

## ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ ЗООПЛАНКТОНА В ГИПЕРЭВТРОФНОМ ВОДОЕМЕ

The zooplankton in the oxidation biological ponds was investigated during the months of May, June, July 1972, 1973, 1982. The abundance of zooplankton under the influence of intensive stream of water from one ponds to another was observed.

Хозяйственная деятельность человека неизбежно сопровождается эвтрофированием водных экосистем. Это вполне определенно свидетельствует о том, что будущее большинства наших естественных водоемов – функционирование в режиме высокоэвтрофных водоемов. Отсюда понятна необходимость глубже познать основные механизмы сохранения гомеостаза в планктонном и бентосном сообществах, определяющих в значительной степени качество воды в них.

Типичными гиперэвтрофными водоемами являются биологические очистные пруды, широко используемые с целью очистки фекально-бытовых сточных вод в небольших населенных пунктах. Они характеризуются бедным видовым составом планктона и бентоса на фоне массового развития отдельных их таксонов, способных переносить чрезвычайно высокие концентрации элементов, в первую очередь азота и фосфора.

Исследования были выполнены нами на биологических прудах санатория Нарочь (Беларусь) в разные периоды времени: в течение семи дней с ежедневным отбором проб (июль, 1982 г.), месяца с периодичностью отбора 3 – 5 дней (июль, 1972 г.) и мая – июля 1973 г. с той же частотой съемки.

Продукция ветвистоусых раков была определена с помощью расчетного варианта графического метода [1], коловраток – по времени удвоения их биомассы [2].

Мгновенные скорости роста популяции ( $r$ ), рождаемости ( $b$ ) и смертности ( $d$ ) были рассчитаны по следующим формулам:

$$r = \frac{\ln N_t - \ln N_0}{t - t_0}, \quad [3]$$

где  $N_t$  и  $N_0$  – конечная и начальная численности в моменты  $t$  и  $t_0$ ;

$$b = \frac{I}{D_e} \left( I + \frac{E^I}{N} \right), \quad [4]$$

где  $E^I$  и  $N$  – количество яиц и коловраток в единице объема соответственно;  $D_e$  – время (сут) развития яиц от момента откладки их самками до вылупления из них свободноживущей молоди.

Смертность находим косвенным способом: по разности скоростей рождаемости и роста популяции  $d = b - r$ .

Наблюдения показали, что высокие численности зоопланктона сохраняются в биологических прудах на протяжении довольно длительных периодов времени, сопровождаясь при этом резкими колебаниями в отдельные дни. Так, максимальная биомасса (*Moina rectirostris*) в летнее время составляла по нашим данным до 2,5 г/л. Величина того же порядка (2,3 г/л) была получена В. Е. Коковой [5] на другом виде (*Moina macrocarpa*) в проточной культуре при периодическом и непрерывном их культивировании.

Возникает вопрос, каков же механизм регуляции численности зоопланктона в биологических прудах. Рассмотрим под этим углом зрения полученные в разные годы наблюдений материалы на примере обычно доминировавшего в планктоне рачка *Moina rectirostris*, составляющего периодами до 98 % от общей биомассы зоопланктона, а затем коловраток рода *Brachionus*, составляющих в отдельные даты до 52 % от общей численности.

Как следует из рис. 1, за семидневный период времени заметно изменялся возрастной состав популяции мoin. Несмотря на чрезвычайно высокую численность и биомассу животных, в первые три дня наблю-

дений доля молодежи составляла почти 80 %, затем снижалась до 30–39 %. Число яиц на одну яйценосную самку не зависело от фазы динамики численности рачков и сохранялось примерно на одном уровне. Это дало основания полагать, что не внутривидовые механизмы регулировали численность зоопланктона.

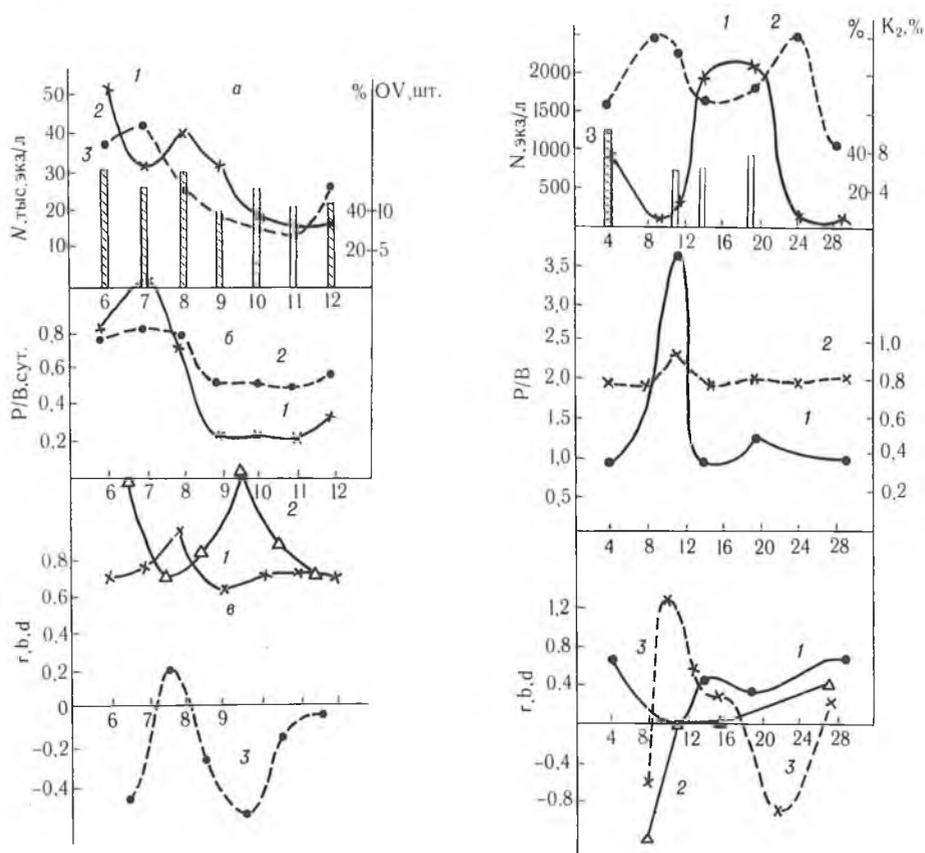


Рис. 1. Популяционные характеристики мойны:

*a*—динамика численности (1), процент молодежи в популяции (2) и индивидуальная плодовитость (3); *б*—динамика суточного P/B-коэффициента (1) и  $K_2$  (2); *б*—мгновенные скорости рождаемости (1), смертности (2) и роста популяции (3). На оси абсцисс—дата отбора проб

Рис. 2. Количественные показатели, характеризующие функционирование популяции мойн (июль 1972 г.). Обозначения те же, что и на рис. 1

В хорошем соответствии с возрастным составом популяции находилась удельная продукция, или суточный P/B-коэффициент мойн. Он был максимален в первые три дня (0,74–1,0), снижаясь затем до 0,20–0,34 (рис. 1, б). Столь высокие значения, как 0,8–1,0, на фоне высокой численности и биомассы мойн, вероятно, были обусловлены, в первую очередь, высокой долей молодежи (около 80 %) и близки к максимально возможным. На естественных водоемах такие значения удельной продукции в литературе вообще отмечены не были.

В принципе тот же характер изменения характерен и для  $K_2$ . Значения этого коэффициента были особенно велики, когда доля молодежи составляла более половины популяции (60–85 %). В целом же, за семидневный период  $K_2$  оказался равен 0,62, что обусловлено высоким темпом роста этого короткоживущего вида.

Несмотря на высокую численность мойн, максимально возможные (или близкие к ним) значения P/B-коэффициента, мгновенная скорость рождаемости их также была достаточно велика (рис. 1, в). Ее колебания укладывались в достаточно узкий диапазон от 0,64 до 0,92. Такие величины (в) редко наблюдаются в естественных водоемах. Так, по

данным [6], у разных видов вствиостоусых раков максимальное среднее значение этого коэффициента составляло лишь 0,246 (максимум 0,59). Несмотря на полученную высокую рождаемость моин, прироста ее численности в прудах не наблюдалось:  $r$  имела в основном отрицательные значения и колебалась от -0,22 до -0,545. Это было обусловлено главным образом тем, что элиминация моин ( $d$ ) была очень существенна и  $d$  находилась в пределах от 0,73 до 1,15 (в естественных водоемах, по данным М. Б. Ивановой, среднее значение этого коэффициента составляло лишь 0,146 (при максимуме 0,95). Так как потребителя моин в прудах нет, мертвые рачки в пробах обнаружены не были. Такая высокая смертность моин может иметь только одно объяснение. Заметная элиминация рачков осуществлялась, по-видимому, через постоянно действующий слив воды в соседний пруд. Она может служить механизмом, объясняющим высокую скорость размножения моин, несмотря на их чрезвычайно высокую численность. Это дает основания приравнять биологические пруды к проточной системе в естественных условиях.

Постоянная элиминация рачков через действующий слив приводит к тому, что, несмотря на высокую численность, у них наблюдаются максимально возможные значения Р/В-коэффициентов. Постоянное изъятие значительной доли популяции моин через слив приводит к тому, что, вследствие разреживания, она находится в состоянии активного размножения. Об этом свидетельствует высокая доля молодежи, значительная плодовитость и значения Р/В-коэффициента, близкие к максимальным.

То, что элиминация части популяции приводит к активному размножению оставшихся организмов, еще ранее было показано нами на примере других сообществ: фито- и бактериопланктона, у которых в этом случае возрастали такие характеристики, как Р/В-коэффициент и время удвоения биомассы бактерий [7, 8]. В принципе тот же результат получен нами в данной работе уже на популяции зоопланктона при заметном изъятии его количества. Это дает основания полагать, что здесь, вероятно, проявляется универсальный биологический закон, единый для всех групп организмов. В принципе те же результаты были получены при более длительном периоде наблюдений (июль 1972 г.).

На протяжении целого месяца доля молодежи в популяции моин (за исключением одной даты, когда она упала до 43 %) колебалась от 70 до 100 % (рис. 2, а). В этих условиях суточный Р/В-коэффициент за июль составил в среднем  $1,03 \text{ сут}^{-1}$  (0,97–3,71). Интенсивный рост молодежи обусловил и очень высокие значения  $K_2$  (в среднем 0,88 при колебаниях от 0,75 до 0,92).

В литературе высказывалось мнение [9] о том, что интегральным параметром, характеризующим функционирование сообщества микроорганизмов, является время оборота (обновление его биомассы). При малом времени оборота преимущественное развитие получают быстрорастущие виды, потребляющие легкоусваиваемые субстраты ( $r$ -стратегии). Это предположение можно перенести и на моюну. По полученным данным, в июле 1972 г. время оборота ее биомассы составило 1,03 сут. Это обеспечивает преимущественное развитие данного вида в таких крайне неустойчивых системах, какими являются биологические пруды с резко выраженным суточным ходом колебания  $O_2$ , рН и других параметров. Виды, растущие медленнее (виды с  $K$ -стратегией), как правило, не развиваются в этих экосистемах.

Не останавливаясь на материалах, полученных в мае–июле 1973 г. [10], укажем лишь, что по основным параметрам они не отличались от приведенных данных. Так, доля молодежи в популяции моин за трехмесячный период также была очень высока (от 60 до 100 %), удельная продукция – от 0,60 до  $2,20 \text{ сут}^{-1}$  при средней за сезон 1,20. В этих условиях время оборота биомассы моин за сезон составило около суток (0,96 сут).

Такие высокие параметры ( $P/V$ -коэффициент, доля молоди в популяции, плодовитость, рождаемость) были обусловлены, как и в первых двух случаях, чрезвычайно высокой элиминацией моин через постоянно действующий слив, что поддерживало популяцию в состоянии активного размножения ( $d$  от 2,2 до 1,5).

На тех же прудах в разные годы прослежена динамика численности массовых видов коловраток [11]. Рассмотрим результаты, полученные на *Brachionus urceolaris* в мае – июле 1973 г. (рис. 3).

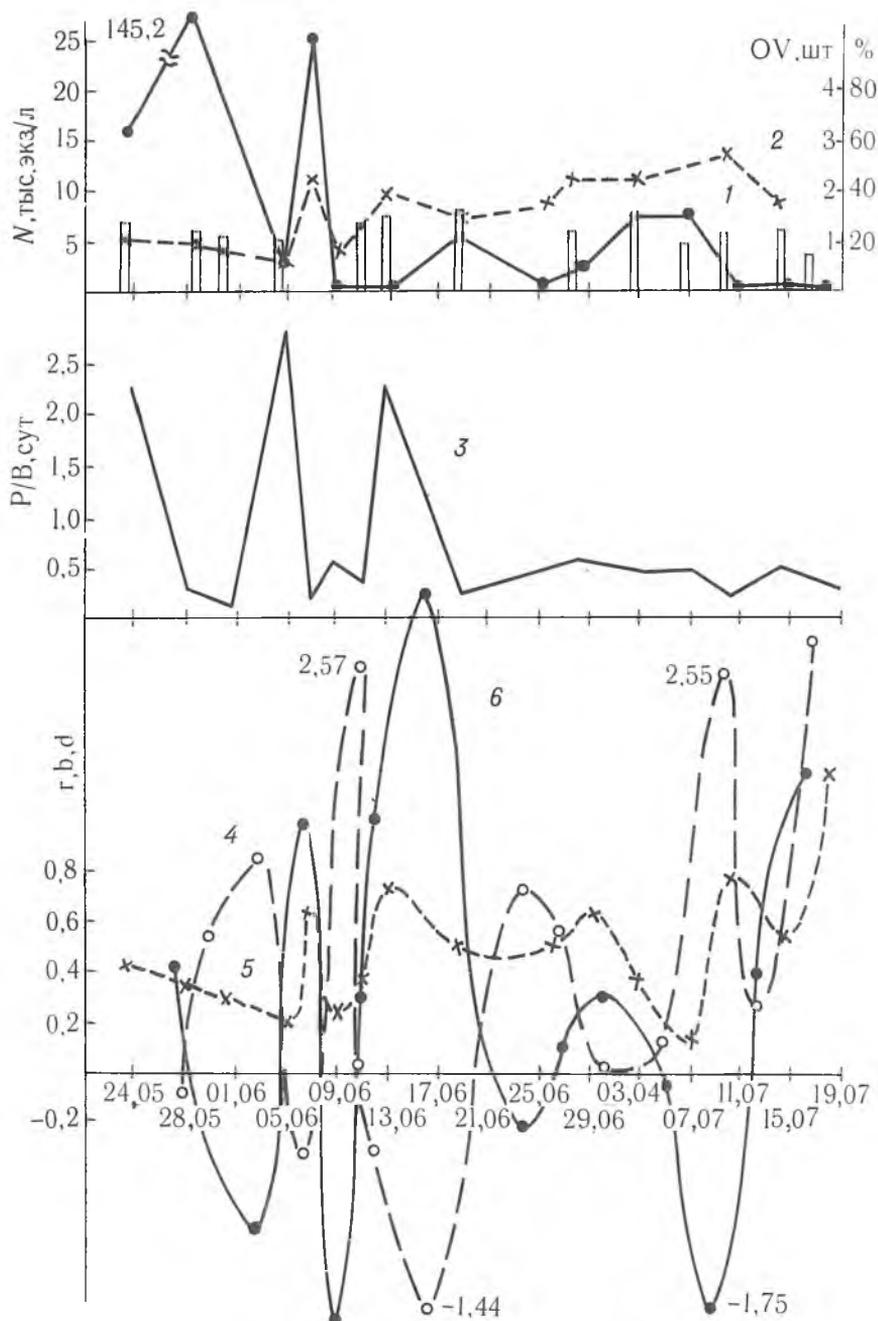


Рис. 3. Сезонная динамика численности *B. urceolaris* в пруду № 1: 1—численность, тыс. экз./л; 2—доля яйценосных самок, %; 3— $P/V$ -коэффициент сут; 4—удельная скорость рождаемости, 5—смертности; 6—скорости роста

Динамика численности брахионуса в пруду № 1 носила характер двугорбной кривой с максимумами, составлявшими 145,2 и 25 тыс. экз./л (рис. 3). Если плодовитость брахионуса была на протяжении

сезона практически постоянной (1–2 яйца), то доля яйценосных самок (при средней за сезон 32 %) в отдельные периоды возрастала почти вдвое (до 60 %). Однако это не сопровождалось возрастанием общего числа коловраток. Это свидетельствовало, по-видимому, о том, что динамика численности брахионуса, как и моины, регулировалась не внутривидовыми механизмами. Как и в случае с моиной, несмотря на высокую численность брахионуса, скорость его роста была чрезвычайно высока. Так, максимальные значения суточного Р/В-коэффициента составляли от 2,4 до 3,7 сут<sup>-1</sup> при средней величине за летнее время 0,89 сут<sup>-1</sup>. Величины такого порядка известны из литературы. Так, по данным В. Е. Заики [12], удельная продукция *V. calyciflorus* в интенсивной культуре не ниже 1,3. По полученным нами данным, время оборота биомассы коловраток составило 1,12 сут (близко к моине).

Ясно, что, имея столь малое время оборота биомассы, брахионус получает преимущественное развитие и поэтому обычно обилел в биологических прудах с органическим загрязнением. Несмотря на высокую удельную скорость рождаемости (в среднем 0,50 при максимальном значении 1,22), прироста популяции брахионуса зачастую не наблюдалось вследствие высокой элиминации беспозвоночных. При отсутствии в прудах естественных хищников и рыб последняя осуществляется через постоянно действующий слив воды в соседний пруд ( $d$  от 2,55 до 2,57).

Выполненные исследования показали, что в биологических прудах получены чрезвычайно высокие скорости рождаемости и смертности коловраток, не наблюдаемые обычно в естественных водоемах. Они, по-видимому, характеризуют максимально возможные значения этих параметров в условиях естественной проточной системы, которыми являются изученные пруды.

Таким образом, проведенные исследования показали, что основным механизмом, регулирующим динамику численности зоопланктона, в биологических очистных прудах является постоянно действующий слив воды в соседний пруд. Это обуславливает максимально возможную скорость размножения популяции беспозвоночных в гиперэвтрофных водоемах.

### Список литературы

1. Методы определения продукции водных животных / Под ред. Г. Г. Винберга. Мн., 1968. С. 245.
2. Г а л к о в с к а я Г. А. Планктонные коловратки и их роль в продуктивности водоемов: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мн., 1965. С. 20.
3. О д у м Ю. Основы экологии. М., 1975. С. 740.
4. P a i l l o h e i m o I. В. //Limnol. Oceanogr. 1974. V. 19. № 14. P. 692.
5. К о к о в а В. Е. Непрерывное культивирование беспозвоночных. Киев, 1982. С. 168.
6. И в а н о в а М. Б. Продукция планктонных ракообразных в пресных водах. Л., 1985. С. 220.
7. К р ю ч к о в а Н. М., М и х е е в а Т. М. //Изв. АН СССР. Сер. биол. наук. 1982. № 4. С. 625.
8. К р ю ч к о в а Н. М. //Изв. АН БССР. Сер. биол. наук. 1983. № 6. С. 92.
9. В а в и л и н В. А. Время оборота биомассы и деструкция органического вещества в системах биологической очистки. М., 1986. С. 155.
10. К р ю ч к о в а Н. М. //Итоги продукционных исследований в Белоруссии. Мн., 1988. С. 80.
11. К р ю ч к о в а Н. М. //Гидробиол. журн. 1989. № 6. С. 43.
12. З а и к а В. Е. Удельная продукция водных беспозвоночных. Киев, 1972. С. 144.