

УДК 574.55:574.524

## СООТНОШЕНИЕ ПРОДУКЦИЙ ФИТОПЛАНКТОНА, ГЕТЕРОТРОФНОГО ПЛАНКТОНА И ПЛАНКТОНОЯДНЫХ РЫБ В РАЗНОТИПНЫХ ВОДОЕМАХ

© 2024 г. В. В. Бульон

Представлено академиком РАН О.Н. Пугачевым

Поступило 11.08.2023 г.

После доработки 25.09.2023 г.

Принято к публикации 27.09.2023 г.

На примере 14 водоемов озерного типа, распределенных по разным широтам северного полушария, показано, что эффективность трансформации продукции фитопланктона через гетеротрофный бактериопланктон и нехищный зоопланктон к хищному зоопланктону и планктоноядным рыбам увеличивается в направлении от эвтрофных водоемов к олиготрофным. Наибольшие соотношения продукций автотрофных и гетеротрофных организмов выявлены для озер и водохранилищ, где вклад аллохтонных веществ в общий поток энергии относительно высок. Бактериопланктон, утилизирующий аллохтонное РОВ, – дополнительный источник энергии для зоопланктона, который, в свою очередь, служит пищевым объектом для планктоноядных рыб. Следовательно, для прогнозирования общей биологической продуктивности и продукции рыбного сообщества надо учитывать продукцию не только автотрофного планктона, но и той части гетеротрофного бактериопланктона, которая специализируется на утилизации РОВ, поступающего в водоем извне.

*Ключевые слова:* озера и водохранилища, продукция фитопланктона, продукция гетеротрофных организмов, трансформация энергии

DOI: 10.31857/S2686738924010017, EDN: LAWNLW

Фитопланктон, гетеротрофный планктон (бактерии, нехищный и хищный зоопланктон) и планктоноядные рыбы – ключевой участок пищевой сети в водной экосистеме. Изменение трофического статуса водоема при воздействии внешних факторов влечет за собой перестройку не только биомассы и продукции гетеротрофных и автотрофных организмов, но и соотношений между ними [1–6]. Большинство гидробиологических исследований касаются взаимоотношений фитопланктона и гетеротрофного бактериопланктона, либо фитопланктона и зоопланктона, реже – зависимости продукции (улова) рыб от первичной продукции, но лишь спорадически исследуется вся линейка организменных отношений, от фитопланктона до рыб. По этой причине остается открытым вопрос, как изменяется эффективность трансформации продукции фитопланктона гетеротрофными организ-

мами с изменением трофического статуса водоема и объективно ли отражает этот показатель внутрисистемные процессы?

Для прояснения этого вопроса в статье анализируются материал по продукции фитопланктона ( $P_{\text{фит}}$ ), гетеротрофного бактериопланктона ( $P_{\text{бцп}}$ ), нехищного и хищного зоопланктона ( $P_{\text{нзо}}$ ,  $P_{\text{хзо}}$ ) и планктоноядных рыб ( $P_{\text{пир}}$ ) для 14 водоемов озерного типа (табл. 1), распределенных по разным широтам северного полушария (от субарктики до экватора). Большая часть материала была взята из литературных источников [7–15]. Недостающие производные показатели были реконструированы с помощью масс-балансовой модели [8, 16], базирующейся на закономерных связях между биотическими и абиотическими элементами водной среды. Как показали выполненные нами ранее исследования [8], реконструированные значения продукций ключевых групп гидробионтов хорошо согласуются с эмпирическими данными. В частности, в данной статье реконструкции подверглись продукция бактериопланктона и зоопланктона в экваториальном озере Виктория и продукция зоопланктона и рыб

Зоологический институт РАН,  
Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: vboulion@mail.ru

в бессточном озере Иссык-Куль. Необходимые для реконструкции географические, гидрологические и физико-химические показатели указаны в таблице 1. Так как биотические и абиотические факторы через систему соподчиненных связей формируют поток энергии от фотосинтезирующих организмов и редуцентов к консументам разного порядка, такой системный подход в сочетании с балансовым принципом позволяет проследить последовательность трансформации энергии первичной продукции (от бактерий до рыб).

Диапазон средних за вегетационный сезон биомасс и годовых величин продукции компонентов трофической сети водоемов приведены в табл. 2. В водах бореальной зоны значения продукции за вегетационный сезон приравнивались к годовым величинам. Обращает на себя внимание большой размах биомасс и продукции разных групп гидробионтов: соотношение максимальных и минимальных биомасс составляет от 10 до 40, продукций – от 30 до 120.

Регрессионный анализ материалов выявил (рис. 1) следующую зависимость продукции гетеротрофного бактериопланктона от продукции фитопланктона:

$$\log P_{\text{bcp}} = (0.517 \pm 0.269) + (0.653 \pm 0.103) \log P_{\text{php}}$$

или, после потенцирования:

$$P_{\text{bcp}} = 3.29 P_{\text{php}}^{0.653}, \quad R^2 = 0.77 \quad p < 0.0001. \quad (1)$$

Анализ зависимости продукции нехищного зоопланктона от продукции фитопланктона показал:

$$\log P_{\text{hzo}} = -(0.368 \pm 0.181) + (0.800 \pm 0.069) \log P_{\text{php}}$$

$$\text{или } P_{\text{hzo}} = 0.43 P_{\text{php}}^{0.80}, \quad R^2 = 0.92 \quad p < 0.0001. \quad (2)$$

Продукция хищного зоопланктона косвенным образом также зависит от продукции фитопланктона:

$$\log P_{\text{pzo}} = -(1.102 \pm 0.180) + (0.806 \pm 0.069) \log P_{\text{php}}$$

$$\text{или } P_{\text{pzo}} = 0.079 P_{\text{php}}^{0.81}, \quad R^2 = 0.92 \quad p < 0.0001. \quad (3)$$

Продукция планктоноядных рыб через ряд промежуточных трофических звеньев связана с продукцией фитопланктона следующим образом:

$$\log P_{\text{plf}} = -(1.707 \pm 0.175) + (0.806 \pm 0.067) \log P_{\text{php}}$$

$$P_{\text{plf}} = 0.020 P_{\text{php}}^{0.80}, \quad R^2 = 0.91 \quad p < 0.0001. \quad (4)$$

**Таблица 1.** Географическая широта (Lat, °с.ш.) расположения водоемов, среднегодовая температура воздуха (Tem, °С) и годовая сумма осадков (Pre, мм) на водосборной площади, удельный водосбор (SDA), время пребывания воды в водоеме (T<sub>w</sub>, годы), средняя глубина (D<sub>mean</sub>, м), средняя за сезон концентрация в воде общего фосфора (TP, мкг/л), цветность (Pt, градусы) и прозрачность (Sec, м) воды, содержание хлорофилла *a* в планктоне (Chl, мкг/л)

Водоем	Lat	Tem	Pre	T <sub>w</sub>	SDA	D <sub>mean</sub>	TP	Pt	Sec	Chl
Богучанское вдхр.	58.4	-3.5	425	0.55	357	25	25	30	2	5.9
Зейское вдхр.	54.5	-3.1	525	4	35	38	15	75	1.9	2.5
Бурейское вдхр.	50.3	-3.5	690	0.38	94	14,5	10	75	2.1	2.0
Оз. Ханка	45	2	565	10	6.1	4,5	25	40	0.3	6.2
Рыбинское вдхр.	58	4	625	0.61	33	5,6	40	50	1.5	10
Онежское озеро	61.5	3	630	15.6	5.8	30	10	20	3.4	1.5
Ладожское озеро	60.6	3.7	610	11.7	14.5	47	20	23	2.4	4.6
Оз. Кривое <sup>1</sup>	66.5	0.5	523	9.1	4.2	12	5.3	25	3.7	0.90
Оз. Виктория	0	24	1300	20	2.5	40	45	20	1.8	14
Оз. Байкал	53.2	-2	562	377	18	730	10	5	4.9	2.0
Оз. Нарочь <sup>2</sup>	55	6.4	515	11	3.5	9	15	15	3.8	1.5
Оз. Иссык-Куль	42.4	8.5	250	300	2.5	278	3.5	7	6.5	0.48
Оз. Красное <sup>3</sup>	61	3.6	615	1.1	18.4	6.6	35	65	1.3	14
Оз. Зеленецкое <sup>4</sup>	69.2	-4	250	10	5.0	8,5	3	40	3.9	0.42

Примечание: <sup>1</sup> Северная Карелия, <sup>2</sup> Беларусь, <sup>3</sup> Карельский перешеек, <sup>4</sup> Кольский п-ов.

Из регрессионных уравнений (1–4) были определены соотношения между продукционными показателями (рис. 2) и дана им статистическая оценка:

$$P_{\text{bcp}}/P_{\text{php}} = 3.29 P_{\text{php}}^{-0.347}, \quad R^2 = 0.49 \quad p = 0.003, \quad (5)$$

$$P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}} = 0.43 P_{\text{php}}^{-0.20}, \quad R^2 = 0.41 \quad p = 0.01, \quad (6)$$

$$P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}} = 0,079 P_{\text{php}}^{-0.19}, \quad R^2 = 0.40 \quad p = 0.01, \quad (7)$$

$$P_{\text{plf}}/P_{\text{php}} = 0,020 P_{\text{php}}^{-0.20}, \quad R^2 = 0.41 \quad p = 0,005. \quad (8)$$

Из уравнений (5–8) следует, что со снижением  $P_{\text{php}}$  от 3000 до 30 ккал/м<sup>2</sup> год отношение продукции бактерий к продукции фитопланктона ( $P_{\text{bcp}}/P_{\text{php}}$ ) увеличивается от 0.2 до 1, отношение  $P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}}$  – от 0.09 до 0.22, отношение  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}}$  – от 0.017 до 0.041, отношение  $P_{\text{plf}}/P_{\text{php}}$  от 0.004 до 0.01. Наибольшие соотношения выявлены для олиготрофных озер и Зейского и Бурейского водохранилищ, где вклад аллохтонных веществ в общий энергетический поток относительно высок.

Для 14 водных объектов были рассчитаны также среднеарифметические (со стандартными отклонениями) и медианные значения продукционных соотношений:

$$P_{\text{bcp}}/P_{\text{php}} = 0.50 \pm 0.35 \text{ при медиане } 0.37, \quad (9)$$

$$P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}} = 0.14 \pm 0.06 \text{ при медиане } 0.12, \quad (10)$$

$$P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}} = 0.027 \pm 0.011 \text{ при медиане } 0.023, \quad (11)$$

$$P_{\text{plf}}/P_{\text{php}} = 0.0066 \pm 0.0027 \text{ при медиане } 0.0057. \quad (12)$$

Из (9–12) можно сделать следующие выводы, имеющие общеэкологический интерес. При комбинации (9) и (10) получаем, что отношение  $P_{\text{bcp}}/P_{\text{hzo}} = 0.50/0.14 = 3.57$ . Если допустить, что вся продукция бактериопланктона входит в рацион нехищного зоопланктона, и принять его эффективность роста

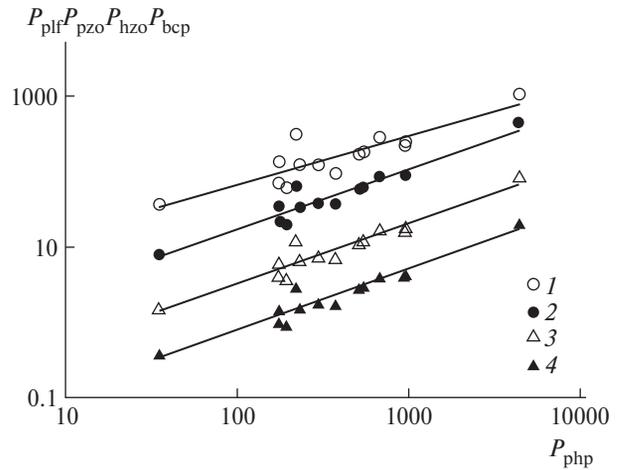


Рис. 1. Продукция бактериопланктона (1), нехищного (2) и хищного (3) зоопланктона, планктоноядных рыб (4) ( $P_{\text{bcp}}$ ,  $P_{\text{hzo}}$ ,  $P_{\text{pzo}}$ ,  $P_{\text{plf}}$ , ккал/м<sup>2</sup> год) в зависимости от продукции фитопланктона ( $P_{\text{php}}$ , ккал/м<sup>2</sup> год) в озерах и водохранилищах разных регионов

(коэффициент  $K_1$ ) равным 0.16, получаем:  $3.57 \cdot 0.16 = 0.57$ , т.е. ~57% рациона нехищного зоопланктона обеспечивается продукцией бактериопланктона и ~43% рациона – продукцией фитопланктона.

При комбинации (10) и (11) следует  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{hzo}} = 0.193$ . Разделив это число на эффективность роста хищного зоопланктона ~0.35, находим, что рацион хищника составляет ~55% продукции нехищного зоопланктона. Проведя такую же процедуру с уравнениями (10) и (12), получаем  $P_{\text{plf}}/P_{\text{hzo}} = 0.047$ . Приняв эффективность роста планктоноядных рыб ~0.1, приходим к вполне ожидаемому выводу, что продукция нехищного зоопланктона почти в равных пропорциях входит в рацион хищного зоопланктона и планктоноядных рыб.

Таблица 2. Минимальные, средние, медианные и максимальные значения биомассы (ккал/м<sup>2</sup>) и продукции (ккал/м<sup>2</sup> год) компонентов планктона и планктоноядных рыб в разнотипных водоемах озерного типа

Параметры	Min	Mean	Median	Max
Средняя за сезон биомасса фитопланктона	0.91	11	7.0	41
Продукция фитопланктона	35	717	407	4430
Средняя за сезон биомасса бактериопланктона	0.72	3.1	3.0	7.5
Продукция бактериопланктона	37	233	177	1084
Средняя за сезон биомасса нехищного зоопланктона	0.77	4.7	4,5	16
Продукция нехищного зоопланктона	7.9	82	61	447
Средняя за сезон биомасса хищного зоопланктона	0.20	1.2	1.3	4.0
Продукция хищного зоопланктона	1.5	18	12	86
Средняя за сезон биомасса планктоноядных рыб	1.2	7,0	6.4	24
Продукция планктоноядных рыб	0.38	3.7	2.5	21

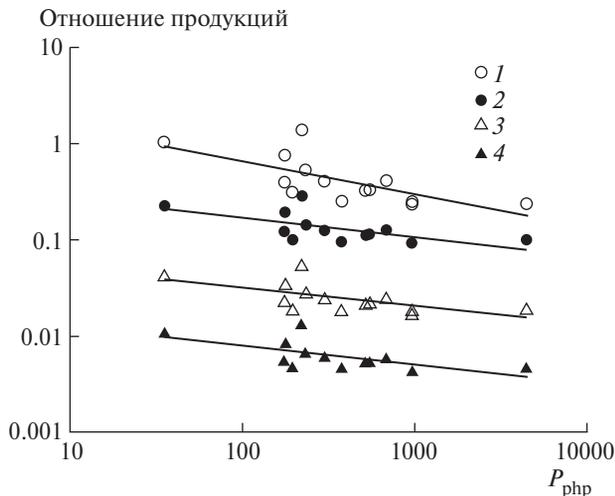


Рис. 2. Отношение  $P_{\text{bcp}}/P_{\text{php}}$  (1),  $P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}}$  (2),  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}}$  (3) и  $P_{\text{plf}}/P_{\text{php}}$  (4) в зависимости от величины  $P_{\text{php}}$

По материалам Международной биологической программы [17] при существенном вкладе Советской секции мною были рассчитаны следующие уравнения регрессии:

$$P_{\text{bcp}} = 2.306 P_{\text{php}}^{0.711}, \quad R^2 = 0.840 \quad n = 11, \quad (13)$$

$$P_{\text{hzo}} = 0.397 P_{\text{php}}^{0.821}, \quad R^2 = 0.902 \quad n = 11, \quad (14)$$

$$P_{\text{pzo}} = 0.088 P_{\text{php}}^{0.740}, \quad R^2 = 0.613 \quad n = 11. \quad (15)$$

Уравнения (13–15) качественно не отличаются от уравнений (1–3): нижние коэффициенты близки по величине, показатели степени при  $P_{\text{php}} < 1$ . Это означает, что с ростом первичной продукции эффективность ее трансформации в гетеротрофную продукцию снижается. Речь, конечно, идет о видимой эффективности переноса энергии, т.к. мы в данном случае не учитываем участие аллохтонных веществ в общем энергетическом потоке.

Обращает на себя внимание факт сходства уравнения (4), связывающего продукцию планктоноядных рыб с продукцией фитопланктона, с уравнением, полученным для удобряемых рыбоводных прудов [18], в которых выращиваются нехищные виды и где улов рыб равен продукции рыб, т.к. практически вся продукция вылавливается:

$$P_{\text{plf}} = 0.019 P_{\text{php}}^{0.93 \pm 0.07}, \quad R^2 = 0,91 \quad n = 19. \quad (16)$$

Сходство обнаруживается только в нижних коэффициентах регрессий, но показатель степени в уравнении (16) в отличие от (4) приближается к 1. Это может быть объяснено тем, что продуктивность рыбоводных прудов характеризует их как эвтрофные и гиперэвтрофные системы при абсолютном доминировании автохтонного органического вещества.

М.Б. Иванова [1], анализируя литературные данные по годовым величинам  $P_{\text{php}}$ ,  $P_{\text{hzo}}$  и  $P_{\text{pzo}}$  преимущественно для водоемов СССР ( $n = 70$ ), приходит к выводу, что связь между этими показателями близка к линейной, т.к. показатель степени в уравнениях регрессий не отличается от 1. По ее расчетам, отношение  $P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}}$  в среднем равно 0.102 при стандартной ошибке 0.016 и медиане 0.079, отношение  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}} = 0.0155 \pm 0.0025$  (при медиане 0.010). Из-за большого разброса эмпирических данных коэффициенты вариаций средних превышает 100%. Несмотря на такую большую погрешность, средние значения  $P_{\text{hzo}}/P_{\text{php}}$  и  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{php}}$  несущественно отличаются от (10) и (11).

Лакруа с соавторами [5] проанализировали в общей сложности 56 водоемов разной глубины и разного трофического статуса, расположенных в северном полушарии (от  $0^\circ$  до  $74^\circ 42'$  с.ш.). Водоемы были поделены на две группы: мелкие ( $D_{\text{mean}} < 6$  м,  $D_{\text{max}} < 10$  м) и глубокие. Было отмечено, что отношение годовой продукции общего зоопланктона ( $P_{\text{zpl}}$ ) к годовой продукции фитопланктона в мелких водоемах увеличивается от  $0.07 \pm 0.031$  до  $0.29 \pm 0.044$  в направлении от эвтрофных озер к ультраолиготрофным, в глубоких озерах снижение было менее выражено из-за отсутствия в этой группе эвтрофных объектов. В итоге было сделано заключение, что эффективность трансформации первичной продукции зоопланктоном следует рассматривать как убывающую функцию трофности водоема.

По [5], эффективность переноса первичной продукции в продукцию нехищного зоопланктона составляет  $0.11 \pm 0.02$ , что статистически не отличается от формулы (10). Соотношение хищного и нехищного зоопланктона ( $P_{\text{pzo}}/P_{\text{hzo}}$ ) в среднем составило  $0.174 \pm 0.027$ , что очень близко к моему результату ( $0.191 \pm 0.004$ ). Как и ожидалось, соотношение  $P_{\text{pzo}}/P_{\text{hzo}}$  не зависит от величины продукции фитопланктона.

Бактерии – важный компонент планктонного сообщества, связывающий растворенное органическое вещество разного генезиса с организмами трофической сети. Дериваты фитопланктона – один из источников РОВ для бактерий. Механизм возникновения дериватов может быть разным: хищничество, отмирание клеток водорослей, вирусный лизис и экскреция. Терригенное РОВ, включая гуминовые соединения, также участвует в метаболизме бактерий и биотическом потоке энергии в трофической сети.

В полигуменных и олиготрофных озерах и водохранилищах бореальной зоны, где дыхание гетеротрофного планктона превышает первичную продукцию, аллохтонное РОВ, трансформированное

в бактериальную продукцию, в значительной степени замещает продукцию фотосинтезирующих организмов в питании консументов. Вследствие этого отношения продукции гетеротрофного планктона и планктоноядных рыб к продукции фитопланктона, используемые для оценки эффективности переноса энергии в трофической сети, нередко получаются в разной степени завышенными.

Бактериопланктон, утилизирующий аллохтонное РОВ, – дополнительный источник энергии для зоопланктона, который, в свою очередь, служит пищевым объектом для планктоноядных рыб. Следовательно, для прогнозирования общей биологической продуктивности и продукции рыбного сообщества надо, как настаивал Г.Г. Винберг [19], учитывать продукцию не только автотрофного планктона, но и той части гетеротрофного бактериопланктона, которая специализируется на утилизации РОВ, поступающего в водоем извне. Ю.И. Сорокин [20] ввел для этого случая термин “продукция первопищи”, означающий продукцию фитопланктона в сумме с продукцией бактериопланктона за счет ассимиляции им аллохтонного РОВ.

В направлении от олиготрофных к эвтрофным водам продукция фитопланктона становится избыточной по отношению к продукции бактериопланктона, отношение  $P_{\text{бцр}}/P_{\text{рпр}}$  часто  $<1$ . На гиперэвтрофном участке трофической шкалы возможно бактерицидное воздействие фитопланктона при массовом его развитии. В направлении олиготрофных вод продукция бактерий не обеспечивается первичной продукцией, отношение  $P_{\text{бцр}}/P_{\text{рпр}}$  часто  $>1$ . Следовательно, в олиготрофных, как и в более продуктивных гумозных водах возрастает роль аллохтонного РОВ, «следы» которого прослеживаются не только в гетеротрофных бактериях, но и в последующих трофических звеньях – зоопланктоне и планктоноядных рыбах.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванова М.Б. Продукция планктонных ракообразных. Л.: ЗИН АН СССР, 1985. 222 с.
2. Трифонова И.С., Афанасьева А.Л., Макарецва Е.С., Бардинский Д.С. Соотношение фито- и зоопланктона в разнотипных озерах Карельского перешейка // Известия Самарского научного центра РАН. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 515–519.
3. Уманская М.В., Быкова С.В., Горбунов М.Ю., Краснова Е.С., Мухортова О.В., Сабитова Р.З., Тарасова Н.Г., Жариков В.В. Структура сообщества планктона озера Кандры-Куль летом 2010 и 2012 гг. // Известия Самарского научного центра РАН. 2018. Т. 20. № 2. С. 45–54.
4. Coveney M., Cronberg G., Enely M., Larsen K., Olofsson L. Phytoplankton, Zooplankton and Bacteria: Standing Crop and Production Relationships in a Eutrophic Lake // Oikos. 1977. V. 29. № 1. P. 5–21.
5. Lacroix G., Lescher-Moutoué F., Bertelo A. Biomass and production of plankton in shallow and deep lakes: are there general patterns? // Annales de Limnologie. 1999. V. 35. № 2. P. 111–122.
6. Havens K. E., Beaver J. R. Zooplankton to phytoplankton biomass ratios in shallow Florida lakes: an evaluation of seasonality and hypotheses about factors controlling variability // Hydrobiologia. 2013. V. 703. № 1. P. 177–187.
7. Бондаренко Н.А., Русанов И.И., Черницына С.М., Шубенкова О.В., Захаренко А.С., Погодаева Т.В., Пименов Н.В., Земская Т.И. Структура и продукционный потенциал летнего фитопланктона озера Байкал в современный период // Водные ресурсы. 2022. Т. 49. № 1. С. 66–76.
8. Бульон В.В. Система оценки и прогнозирования биопроductивности экосистем озерного типа // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 3. С. 302–311.
9. Гидробиологические исследования на реке Тюп и Тюпском заливе озера Иссык-Куль / под ред. Г.Г. Винберга. Л.: ЗИН АН СССР, 1977. 144 с.
10. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Бурейского гидроузла / под ред. С.Е. Сиротского. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2007. 273 с.
11. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла / под ред. С.Е. Сиротского. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2010. 354 с.
12. Многолетние изменения биологических сообществ мезотрофного озера в условиях климатических флуктуаций и эвтрофирования / под ред. И.С. Трифоновой. СПб: ЛЕМА. 246 с.
13. Nyamweya C.S., Nyaboke H.M., Aura C.M., Mwanjyi K.N., Mlaponi E., Odoli C.O., Njiru J.M. Lake Victoria's bounty: A case for riparian countries' blue economic investment // Frontiers in Environmental Science. 2022. P. 1–6.
14. Bootsma H.A., Hecky R.E. A comparative introduction to the biology and limnology of the African Great Lakes // Journal of Great Lakes Research. V. 29. Sup. 2. P. 3–18.
15. Darchambeau F., Sarmiento H., Descy J.-P. Primary production in a tropical large lake: The role of phytoplankton composition // Science of the Total Environment. 2014. V. 473–474. P. 178–188.
16. Håkanson L., Boulion V.V. The Lake Foodweb – modelling predation and abiotic/biotic interactions. Leiden: Backhuys Publishers, 2002. 344 p.
17. Productivity problems of freshwaters / ed. Z. Kajak, A. Hillbricht-Ilkowska. Warszawa-Krakow: Polish Scientific Publishers, 1972. 918 с.
18. Бульон В.В. Первичная продукция и рыбопродуктивность: моделирование и прогноз // Биология внутренних вод. 2006. № 1. С. 48–56.

19. Биологическая продуктивность северных озер. 1. Озера Криво и Круглое / под ред. Г. Г. Винберга. Л.: Наука. 1975. 228 с.
20. Сорокин Ю. И. Первичная продукция морей и океанов // Общая экология. Биоценология. Гидробиология. Т. 1. М.: Наука, 1973. С. 7–46.

## RELATIONSHIP BETWEEN PHYTOPLANKTON, HETEROTROPHIC PLANKTON, AND PLANKTIVOROUS FISH PRODUCTIONS IN DIFFERENT WATER BODIES

V. V. Boulion

*Zoological Institute RAS, St. Petersburg, Russian Federation*

*E-mail: vboulion@mail.ru*

Presented by Academician of the RAS O. N. Pugachov

On the example of 14 lake-type water bodies distributed over different latitudes of the northern hemisphere, it was shown that the efficiency of phytoplankton production transformation through heterotrophic bacterioplankton and non-predatory zooplankton to predatory zooplankton and planktivorous fish increases in the direction from eutrophic to oligotrophic water bodies. The highest ratios between autotrophic and heterotrophic organism production were found for lakes and reservoirs, where the contribution of allochthonous substances to the total energy flow is relatively high. Bacterioplankton utilizing allochthonous DOM is an additional source of energy for zooplankton, which, in turn, serves as a food object for planktivorous fish. Therefore, to predict the total biological productivity and production of the fish community, it is necessary to take into account the production of not only autotrophic plankton, but also that part of heterotrophic bacterioplankton that specializes in the utilization of DOM entering the water body from outside.

*Keywords:* lakes and reservoirs, phytoplankton production, production of heterotrophic organisms, energy transformation