

В мезотрофном оз. Сомнинское биомасса водорослей всех отделов, за исключением эвгленовых, примерно одинакова.

Фитопланктон семи озер (табл. 2) исследован О. Д. Акимовой и Н. И. Сретенской в июле — августе 1949—1950 гг. [5]. Однако провести сравнительную оценку с данными этих авторов затруднительно по двум причинам: во-первых, для сгущения материала ими применялся метод фильтрования через «предварительные» мембранные фильтры, пропускаемые для мелких представителей фитопланктона; во-вторых, как указывает Т. М. Михеева, вес доминировавших видов был сильно завышен [6]. Тем не менее необходимо заметить, что показатели биомассы этих семи озер летом 1985—1986 гг. оказались ниже приведенных в табл. 2 [5] (кроме оз. Вульковское). В общей биомассе фитопланктона заметно снизилась роль синезеленых водорослей, а пиропитовых возросла, хотя указанные изменения укладываются в рамки сезонных и многолетних колебаний биомассы, характерных для эвтрофных озер Белоруссии [3, 5]. Вероятно, именно в этих озерах существует тенденция к снижению биомассы водорослей, так как в настоящее время зарастаемость их макрофитами существенно увеличилась (по данным ОНИЛ озераведения). Уменьшение биомассы фитопланктона может быть следствием конкурентных взаимоотношений с высшей водной растительностью, что характерно для озер макрофитного типа [7].

### Список литературы

1. Utermöhl H. *Methodik. Mitt. internat. verein. Limnol.* 1958. Bd. 9. S. 5.
2. Михеева Т. М. Озерный фитопланктон и его продукционные возможности в водоемах разного типа: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1969. 25 с.
3. Михеева Т. М. Биологические основы рыбного хозяйства на внутренних водоемах Прибалтики. Минск, 1964. С. 201.
4. Михеева Т. М. Биопродуктивность озер Белоруссии. Минск, 1971. С. 48.
5. Акимова О. Д., Сретенская Н. И. // Тр. комплексной экспедиции по изучению водоемов Полесья. Минск, 1956. С. 247.
6. Михеева Т. М. Экологическая система Нарочанских озер. Минск, 1985. С. 33.
7. Покровская Т. Н. // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1978. № 2. С. 46.

УДК 591.524.12

Н. М. КРЮЧКОВА

### ВЗАИМООТНОШЕНИЯ ФИТО- И ЗООПЛАНКТОНА В БИОЛОГИЧЕСКИХ ОЧИСТНЫХ ПРУДАХ

В биологических очистных прудах с чрезвычайно высоким для многих видов содержанием биогенных элементов и низкой концентрацией кислорода (с резко выраженным его дефицитом в ночные часы) создаются благоприятные условия для массового развития отдельных, сравнительно немногих видов фито- и зоопланктона. В зависимости от того, какие организмы в них преобладают, круговорот веществ в прудах может осуществляться по автотрофному или гетеротрофному типу [1]. Особенности функционирования таких прудов рассмотрены нами ранее [2]. Цель настоящей работы — изучение трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона биологических очистных прудов [3].

Исследования выполнены в июле 1982 г. на биологических прудах санатория Нарочь, заполненных хозяйственно-бытовой сточной жидкостью. Под наблюдением находился один пруд, на котором ежедневно в течение недели утром отбирались пробы фито- и зоопланктона. В первые три дня температура воды составила 14,8—16 °С, затем заметно потеплело (до 19 °С в утренние часы). В период наблюдения вода в пруду была зеленоватого цвета, прозрачность по диску Секки составляла 23 см (при средней глубине 50 см).

Пробы зоопланктона отбирали кружкой 0,5 л на длинной рукоятке (1,5 м) с двух точек пруда (недалеко от места слива воды в соседний

пруд), а затем отфильтровывали через сеть Апштейна (газ № 70). Для учета фитопланктона использовали осадочные пробы (0,5 л), которые просчитывали в камере Фукс-Розенталя (обработка проведена В. Х. Рыбак).

Как правило, планктон в пруду распределен крайне неравномерно. В отдельных его частях ветвистоусые раки (дафнии и мойны) могут образовывать скопления в виде так называемых улиц [1], поэтому отбрана серия проб на равномерность распределения планктона по периметру и в центральной части пруда (всего с 30 точек). Исследования по распределению планктона выполняли в тихую погоду, чтобы исключить ветровой стон.

Воду (100—150 мл) фильтровали через мембранные фильтры № 6 Мытищинской фабрики (диаметр пор около 4—5 мкм), высушивали в термостате до постоянного веса при температуре около 100 °С, затем взвешивали на аналитических весах.

В пруду четко выделялись зоны с преобладанием отдельных групп организмов, что визуально легко определяли по характеру взвеси на фильтрах. При средней концентрации sestона в воде 146,2 мг/л сухого вещества в зонах с фитопланктоном она была заметно ниже (54,8 мг/л), с зоопланктоном — выше (357,3 мг/л), при близком соотношении тех и других организмов (1 : 1) — 120 мг/л. Сопоставление осредненной пробы (вода из 30 точек сливалась в общую емкость, из которой проба зоопланктона отбиралась) с результатом стандартного отбора показало, что, если биомасса животных в осредненной пробе составляла 2,29 г/л, то с постоянного места отбора — 2,61 г/л, т. е. выразилась величиной одного порядка. Следовательно, место отбора было выбрано правильно, и результаты наблюдений за фито- и зоопланктоном в целом достаточно хорошо характеризуют планктонное сообщество этого водоема.

Первичную продукцию планктона определяли один раз (за 6 дней исследования) в светлое время суток (с 6 до 22 ч) кислородным методом при экспозиции склянок у поверхности в течение 4 ч.

Суточный ход содержания кислорода в пруду четко выражен. Насыщение воды кислородом отмечено к 10 ч утра (100,9 %), а, начиная с 14 ч, перенасыщение составляло 232 % и выше. Максимум фотосинтеза приходился на 12 ч дня, затем наблюдалось его постоянное снижение. Суточная величина первичной продукции, полученная суммированием результатов 4-часовых экспозиций за светлое время суток в поверхностном слое, составляла 24,3 мг О<sub>2</sub>/л·сут. Это не столь уж большая величина первичной продукции для прудов, в которых наблюдалось и 75 мг О<sub>2</sub>/л·сут. [2].

Всего за период исследования обнаружено 56 таксонов водорослей (из них 30 хлорококковых, по 5—6 синезеленых, эвгленовых, диатомовых, пиррофитовых, по 1—2 вольвоксовых и десмидиевых). Общая численность фитопланктона колебалась от 373,0 до 451 млн кл/л при средней биомассе 239,7 мг/л (табл. 1). Наиболее многочисленны хлорококковые: от 56 до 78 % общей численности и 22—49 % биомассы водорослей. В отдельные дни в биомассе преобладали *Gloecapsa turgida* Kütz Hollerb. (26—46 %), *Oocystis solitaria* Wittrock, *Trachelomonas volvocina* Ehr., *Coelastrum reticulatum* (Dang) Senn.

В гидробиологических исследованиях для перехода от численности к биомассе принимается, что 1 млн клеток имеет сырую массу, равную 1 мг. Однако этот коэффициент зависит от трофности водоема [4]. По нашим материалам, в биологическом пруду (при доминировании хлорококковых), это отношение равно в среднем 0,58, что близко к соответствующему значению для эвтрофных вод.

Зоопланктон пруда представлен *Moina rectirostris* Leydig, родом *Cyclops* sp., *Brachionus angularis* Gosse, *Brachionus calyciflorus* Pallas, *Filinia longiseta* (Ehrb.), *Polyarthra* Ehr. Общая численность планктонных животных колебалась от 48 до 77 тыс. экз./л; на долю коловраток при-

Общая характеристика фитопланктона пруда (07.82)

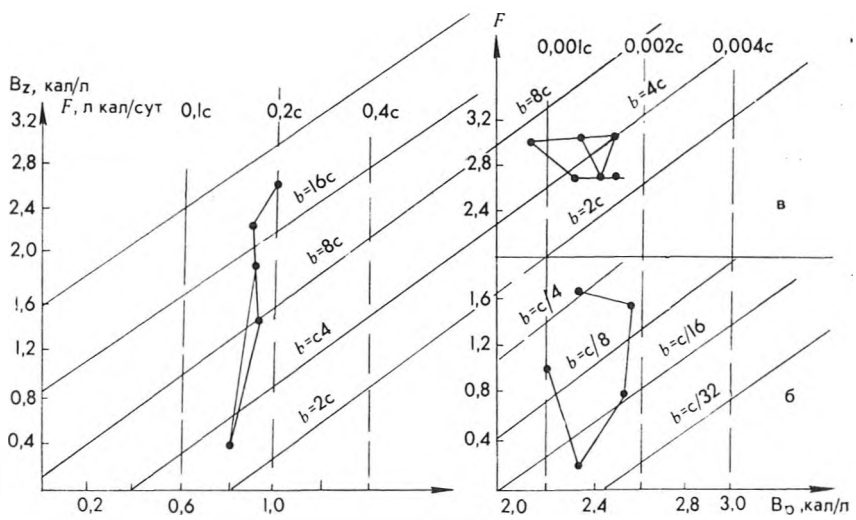
Дата	$N$ , млн кл./л	$\frac{N_{\text{хлорок.}}}{N_{\text{общ.}}} \cdot 100\%$	$B$ , мг/л	$\frac{B_{\text{хлорок.}}}{B_{\text{общ.}}} \cdot 100\%$	$\bar{W}$ , 1 млн кл.-мг
6	397,0	78,1	209,8	38,1	0,52
7	404,0	56,1	272,1	26,1	0,67
8	451,0	59,9	307,9	21,8	0,68
9	399,0	58,5	134,3	49,2	0,34
10	373,0	56,4	204,4	29,3	0,55
11	423,0	73,5	306,8	37,1	0,72
				в среднем	0,58

ходило до 52 % этого количества. В среднем за период исследования биомасса составляла около 1,8 г/л сырой массы. Величины того же порядка отмечались ранее [5]: до 2,8 г/л (при массовом развитии мони). В наблюдаемом пруду также преобладал этот рачок (около 98 % общей биомассы). Абсолютное значение этой величины будет еще выше, если учесть массу яиц, отложенных мoinами (до 36 % ее биомассы).

В период наблюдения общая численность мoin снижалась с 50 до 15 тыс. экз./л, а средняя плодовитость оставалась практически без изменений, обеспечивая активное размножение животных. В принципе это возможно только при ощутимом прессе выедания на популяцию рачков [6]. Можно предположить, что элиминация осуществляется путем спуска воды с мoinной через постоянно действующий слив при отсутствии рыб в биологическом пруду. Если первоначально в популяции по численности преобладала молодь (до 84 %), в дальнейшем резко возросла доля взрослых (до 70 %). В целом биомасса рачков определялась соотношением этих возрастных групп и за период наблюдений снижалась с 2,7 до 0,8 г/л.

На протяжении всех дней наблюдения масса животных значительно превосходила массу водорослей (в среднем в 9 раз). Для выяснения, удовлетворяла ли продукция водорослей пищевым потребностям животных, был проведен анализ трофических взаимоотношений фито- и зоопланктона пруда графическим способом сопоставления их биомасс [3]. При стационарном состоянии планктонного сообщества можно считать, что вся продукция фитопланктона потреблялась зоопланктоном. Тогда  $P=c$  или  $bB_p=cB_z$ ;  $b=B_z/B_p \cdot c$ ;  $F=c/B_p$ , где  $b$  — удельная суточная продукция фитопланктона или его  $P/B$ -коэффициент, сут.<sup>-1</sup>;  $B_p$  — биомасса фитопланктона, кал/л;  $B_z$  — биомасса зоопланктона, кал/л;  $c$  — удельный суточный рацион, сут.<sup>-1</sup>;  $F$  — интенсивность фильтрации, л/кал·сут. Когда  $c=1$ , суточный  $P/B$ -коэффициент водорослей при стационарном состоянии системы равен отношению биомасс зоо- и фитопланктона ( $B_z/B_p$ ). Исходя из приведенных соотношений легко оценить, в каких случаях продукция фитопланктона удовлетворяла пищевым потребностям фильтратов (см. рисунок).

Первоначально проведено сопоставление биомасс фито- и зоопланктона в гетеротрофном (см. рисунок, а) и автотрофном (см. рисунок, б) типах прудов, подробно изученных нами в 1972 г. [2]. Рассчитаны величины удельной скорости роста фитопланктона, или его  $P/B$ -коэффициент, а также объем воды, необходимый для удовлетворения пищевых потребностей зоопланктона. В пруду № 1, где биомасса животных почти в 25 раз превышала биомассу водорослей (табл. 2), стационарное состояние системы возможно при вполне реальных скоростях фильтрации воды (от 0,1 до 0,3 л/кал·сут.), близких к его значениям в эвтрофных водоемах [7, 8]. Однако  $b$  или  $P/B$ -коэффициент фитопланктона при



Соотношение биомассы фито- и зоопланктона в биологических очистных прудах в разные годы наблюдения:

а — пруд № 1 (07.72); б — пруд № 2 (07.72); в — пруд (07.82)

Таблица 2

Фито- и зоопланктон гетеротрофного (№ 1) и автотрофного пруда (№ 2) (07.72)

$B_p$ , кал/л	$B_z$ , кал/л	$b$	$P/B$	$F$
<b>Пруд № 1</b>				
8,25	81,1	9,8	—	0,12
6,50	2,1	0,32	1,04	0,15
8,30	28,7	3,4	5,1	0,12
7,80	189,4	24,3	12,8	0,13
10,05	406,0	40,4	1,8	0,10
<b>Пруд № 2</b>				
159,0	11,4	0,072	—	0,0063
219,6	2,0	0,0091	0,58	0,0046
331,2	6,5	0,0196	0,67	0,0030
329,0	—	—	0,99	—
325,0	39,0	0,12	0,74	0,0031
205,7	54,8	0,27	0,64	0,0043

Примечание: 1 мг сырой массы фитопланктона эквивалентен 1 кал; 1 мг зоопланктона — 0,5 кал.

этом в разные дни должен составлять от 0,32 до 40,4 сут.<sup>-1</sup>. Насколько реальны такие величины, видно по результатам наших наблюдений в этом пруду. Первые два рассчитанные значения были даже ниже, чем полученные экспериментально. Затем при резком возрастании биомассы зоопланктона (до 380 мг/л) скорость продуцирования фитопланктона в поверхностном слое возросла до 12,8 сут.<sup>-1</sup>. Даже столь высокий  $P/B$ -коэффициент не мог обеспечить пищевых потребностей зоопланктона и, хотя биомасса его росла (до 800 мг/л), скорость размножения водорослей резко упала (до 1,8 сут.<sup>-1</sup>). Сомнительно, чтобы пищевые потребности столь высокой биомассы зоопланктона могли быть обеспече-

Таблица 3

Фито- и зоопланктон  
биологического пруда (07.82)

$V_p$ , кал/л	$V_z$ , кал/л	$b$	$F$
209,8	1234,6	5,9	0,0048
272,1	512,0	1,9	0,0037
307,9	1332,6	4,3	0,0032
134,3	1315,2	9,8	0,0074
204,4	524,4	2,6	0,0049
306,8	604,1	2,0	0,0032

ны на протяжении длительного времени бактериями и детритом. Это в конечном счете должно привести к резкому снижению биомассы животных (отмиранию) и переходу пруда с гетеротрофного на автотрофный уровень.

В пруду № 2 (см. рисунок, б) автотрофного типа пищевые потребности зоопланктона обеспечиваются даже при низких скоростях фильтрации (0,003—0,006 л/кал·сут.), ниже предельно допустимых, известных в литературе, и вполне реальных (невысоких) скоростях продуцирования фитопланктона (не выше 0,27 сут.<sup>-1</sup>). Полученные по наблюдениям в этом пруду

реальные скорости продуцирования были значительно выше (0,58—0,99 сут.<sup>-1</sup>).

Как показали расчеты, в 1982 г. стационарное состояние в пруду может существовать при  $P/B$ -коэффициенте фитопланктона, в среднем равном 4 (табл. 3, рисунок, в). Данные исследований свидетельствуют о том, что такая величина в пруду в принципе возможна. Однако биомасса животных во все дни наблюдения была очень высока и составляла от 0,7 до 2,7 г/л. Наблюдения (1982) показали [2], что при высоких количествах зоопланктона (до 0,8 г/л)  $P/B$ -коэффициент фитопланктона резко снижается и не превышает 1—2. Следовательно, есть основания заключить, что, фильтруя даже с очень низкой скоростью (около 0,005 л/кал·сут.), животные не могут обеспечить своих пищевых потребностей за счет продукции фитопланктона, так как его  $P/B$ -коэффициент ниже необходимой величины. Определенная нами в специальных опытах на планктоне этого пруда средняя скорость фильтрации моллюска составляла в это время 0,029 л/мг сырого вещества·сут. или 0,058 л/кал·сут. (почти в 10 раз выше расчетной). Следовательно, для удовлетворения пищевых потребностей зоопланктона нужна еще более высокая величина  $P/B$ -коэффициента. При данном соотношении фитопланктона пруд не может длительно функционировать по гетеротрофному типу. Продукция бактерий и детрита, вероятно, тоже недостаточна для удовлетворения пищевых потребностей животных.

Таким образом, в прудах автотрофного типа пищевые потребности зоопланктона удовлетворяются при наблюдаемых скоростях продуцирования фитопланктона на протяжении длительного периода времени; в прудах гетеротрофного типа — до резкого возрастания биомассы зоопланктона (от 380 мг/л и выше). В этом случае заметно снижается скорость размножения водорослей, что в конечном счете приводит к отмиранию зоопланктона и переходу пруда с гетеротрофного на автотрофный тип функционирования.

## Список литературы

1. Uhlmann D. // Karl-Marx Univ. Wiss. Z. Math.-Nat. Fac. Leipzig, 1958/59. Bd. 8. № 1. S 17.
2. Крючкова Н. М., Михеева Т. М. // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1981. № 4. С. 626.
3. Винберг Г. Г. Гидробиол. журн. 1977. Т. 13. № 6. С. 14.
4. Михеева Т. М. // Антропогенное эвтрофирование природных вод: Тез. докл. на 3-м Всесоюзном симпозиуме. М.; Черноголовка, 1983. С. 69.
5. Крючкова Н. М. Роль зоопланктона в процессах самоочищения водоемов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1968. 25 с.
6. Камлюк Л. В., Ляхнович В. П. Гидробиол. журн. 1977. Т. 13. № 1. С. 48.
7. Гутельмахер Б. Л. Успехи современ. биол. 1974. Т. 78. № 5. С. 294.
8. Крючкова Н. М. Роль фильтраторов зоопланктона в трофодинамике пресных вод: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Л., 1984. 38 с.