. П.* Гидробиологическая характеристика Ириклинского водохранилища. Екатеринбург : УРО РАН, 2003. 179 с.

*Трифонов И. С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.

*Трифонов И. С., Афанасьева А. Л.* Структура и продуктивность фитопланктона озерно-речной системы Вуоксы // Состояние биоценозов озерно-речной системы Вуоксы. СПб. : НИИ химии СПбГУ, 2004. С. 43 – 58.

*Шашуловская Е. А., Мосияш С. А., Филимонова И. Г., Гришина Л. В., Кузина Е. Г.* Формирование гидрохимического режима верхнего течения р. Урал в условиях техногенного регулирования стока // Поволж. экол. журн. 2017. № 4. С. 417 – 425. DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-4-417-425>

*Эдельштейн К. К., Пуклаков В. В., Даценко Ю. С.* Экспериментально-теоретические основы диагноза и прогноза цветения в водохранилищах-источниках муниципального водоснабжения // Вода Magazine. 2017. № 4. С. 34 – 40.

*Ahlgren G., Lundstedt L., Brett M., Forsberg C.* Lipid Composition and Food Quality of Some Freshwater Phytoplankton for Cladoceran Zooplankters // J. of Plankton Research. 1990. Vol. 12, iss. 4. P. 809 – 818.

*Gulati R. D., De Mott W.* The Role of Food Quality for Zooplankton : Remarks on the State-of-the-art, Perspectives and Priorities // Freshwater Biology. 1997. Vol. 38, iss. 3. P. 353 – 368.

*Sládeček V.* System of Water Quality from the Biological Point of View // Advances in Limnology. 1973. Vol. 7. P. 1 – 218.

*Weers P. M. M., Gulati R. D.* Effect of the Addition of Polyunsaturated Fatty Acids to the Diet on the Growth and Fecundity of *Daphnia galeata* // Freshwater Biology. 1997. Vol. 38, iss. 3. P. 721 – 729.

*Wegl R.* Index für die Limnosaprobität // Wasser und Abwasser. 1983. Bd. 26. S. 1 – 175.

**Phytoplankton of the Flowing and Flow-regulated Stretches  
of the Ural River in Different Seasons**

**Elena A. Dzhayani**, <https://orcid.org/0000-0003-4943-8794>; [dgajani@mail.ru](mailto:dgajani@mail.ru)

*Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Saratov branch  
152 Chernyshevskogo St., Saratov 410002, Russia*

Received 22 February 2019, revised 25 July 2019, accepted 14 October 2019

Dzhayani E. A. Phytoplankton of the Flowing and Flow-regulated Stretches of the Ural River in Different Seasons. *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2020, no. 1, pp. 31–43 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-31-43>

Features of the seasonal changes in the number of species, biomass, and the ratio of taxonomic groups of phytoplankton of flowing and flow-regulated sectors of the Ural River are described. In the unregulated sector of the river, the maximal number of species was recorded in July, and in the upper and lower reaches of the reservoir – in October. The maximal biomass of phytoplankton in the unregulated sector of the river and in the lower zone of the reservoir was observed in the summer, and in the upper zone – in the spring. The influence of combining a number of parameters of the water bodies and environmental factors (typology, morphometry, flow velocity, the flow of substances from the catchment and from the higher sections, and temperature) on the quantitative characteristics of communities is discussed. The leading role of water temperature for the phytoplankton development in the unregulated sections of the river and the lower zone of the reservoir is shown, which are characterized by environmental conditions that impede the abundant development of phytoplankton: high flow rates, the late onset of biological spring, and low nutrient availability. The biomass values in the unregulated sections of the river correspond to  $\beta$ -mesotrophic –  $\beta$ -eutrophic waters, in the upper part of the reservoir – to  $\beta$ -mesotrophicones, and at the dam section – to  $\alpha$ - $\beta$ -mesotrophic ones. According to the saprobity index, the entire investigated water area is characterized by  $\beta$ -mesosaprobic conditions.

*Keywords:* phytoplankton, Ural River, Iriklin'sky reservoir, seasonal changes, quantitative characteristics.

DOI: <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2020-1-31-43>

## REFERENCES

Gorbulin O. S. Ecological and biological characteristics of Dinophyta flora of continental water bodies of Ukraine. *J. of V. N. Karazin Kharkiv National University, Ser. Biology*, 2011, vol. 14, pp. 43–58 (in Russian).

Datsenko Yu. S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskie aspekty* [Eutrophication of Reservoirs. Hydrological and Hydrochemical Aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007. 252 p. (in Russian).

Datsenko Yu. S., Puklakov V. V., Eidelshtein K. K. The analysis of the abiotic factors influence on phytoplankton development in low-flow stratified reservoir. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*, 2017, iss. 10, pp. 73–85 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.17076/lim611>

Dogadina T. V. Pyrophyte Algae of Wastewaters. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1974, vol. 10, no. 1, pp. 73–74 (in Russian).

Zhukinskiy V. N., Oksiyuk O. P., Tseeb Ya. Ya., Georgievskiy V. B. The project of a unified system for the characterization of continental water bodies and flows, and its application for the analysis of water quality. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1976, vol. 12, no. 6, pp. 103–111 (in Russian).

Kitaev S. P. *Osnovy limnologii dlia gidrobiologov i ikhtiologov* [Basics of Limnology for Hydrobiologists and Ichthyologists]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 2007. 395 p. (in Russian).

Korneva L. G. *Fitoplankton vodokhranilishch basseina Volgi* [Phytoplankton of Reservoirs of the Volga River Basin]. Kostroma, Kostromskoi pechatnyi dom Publ., 2015. 284 p. (in Russian).

Korneva L. G., Mineeva N. M., Elizarova V. A., Pyrina I. L., Sigareva L. E., Genkal S. I., Mitropolskaia I. V., Litvinov A. S., Sharapova N. A. *Ekologiya fitoplanktona Rybinskogo vodokhranilishcha* [Ecology of Phytoplankton from the Rybinsk Reservoir]. Togliatti, IEVB RAN Publ., 1999. 264 p. (in Russian).

*Metodicheskie rekomendatsii po sboru i obrabotke materialov pri gidrobiologi-cheskikh issledovaniiah na presnykh vodoemakh. Fitoplankton i ego produktsiia* [Guidelines for the Collection and Processing of Materials in Hydrobiological Studies on Freshwater Bodies. Zooplankton and Its Products]. Leningrad, Gosudarstvennyi NII ozernogo i rechnogo rybnogo khoziaistva Publ., 1984. 32 p. (in Russian).

Moiseenko T. I., Gashkina N. A., Sharov A. N., Vandyshev O. I., Kudryavtseva L. P. Anthropogenic Transformations of the Arctic Ecosystem of Lake Imandra: Tendencies for Recovery After Long Period of Pollution. *Water Resources*, 2009, vol. 36, no. 3, pp. 296–309.

Nikulina V. V. Long-term Changes in Phytoplankton in a Water Body non Subject to Anthropogenic Impact (Lake Krivoe, Northern Karelia). *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, 2016, vol. 320, no. 3, pp. 336–347 (in Russian).

Okhapkin A. G. *Struktura i suksessii fitoplanktona pri zaregulirovanii rechnogo stoka (na primere r. Volgi i ee pritokov)* [Phytoplankton Structure and succession During Regulation of River Flow]. Thesis Diss. Dr. Sci. (Biol.). Saint Petersburg, 1997. 48 p. (in Russian).

Pavlechik V. M., Sivokhip Zh. P. The Formation of Surface Water Quality in the Basin of the Upper Reaches of the Ural River Under the Conditions of Technogenic Transformation of the Natural Environment. *Water Resources*, 2013, vol. 40, no. 5, pp. 499–509.

*Rybinskoe vodokhranilishche i ego zhizn'* [B. S. Kuzin, ed. The Rybinsk Reservoir and Its Life]. Leningrad, Nauka Publ., 1972. 364 p. (in Russian).

Sivokhip Zh. P. Analysis of the Ecological and Hydrological Specifics of the Transboundary River Basin of Ural River in Connection With the Regulation of Runoff. *Proceedings of Voronezh State University, Ser. Geography. Geoecology*, 2014, no. 3, pp. 87–94 (in Russian).

Solovykh G. N., Raimova E. K., Osadchaya N. D., Fabarisova L. G., Nikitina L. P. *Gidrobiologicheskaya kharakteristika Iriklienskogo vodokhranilishcha* [Hydrobiological Characteristics of the Irikliensk Reservoir]. Ekaterinburg, UrO RAN Publ., 2003. 179 p. (in Russian).

Trifonova I. S. *Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona* [Ecology and Succession of Lake Phytoplankton]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 184 p. (in Russian).

Trifonova I. S., Afanas'eva A. L. The Structure and Productivity of Phytoplankton of the Vuoksa Lake-river System. In: *Sostoianie biotsenozov ozerno-rechnoi sistemy Vuoksy* [The State of Biocenoses of the Vuoksa Lake-River System]. Saint Petersburg, Nauchno-issledovatel'skii institut khimii SPbGU Publ., 2004, pp. 43–58 (in Russian).

Shashulovskaya E. A., Mosiyash S. A., Filimonova I. G., Grishina L. V., Kuzina E. G. Formation of the Hydrochemical Regime of the Upper Reaches of the Ural River Under Conditions of

ФИТОПЛАНКТОН ПРОТОЧНОГО И ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО УЧАСТКОВ р. УРАЛ

Technogenic Flow Regulation. *Povolzhskiy J. of Ecology*, 2017, no. 4, pp. 417–425 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2017-4-417-425>

Edelshtein K. K., Puklakov V. V., Dacenko Yu. S. Experimental-theoretical Basis of Diagnosis and Prediction of Bloom in Reservoirs-sources of Municipal Water Supply. *WATER Magazine*, 2017, iss. 4, pp. 34–40 (in Russian).

Ahlgren G., Lundstedt L., Brett M., Forsberg C. Lipid Composition and Food Quality of Some Freshwater Phytoplankton for Cladoceran Zooplankters. *J. of Plankton Research*, 1990, vol. 12, iss. 4, pp. 809–818.

Gulati R. D., De Mott W. The Role of Food Quality for Zooplankton : Remarks on the State-of-the art, Perspectives and Priorities. *Freshwater Biology*, 1997, vol. 38, iss. 3, pp. 353–368.

Sládeček V. System of Water Quality from the Biological Point of View. *Advances in Limnology*, 1973, vol. 7, pp. 1–218.

Weers P. M. M., Gulati R. D. Effect of the Addition of Polyunsaturated Fatty Acids to the Diet on the Growth and Fecundity of *Daphnia galeata*. *Freshwater Biology*, 1997, vol. 38, iss. 3, pp. 721–729.

Wegl R. Index für die Limnosaprobität. *Wasser und Abwasser*, 1983, Bd. 26, S. 1–175.