

Е. П. ТУРПАЕВА, В. Н. МАКСИМОВ

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ФАКТОРОВ
НА ПОПУЛЯЦИЮ УСОНОГОГО РАЧКА *BALANUS IMPROVISUS*
DARWIN В СОСТАВЕ БИОЦЕНОЗА МОРСКОГО ОБРАСТАНИЯ

(Представлено академиком В. В. Париным 26 VIII 1970)

Мы использовали метод математического планирования эксперимента (¹⁻³, ⁷) для количественной оценки влияния четырех факторов при их одновременном воздействии на популяцию усонного рачка *Balanus improvisus*. Были выбраны следующие факторы: пища, соленость воды, массовая форма азовоморского обрастания — голожаберный моллюск *Tenellia adspersa*, промышленные сточные воды завода, содержащие токсические вещества, в частности цианиды. Эксперименты проводились в г. Жданове (Азовское море, Таганрогский залив).

Опыты ставились по плану полного факторного эксперимента ПФЭ 2⁴ (⁴), где каждый фактор был представлен на верхнем и нижнем уровнях. В наших опытах нижний уровень (знак «—» в табл. 1) означает: естественную концентрацию планктона, естественную соленость воды, отсутствие тенеллии и отсутствие сточных вод. Верхний уровень (знак «+» в табл. 1) означает: наличие добавки пищевого планктона (около 100 мг сырого веса смеси из фито- и мелкого зоопланктона на 1 л воды), опреснение воды — добавку пресной воды к морской в пропорции 1:1, присутствие тенеллии по 5 молодых половозрелых особей, добавку сточных вод также в пропорции 1:1.

В опытные сосуды объемом 1 л погружались обросшие молодыми баянусами стеклянные пластины (площадью 48 см²), которые прикреплялись к раме специального устройства для перемешивания воды в сосудах (⁵). Движение рамы сообщало пластинам около 10 качаний в минуту и обеспечивало перемешивание воды, достаточное для ее аэрации и поддержания пищевых организмов во взвешенном состоянии. Замена воды в сосудах и внесение добавок пищи производились ежедневно. Опыты продолжались 30 дней; за это время температура воды в сосудах менялась в пределах от 19 до 23°, а естественная соленость воды — от 9 до 12‰. При камеральной обработке подсчитывалась биомасса всех баянусов в пластине, а также численность ранней молодежи с диаметром основания меньше 1 мм. Так как в 1969 г. в Таганрогском заливе было очень интенсивное оседание баянусов и их циприсовидные личинки попадали в опытные сосуды вместе с морской водой (вода фильтровалась через мельничный газ с отверстиями 0,6 мм), численность молодежи баянусов мы считаем показателем относительной интенсивности процесса оседания личинок в различных опытных условиях.

Ниже исследуемый фактор обозначается буквой x , а числовой индекс около этой буквы показывает номер фактора: x_1 — пища, x_2 — соленость, x_3 — тенеллия, x_4 — сточные воды. Эффекты влияния факторов обозначаются буквой b с соответствующим числовым индексом: b_1, b_2, b_3, b_4 . Эффекты взаимодействия факторов обозначаются буквой b с несколькими индексами в зависимости от числа взаимодействующих факторов.

План эксперимента и результаты опытов представлены в табл. 1; коэффициенты регрессии (b_i) — в табл. 2. Значимость этих коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента (⁴) для 1- и 10-процентного уровней при числе степеней свободы $f_i = 15$. При 1-процентном уровне для числен-

Таблица 1

Влияние исследованных факторов на численность молоди (экз./48 см²) и общую биомассу (мг/48 см²) *Balanus improvisus*

Вариант	Градации факторов				Численность		Биомасса	
	Пища x_1	опреснение, x_2	<i>Tenellia</i> , x_3	сточные воды, x_4	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2
1	—	—	—	—	2070	1420	300	139
2	+	—	—	—	1670	2200	420	604
3	—	+	—	—	1360	2270	220	178
4	+	+	—	—	2260	2500	263	647
5	—	—	+	—	2750	2380	227	243
6	+	—	+	—	2300	2120	642	663
7	—	+	+	—	2350	1800	271	174
8	+	+	+	—	2470	2640	553	607
9	—	—	—	+	41	68	8	24
10	+	—	—	+	214	193	173	169
11	—	+	—	+	353	350	73	105
12	+	+	—	+	386	489	87	170
13	—	—	+	+	36	36	23	8
14	+	—	+	+	196	154	88	158
15	—	+	+	+	197	223	45	57
16	+	+	+	+	284	198	117	88

ности молоди значимыми оказались отрицательный коэффициент влияния сточных вод (b_4), для биомассы — положительный коэффициент влияния пищи (b_1) и отрицательные коэффициенты сточных вод (b_4), а также взаимодействия пищи и сточных вод ($b_{1,4}$). При 10-процентном уровне для численности молоди были значимыми небольшие коэффициенты влияния пищи (b_1), взаимодействия тенеллии и сточных вод ($b_{3,4}$) и взаимодействия пищи, опреснения и сточных вод ($b_{1,2,4}$). Наличие последних, мало понятных, но значимых для 10-процентного уровня коэффициентов, позволило предположить, что влияние опреснения и тенеллии в данном расчете не проявилось из-за более сильных факторов, как пища и сточные

Таблица 2

Коэффициенты регрессии, вычисленные по результатам ПФЭ 2⁴

Обозначение эффектов	Коэффициенты регрессии		Обозначение эффектов	Коэффициенты регрессии	
	численность молоди	общая биомасса		численность молоди	общая биомасса
b_0	1185,9	235,9	$b_{2,4}$	26,0	13,5
b_1	81,25	104,9	$b_{1,2,4}$	—87,0	—4,6
b_2	72,25	—8,1	$b_{3,4}$	—118,8	—25,9
$b_{1,2}$	64,0	—16,9	$b_{1,3,4}$	34,4	—16,3
b_3	72,5	11,9	$b_{2,3,4}$	22,1	—0,3
$b_{1,3}$	—44,4	11,9	$b_{1,2,3,4}$	—31,3	5,1
$b_{2,3}$	—60,4	—1,3	$S(b_i)$	45,4	15,3
$b_{1,2,3}$	27,5	1,8	$t 0,99(15)S(b_i)$	134,0	45,6
b_4	—974,1	—148,7	$t 0,90(15)S(b_i)$	79,5	26,8
$b_{1,4}$	—28,8	—60,7			

воды. Для выявления характера влияния опреснения и тенеллии те же самые материалы были разделены на две серии: серия опытов в морской воде и серия опытов с добавлением сточной воды. Значимые для 10-процентного уровня коэффициенты регрессии при числе степеней свободы $f_1 = 7$ приведены в табл. 3. Расчет показал, что добавка пищи оказывала положительное влияние (b_1) на биомассу баянусов в обеих сериях и на численность молоди в серии с добавлением сточных вод; опреснение (b_2)

Таблица 3
Коэффициенты регрессии, вычисленные по результатам ПФЭ 2³

Обозначение эффектов	Общая биомасса		Численность молоди	
	в морской воде	с добавлением сточной воды	в морской воде	с добавлением сточной воды
b_0	384,0	87,0	2160,0	211,7
b_1	162,0	44,2	0	52,5
b_2	0	0	0	98,3
$b_{1,2}$	0	-21,4	0	-23,2
b_3	35,8	-14,1	191,3	-46,2
$b_{1,3}$	22,2	0	0	0
$b_{2,3}$	0	0	0	-38,1
$b_{1,2,3}$	0	0	0	0
$S(b_i)$	9,3	7,45	90,5	9,7
$t(0,9)(7)S(b_i)$	17,6	14,1	172	18,4

ствий были рассчитаны частные эффекты этих факторов (B_i) при фиксированных уровнях взаимодействующих факторов по формулам:

$$B_i^{(-)} = 2(b_i - b_{ij}) \text{ и } B_i^{(+)} = 2(b_i + b_{ij}).$$

Величины частных эффектов были затем использованы для расчета значений $b'_i = B_i/2$, характеризующих влияние фактора при переходе от нуля на верхний или нижний уровень. Величины b'_i , выраженные в процентах от b_0 , рассматриваются нами как мера относительной интенсивности влияния факторов. Эта мера позволяет сравнить степень относительного влияния факторов на разные показатели в одинаковых условиях опыта и на одни и те же показатели в различных условиях.

По материалам ПФЭ 2³, согласно табл. 2, для биомассы баянусов частные эффекты пищевого фактора (x_1) меняются в зависимости от уровня x_4 : без сточных вод ($x_4 = -1$) $B_1^- = 331,2$, с добавлением сточных вод ($x_4 = +1$) $B_1^+ = 88,4$; относительное значение x_1 для обеих ситуаций соответственно равно: 70,3 и 37,5%. Частные эффекты сточных вод, в свою очередь, меняются в зависимости от уровня x_1 : без добавления пищи ($x_1 = -1$) $B_4^- = 176,0$, а при ее добавлении ($x_1 = +1$) $B_4^+ = -418,8$; относительное значение x_4 равно соответственно: -37,3 и -88,7%. Численность молоди баянусов на 82,3% подавляется отрицательным влиянием сточных вод. Те же самые величины, рассчитанные согласно табл. 3 по коэффициентам регрессии ПФЭ 2³, представлены в табл. 4. Из таблицы видно, что наиболее интенсивным было влияние добавки пищи (x_1) и опреснения (x_2) в сериях со сточной водой. В отсутствие других факторов влияние добавки пищи на $3/4$ определяло величину биомассы баянусов, а опреснение — численность молоди также на $3/4$. Влияние тенеллии (b_3) в морской воде повышало биомассу баянусов и численность молоди на 10—15%; при добавлении сточной воды присутствие тенеллии снижало биомассу приблизительно на $1/6$ и численность молоди на $1/10$; при взаимодействии с опреснением отрицательное влияние тенеллии на численность молоди возрастало почти в пять раз.

Пища, опреснение и сточные воды оказывали на популяцию баянусов непосредственное влияние. Взаимодействие этих факторов изменяло степень этого влияния. Возможно, что эти изменения связаны с воздействием некоторых факторов на интенсивность обмена животных.

Так, усиление отрицательного действия сточных вод при добавлении пищи определялось, по-видимому, повышением обмена при улучшении режима питания; положительное влияние опреснения в присутствии сточных вод было связано с характерным для баянусов (6) временным попи-

повлияло только на численность молоди в серии со сточной водой; тенеллия оказывала влияние во всех сериях (b_3), причем в морской воде положительное, а при добавлении сточной воды — отрицательное.

Кроме коэффициентов влияния отдельных факторов, почти во всех сериях проявились значимые коэффициенты парных взаимодействий. Для того чтобы оценить влияние факторов с учетом их взаимодей-

Частные эффекты и относительное значение влияния факторов по материалам ПФЭ 2

Показатель и условия опытов	Значения частных эффектов (B_i)			Относительное влияние факторов ($b'_i/b_0, \%$)		
	B_1	B_2	B_3	x_1	x_2	x_3
Общая биомасса						
В морской воде						
$x_2 = -1$	279,6	—	—	36,2	—	—
$x_2 = +1$	368,4	—	—	48,0	—	—
$x_1 = -1$	—	—	27,9	—	—	3,5
$x_1 = +1$	—	—	116,0	—	—	15,2
С добавкой сточных вод						
$x_2 = -1$	131,2	—	—	75,5	—	—
$x_2 = +1$	45,6	—	—	26,2	—	—
$x_1 = -1$	—	42,8	—	—	24,6	—
$x_1 = +1$	—	42,8	—	—	24,6	—
$x_1 = \pm 1; x_2 = \pm 1$	—	—	-28,2	—	—	-16,2
Численность молоди						
В морской воде						
$x_1 = \pm 1; x_2 = \pm 1$	—	—	382,6	—	—	9,1
С добавкой сточных вод						
$x_2 = -1$	151,4	—	—	35,9	—	—
$x_2 = +1$	58,6	—	—	13,9	—	—
$x_1 = -1; x_3 = -1$	—	319,2	—	—	75,6	—
$x_1 = +1; x_3 = -1$	—	226,4	—	—	53,5	—
$x_1 = -1; x_3 = +1$	—	166,8	—	—	39,3	—
$x_1 = +1; x_3 = +1$	—	94,0	—	—	22,7	—
$x_2 = -1$	—	—	-16,2	—	—	-7,7
$x_2 = +1$	—	—	-168,6	—	—	-39,9

жением обмена в период адаптации к изменению солености; добавка пищи, стимулирующая обмен, снижала тормозящее влияние опреснения и, тем самым, усиливала отрицательное действие сточных вод.

Положительное влияние тенеллии в морской воде является, по-видимому, результатом поедания моллюском колоннальной инфузории-сувойки. Развиваясь на пластинках, сувойки мешали оседанию личинок и росту молоди баянусов. Возможно и в природных биоценозах массовое развитие тенеллии влияет положительно на численность и биомассу баянусов. В опытах со сточной водой особи тенеллии погибали в течение первой недели, но разлагающиеся остатки их тел и выделенная ими слизь необычно долго оставались на пластинках, усиливая неблагоприятные свойства среды. Можно предположить, что при внезапном заносе течением или искусственным добавлением сточных вод наличие в биоценозах обрастания моллюсков или аналогичных им чувствительных к токсинам животных ускоряет гибель баянусов и других, более стойких, организмов обрастания.

Авторы выражают благодарность В. Д. Поздынину за ценные замечания.

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
Академия наук СССР

Поступило
26 VIII 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Богоров, В. Н. Максимов, В. Д. Федоров, ДАН, 165, № 3, 686 (1965). ² В. Н. Максимов, В. Д. Федоров, В. Г. Богоров, ДАН, 167, № 3, 675 (1966). ³ В. Н. Максимов, В. Д. Федоров, Изв. АН СССР, сер. биол., № 6, 864 (1966). ⁴ В. Н. Максимов, В. Д. Федоров, Применение методов математического планирования эксперимента при отыскании оптимальных условий культивирования микроорганизмов, М., 1969. ⁵ И. К. Ржепешевский, И. А. Кузнецова, П. А. Власов, Океанология, 8, № 2 347 (1968). ⁶ Е. П. Турпаева, Р. Г. Симкина, Тр. Инст. океанол., 49, 205 (1961). ⁷ В. Д. Федоров, В. Н. Максимов, В. Г. Богоров, Физиол. раст., 15, № 4, 640 (1968).