

УДК 591.524.12(476)

В. П. ЛЯХОВИЧ, П. А. МИТРАХОВИЧ

ДИНАМИКА И ПРОДУКЦИЯ ПОПУЛЯЦИИ *EUDIARTOMUS GRACILOIDES* LILL. В УСЛОВИЯХ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ТЭС

В связи с быстрым ростом тепловых и атомных электростанций возникла проблема влияния подогретых вод на экологические системы водоемов, использующихся в качестве охладителей. Одним из таких водоемов-охладителей является оз. Лукомльское (площадь 36,2 км², максимальная глубина 11,5 м, объем 243,5 млн. м³), расположенное в Витебской области. Расчетный водооборот озера при охлаждении системы ТЭС составляет 45—50 суток, в зоне подогрева температура воды постоянно повышена на 2—4° С.

Целью данной работы было изучение влияния подогретых вод ТЭС на динамику и продукцию популяции *Eudiartomus graciloides* Lill. в условиях водоема-охладителя.

Материал и методика

Популяцию *E. graciloides* исследовали параллельно в подогреваемой зоне (ст. 8) и вне влияния подогрева (ст. 10) с апреля 1978 г. по май 1979 г. Расстояние между станциями около 7 км, глубина на обеих станциях 8,4 м.

Количественные пробы отбирали планктоночерпателем Вовка объемом 10 л, газ № 70, через каждые 2 м глубины и просчитывали полностью в камере Богорова [1], качественные пробы отбирали цепелиновой сетью (газ № 70), протягиваемой от дна до поверхности. Для определения биомассы популяции пользовались формулой $W=0,036 l^{2,738}$, описывающей связь массы и размеров тела [2]. Измерения длины тела осуществляли под биноклем МБС-1 при увеличении 8×4. За длину тела рачков принимали расстояние от середины глаза до конца фуркальных ветвей. Возрастные стадии определяли методикой Е. В. Боруцкого [3]. Продукцию популяции рассчитывали по методике определения продукции водных животных с постоянным пополнением [4, 5]; значения D_e , D_q , D_n и D_h взяты из экспериментальных работ [6] с учетом температуры [4]. Средний вес яиц *E. graciloides* получен серией непосредственных взвешиваний на весах типа АДВ-200, навески при этом брали от 2 до 6 мг.

Всего за период исследований обработано более 150 количественных и около 100 качественных проб.

Результаты и их обсуждение

Данные количественного развития популяции *E. graciloides* показывают, что в подогреваемой зоне в течение года было четыре пика численности: в начале мая, конце июня, конце августа и, самый малый (4,74 тыс. экз/м³), во второй половине сентября. Максимум численности приходится на вторую половину июня (20,4 тыс. экз/м³). Каждому подъему общей численности соответствовало повышение и преобладание доли науплиальных форм и понижение доли взрослых рачков в популяции. Науплиусы преобладали в составе популяции на протяжении шести месяцев — с марта по сентябрь 1978 г., их доля составляла от 40 до 95%, удельный вес копепоидов колебался от 23 до 39%, взрослые рачки составляли от 2,6 до 18,8% общей численности популяции. К концу октября 1978 г. численность науплиусов снижалась до минимума. Новый

подъем численности науплиусов отмечен в феврале 1979 г., к концу марта доля их в популяции достигала 94,6% при общей численности 1,86 тыс. экз/м³.

Копеподиты в популяции отсутствовали с января по март 1979 г. В первых числах мая доля их в популяции составляла 3% при общей численности популяции 11,7 тыс. экз/м³.

Минимум взрослых рачков (0,66%) при общей численности 3,04 тыс. экз/м³ наблюдался в середине сентября, в дальнейшем численность их преобладает в популяции и увеличивается от 11,4% в сентябре до 88% в январе 1979 г., затем к маю идет спад удельного веса взрослых рачков до 0,17%.

В общей биомассе популяции в подогреваемой зоне взрослые рачки доминировали с марта по май 1978 г., затем со середины июля до конца августа и с октября 1978 г. по март 1979. Копеподиты доминировали в биомассе в течение июня и сентября.

Явное преобладание биомассы науплиусов (70,5%) в зоне подогрева отмечено только в начале мая 1979 г.

В непоогреваемой зоне популяция *E. graciloides* имела два пика численности с максимумом в конце июня, причем в мае — июне 1978 г. численность была несколько ниже, чем в подогреваемой. В конце этого периода отмечено снижение максимума численности популяции (16,04 тыс. экз/м³), запаздывающее почти на две недели по сравнению с подогреваемой зоной. Доминирование науплиальных и копеподитных форм в составе популяции в непоогреваемой зоне было сходным с подогреваемой зоной, но доля копеподитов вне подогрева с мая по июнь значительно ниже, а доля науплиусов выше. В первых числах июля общая численность популяции в непоогреваемой зоне стала выше, чем в зоне подогрева. В сентябре — октябре, как и в весенне-летний период, снова показатели количественного развития популяции выше в подогреваемой зоне. Более низкие показатели численности популяции в подогреваемой зоне в зимний период, возможно, связаны с выносом рачков от станции наблюдения, так как узкая полынья создает более сильный ток сбросных вод.

Анализируя данные по количественному развитию популяции *E. graciloides* в подогреваемой и непоогреваемой зонах следует отметить, что преобладание в мае — июне копеподитов в подогреваемой зоне, а науплиусов в непоогреваемой зоне свидетельствует о влиянии подогретых вод. Температура в зоне подогрева в среднем за год была выше на 2°С (рис. 1, 2), в мае — выше на 1, 2°С, в июне на 1, 4°С. Повышение температуры воды в период температурного оптимума для популяции *E. graciloides* в зоне сброса подогретых вод увеличивало скорость роста и развития рачков, что, очевидно, и вызвало разницу в соотношении копеподитов и науплиусов в подогреваемой и непоогреваемой зонах. Кроме того, несомненно, в зоне подогрева выше и суточные колебания температуры, а эффективность роста *E. graciloides*, как показал Кибби [7], выше в водохранилище с большим размахом суточных и сезонных колебаний температуры.

Существенных различий в размерах взрослых особей изучаемых популяций не наблюдалось (см. рис. 1). На обеих станциях самых больших размеров (по осредненным данным) рачки достигли в марте — мае. При температуре воды 6,6—10,1°С в подогреваемой и 2,9—8,9°С в непоогреваемой зонах, средняя длина самок составляла 1,39 мм, самцов 1,28 мм.

Последующее повышение температуры воды, которая в августе достигла летнего максимума и составила 21,5 в подогреваемой зоне и 20,2°С в непоогреваемой, сопровождалось уменьшением длины тела взрослых рачков до минимальной. В середине августа самки *E. graciloides* имели среднюю длину тела 1,16 мм, самцы — 1,1 мм.

Периоду минимальных размеров рачков предшествовал период максимальной плотности популяции. Известно [7], что высокая плотность

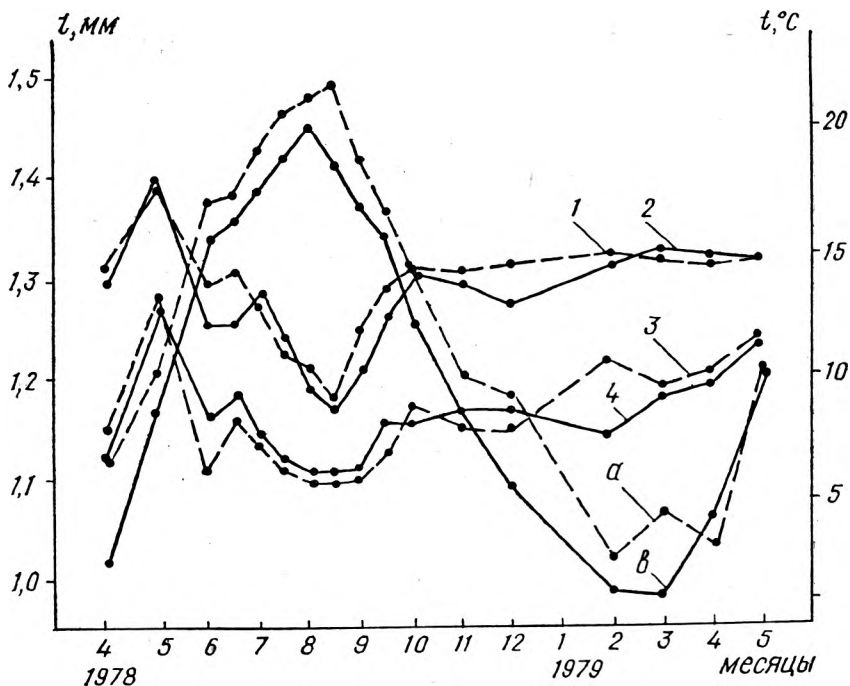


Рис. 1. Изменения длины тела (l) взрослых *E. graciloides* на фоне изменений температуры в водоеме-охладителе ТЭС:

1 — длина тела самок в подогреваемой, 2 — в непогрееваемой зонах; 3 — длина тела самцов в подогреваемой, 4 — в непогрееваемой зонах; а и б — температура воды в подогреваемой и в непогрееваемой зонах соответственно (то же на рис. 2)

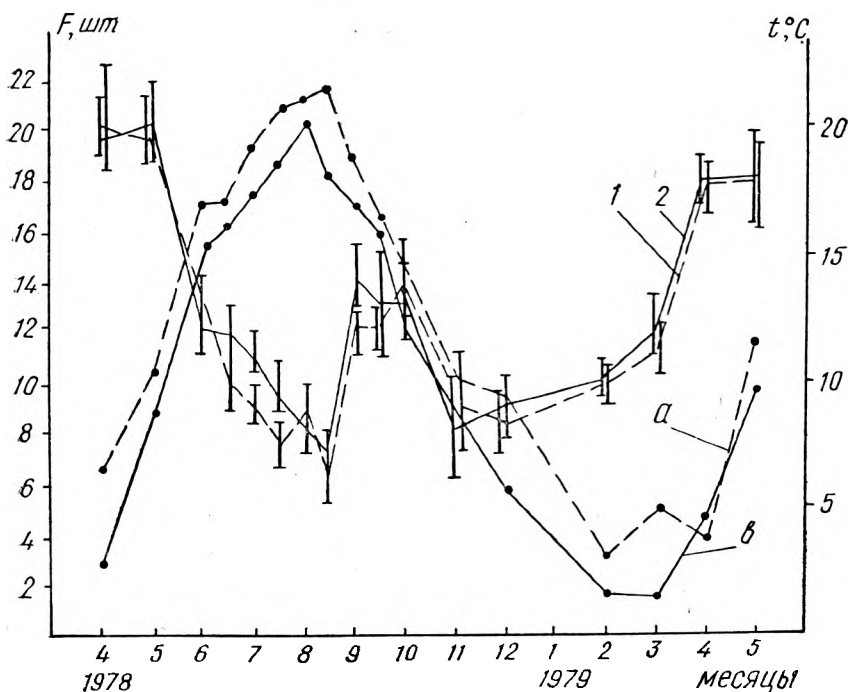


Рис. 2. Изменения плодовитости (F) популяции на фоне изменений температуры в водоеме-охладителе ТЭС:

1, 2 — средняя плодовитость самок в подогреваемой и в непогрееваемой зонах соответственно; вертикальными линиями отмечены доверительные интервалы, рассчитанные для $P=0,05$

популяции способствует повышению скорости развития, но уменьшает скорость роста. Скорость развития и созревания увеличивается также с повышением температуры [4]. В результате в августе взрослые рачки имели меньшие размеры, чем в марте.

Различия между средними размерами взрослых рачков в подогреваемой зоне и вне подогрева статистически недостоверны. Очевидно, влияние подогретых вод в наших условиях недостаточно для того, чтобы вызвать существенные изменения этого показателя. Как показал Хейне [7], размеры взрослых самок *Acartia tonsa* относительно постоянны при всех значениях температуры ниже 15° С.

В подогреваемой зоне отмечены три максимума численности взрослых самцов: 7 мая, 15 августа и 22 октября, при этом численность самцов значительно превышала численность взрослых самок, составляя 62,4, 73,6 и 64,2% общей численности взрослых соответственно.

Среднегодовой показатель соотношения полов (x) в подогреваемой зоне колебался около 0,5 с небольшим понижением осенью.

В непоогреваемой зоне периодов резкого преобладания самцов над самками не наблюдалось. Соотношение полов в этой зоне за весенний сезон равнялось 0,7, летний — 0,6, осенний — 0,5 и зимний — 0,44.

Доля яйценосных самок в общей численности половозрелых самок *E. graciloides* в течение года в подогреваемой зоне имела три пика: в апреле (55,4%), июне (42,4) и в сентябре (30,2%).

Вне подогрева также отмечены три подъема удельного веса яйценосных самок: в апреле (57,7%), июне (37,1) и в сентябре (52,3% общей численности взрослых самок). С мая по октябрь на обеих станциях наблюдения доля яйценосных самок снижалась от 40 до 10%, а к январю 1979 г. она опять возросла до 30% в обеих зонах. Весной 1979 г. в подогреваемой зоне доля яйценосных самок возросла до 40%, а вне подогрева сохранялась на уровне зимнего периода (30%).

Достоверных различий плодовитости самок между подогреваемой и непоогреваемой зонами наблюдения не обнаружено [8]. Максимальная плодовитость отдельных самок в обоих случаях в марте — мае достигла 30 яиц в кладке, в июне — августе 13 яиц, а к середине сентября 25 яиц в кладке, что коррелирует с размерами особей.

Наиболее высокие показатели средней плодовитости самок *E. graciloides* (20 яиц) характерны для весеннего периода, самые низкие (6 яиц) отмечены в середине августа. По отношению к температуре плодовитость популяции изменялась аналогично изменению длины тела самок (см. рис. 2). Лишь с октября, когда температура воды в обеих зонах опустилась ниже 15° С, плодовитость популяции стала падать и в ноябре — декабре понизилась до 8—9 яиц, хотя длина тела самок находилась в прежних пределах.

Понижение температуры воды в зонах наблюдения происходило до конца февраля 1979 г., но уже с декабря плодовитость популяций возросла и в феврале 1979 г. при 2,7° С в зоне подогрева и 1,6° С вне подогрева составляла 10 яиц, в мае 1979 г., когда температура воды была 11,5 и 10,1° С, плодовитость популяции достигла 20 яиц, как и в мае 1978 г.

Таким образом, средняя плодовитость самок в популяции *E. graciloides* оз. Лукомльского изменялась в пределах 6—20 яиц в кладке при температурной амплитуде 12° С. По данным М. А. Петровой [9], в оз. Святом размаху колебаний температуры в 7° С соответствовало изменение плодовитости в пределах от 15 до 20 яиц в кладке. При этом средние температуры воды в гетеротермном оз. Святом были ниже, чем в оз. Лукомльском.

Данные о возрастном составе популяции *E. graciloides* показали, что в оз. Лукомльском она имеет четыре генерации в течение года. Первая генерация охватывает период с 1 декабря по 15 мая; вторая — с 1 июня по 10 июля; третья — с 20 июля по 25 августа и, наконец, четвертая генерация длится с 1 по 30 сентября.

Продукционно-биологические показатели популяции *E. graciloides* в подогреваемой (ст. 8) и неподогреваемой (ст. 10) зонах водоема-охладителя ТЭС

Дата отбора проб	Ст. 8				Ст. 10			
	В, мг/м ³	Р, мг/м ³	интервал, сут	Р/В, сут	В, мг/м ³	Р, мг/м ³	интервал, сут	Р/В, сут
28.03.1978	30,5	—	—	—	32,0	—	—	—
5.05.1978	86,3	258,0	37	0,081	20,0	59,2	37	0,080
4.06.1978	89,8	263,8	30	0,098	27,2	70,4	30	0,086
13.06.1978	159,3	287,2	14	0,128	85,7	116,4	14	0,097
2.07.1978	198,3	263,3	14	0,095	224,0	311,9	14	0,099
16.07.1978	140,2	180,6	14	0,092	83,1	204,2	14	0,176
30.07.1978	115,1	143,5	14	0,089	197,8	249,6	14	0,090
14.08.1978	79,0	104,4	14	0,094	98,6	131,4	14	0,095
28.08.1978	157,1	189,9	14	0,086	197,0	221,2	14	0,080
11.09.1978	48,8	38,8	14	0,058	54,2	58,3	14	0,076
25.09.1978	128,3	94,4	14	0,052	66,2	48,0	14	0,051
22.10.1978	95,0	67,9	28	0,026	72,7	52,7	28	0,026
19.11.1978	65,2	24,0	28	0,013	108,8	29,4	28	0,011
25.01.1979	61,8	24,8	65	0,006	107,9	42,2	65	0,066
20.02.1979	10,7	2,5	25	0,011	60,7	12,6	25	0,009
31.03.1979	7,7	5,8	40	0,019	5,1	23,2	40	0,114
8.05.1979	20,9	101,2	38	0,127	35,6	89,6	38	0,056

О наличии у популяции *E. graciloides* в оз. Лукомльском четырех генераций свидетельствуют показатели соотношения возрастных стадий, что можно проследить на примере II науплиальной стадии, доля которой в популяции повышалась четыре раза: в марте, июне, июле и сентябре.

При изучении популяции *E. graciloides* в оз. Замковом (ПНР) отмечено две генерации [10]. В оз. Белом для популяции этого вида обнаружено три генерации [11]. Наличие четырех генераций у популяции *E. graciloides* в оз. Лукомльском можно объяснить постоянным перемешиванием и быстрым прогреванием воды, ускоряющим развитие и, следовательно, созревание рачков. Следующие один за другим несколько повышений плотности популяции также стимулируют развитие особей [7].

Прямое влияние подогретых вод ТЭС также ускоряет процессы развития и созревания рачков.

Анализ качественных проб показал, что, как в зоне подогрева, так и вне его на протяжении всей зимы в популяции присутствуют науплиусы II и III стадий, доля которых в популяции начала возрастать в январе при 2,5—3,2° С. Следовательно, в зимний период в оз. Лукомльском происходит вылупление науплиусов. В марте 1979 г. при температуре воды 4,9° С в подогреваемой зоне и 1,5° С вне подогрева популяция имеет значительное количество науплиусов I—V стадий. Между тем в экспериментальных условиях при температуре 6° С развитие науплиусов прекращается на II стадии [6].

Следует отметить, что показатели биомассы, продукции и *P/V* коэффициентов за исследуемый период, а также суточные *P/V* коэффициенты различаются в подогреваемой и неподогреваемой зонах (см. таблицу).

С весны и до середины июня продукция популяции *E. graciloides* в исследуемых зонах возрастала и была в два — четыре раза выше в зоне подогрева, а с начала июля и до середины сентября она понижалась и с некоторыми колебаниями была в 1,5 раза выше вне подогрева. В сентябре и октябре в зоне подогрева снова отмечались более высокие пока-

затели продукции популяции *E. graciloides*. Далее продукция популяции в обеих зонах снижалась до февраля 1979 г., но была выше в непогреваемой зоне.

Суммарная продукция популяции *E. graciloides* в зоне сброса теплых вод ТЭС оказалась в 1,2 раза выше, чем вне влияния подогрева.

Среднегодовые показатели биомассы в подогреваемой и непогреваемой зонах соответственно равны 96,2 и 93,9 мг/м³, показатели суммарной продукции — 1948,9 и 1630,7 мг/м³, среднесуточный *P/V* коэффициент — 0,063 и 0,077.

Следовательно, в периоды оптимальных температурных условий (8—15°С) развития популяции *E. graciloides* подогрев, вызывающий увеличение скорости развития рачков, повышает продуктивность популяции в оз. Лукомльском.

В жаркий летний период, когда наблюдается высокая плотность популяции, способствующая развитию рачков, но задерживающая рост, подогрев снижает продуктивность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богоров В. Г.— Труды Ин-та океанологии АН СССР, 1951, т. 5, с. 54.
2. Общие основы изучения водных экосистем / Под ред. Винберга Г. Г.— Л., 1979, с. 169.
3. Боруцкий Е. В.— Вопросы ихтиологии, 1960, вып. 14, с. 182.
4. Винберг Г. Г. Методы определения продукции водных животных.— Минск, 1968, с. 45, 67, 73.
5. Петрович П. Г., Шушкина Э. А., Печень Г. А.— Докл. АН СССР, 1961, т. 139, № 5, с. 1235.
6. Маловицкая Л. М.— Труды Ин-та биологии внутренних вод, 1965, вып. 8 (II), с. 58.
7. Галковская Г. А., Сушеня Л. М. Рост водных животных при переменных температурах.— Минск, 1978, с. 4, 21, 74, 76.
8. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика.— Минск, 1973, с. 81.
9. Петрова М. А. и др.— Гидробиологический ж., 1975, с. 82.
10. Patalas K. *Polskie Archiwum Hydrobiologii*, 1956, t. 3, s. 213.
11. Боруцкий Е. В.— Труды Всесоюз. гидробиол. об-ва, 1951, т. 3, с. 155.

Кафедра общей экологии

Поступила в редакцию
23.05.79.