

УДК 591.524.12(261.3)

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЗООПЛАНКТОНА БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И РИЖСКОГО ЗАЛИВА

С. О. ФРЕЙМАНЕ, Х. К. КРИЕВС

Для успешного изучения динамики численности планктона, степени выедания его рыбами и прогноза состояния кормовой базы первой задачей является определение связей численности планктона с гидрологическим режимом. В то же время имеются высказывания, что сделать это в некоторых случаях трудно (Gillbricht, 1961).

Изучая биологию зоопланктона Балтики, мы применили для этой цели корреляционный анализ. Судя по литературным данным, в исследованиях балтийского зоопланктона такой метод еще не применялся. Имеются только указания качественного характера — о наличии связи численности зоопланктона с гидрологическим режимом (Николаев и Криевс, 1957 и 1960).

На основании десятилетних наблюдений Mankowski и Popiel (1962) указывают, что в южной Балтике имеется хорошая связь между биомассой зоопланктона и температурой воды в слое 30—60 м.

В нашей работе был принят следующий ход исследования:

1) методом корреляционного поиска находят связи между численностью зоопланктона и различными показателями гидрометеорологического режима;

2) определяют наиболее тесные связи по коэффициентам корреляции и корреляционным отношениям с оценкой их достоверности;

3) анализируют — является ли связь формальной или каузальной. Во многих случаях, если связь формальная, но тесная (коэффициент корреляции высокий), ее вполне можно использовать в практике.

В случае одновременного влияния одного или нескольких факторов, если имеется массовый материал, уже нетрудно организовать комплексы и провести дисперсионный анализ, который даст характеристику значения отдельных факторов в общей сумме влияния этих факторов.

Такой анализ дает возможность подойти к расшифровке механизма влияния гидрометеорологического и гидрологического режима на зоопланктон, найти наиболее важные узловые моменты в биологии отдельных видов, определить основные практически самые значительные закономерности распределения и динамики численности, установить

взаимоотношение зоопланктона с рыбами и так далее без тотального изучения всех сторон жизни зоопланктона. Тотальное изучение биологии всех видов зоопланктона желательно, а сделать это очень трудно, и используемый нами метод дает практически хорошие результаты, которые можно использовать так же и при прогнозировании кормовой базы рыб.

Таким методом определяли по годам изменения численности некоторых, важных для питания рыб, видов зоопланктона в северной и центральной части Балтийского моря и в Рижском заливе.

Были проанализированы материалы за период с 1952 по 1964 г. как собранные нами, так и опубликованные в работах В. М. Боднек (1954, 1958), И. И. Николаева (1958, 1960) и И. И. Николаева и Х. К. Криевс (1957, 1961, 1962) (табл. 1). В течение многих лет сборы зоопланктона ведутся по стандартной схеме станций, которые распределены по акватории водоема довольно равномерно. В рассматриваемой части Балтийского моря сборы производят в среднем на 36 станциях и в Рижском заливе — на 18 станциях. Использовали малую планктонную сеть Джели из мельничного газа № 38 (площадь входного отверстия 0,1 м²). Горизонты лова в Балтийском море: 0—25, 25—50, 50—100, 100—150 м, а в Рижском заливе: 0—10, 10—20, 20—30, 30—40 м. Материал обрабатывали по общепринятой методике.

Таблица 1

Численность (экз/м³) некоторых видов зоопланктона в Балтийском море и Рижском заливе по годам

Годы	Балтийское море			Рижский залив			
	Pseudocalanus elongatus (май)			Acartia biflosa (май)	Acartia biflosa (август)	Eurytemora hirundoides (май)	Limnocalanus grimaldii (май)
	0—100 м	50—100 м	100—150 м	0—20 м	0—20 м	0—20 м	0—20 м
1952	—	—	—	2980	—	3 100	290
1953	—	—	—	3100	—	3 970	500
1954	280	500	0	1300	8 200	2 150	850
1955	2360	2360	520	890	4 000	930	800
1956	480	770	720	730	1 890	1 420	900
1957	1860	930	0	—	5 540	—	—
1958	1190	1570	0	1940	6 500	1 850	1080
1959	2450	1530	210	8200	5 090	17 450	590
1960	230	210	260	3570	7 300	770	220
1961	1830	2270	620	9320	7 960	10 810	380
1962	1580	1390	660	1880	10 190	3 680	790
1963	1170	400	340	470	3 630	680	2140
1964	1110	430	210	5090	6 860	1 790	1700

Имея в виду неравномерное вертикальное распределение зоопланктона по отдельным горизонтам и также неравномерное развитие его по отдельным сезонам года, для качественного анализа были взяты данные по тем слоям воды, в которых обитает основная масса данного вида, и по тем сезонам, когда происходит основное размножение планктических ракообразных, определяющее их численность в течение года. Как общие характеристики численности зоопланктона для исследуемого района использовались средние арифметические из данных по всем станциям.

Гидрометеорологический режим Балтики весьма изменчив. Для исследования влияния режима на динамику численности, в качестве

первого этапа работы будет вполне логично рассмотреть наиболее важные зависимости, т. е. связи и характер влияния гидрометеорологического режима на численность данного вида зоопланктона по морю или заливу без разделения бассейна на отдельные участки или районы.

Для характеристики гидрологического режима моря использовали данные по содержанию кислорода, по суровости зимы (сумма отрицательных температур воздуха $\Sigma -t^{\circ}$), по средней температуре воздуха летом (июль, август) и по температуре воды в зоне обитания основной массы зоопланктона. Температура воздуха была взята потому, что это

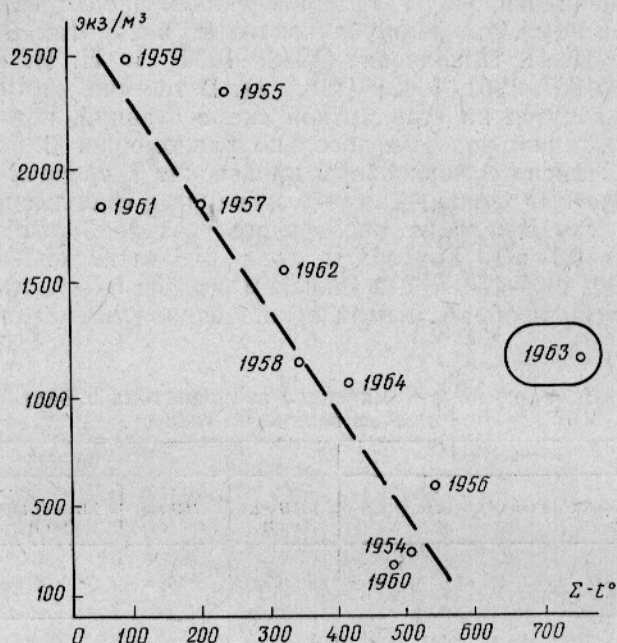


Рис. 1. Связь между суммой отрицательных температур воздуха и численностью (экз/м³) *Pseudocalanus elongatus* в мае в слое воды 0—100 м.

наиболее доступный показатель, а между температурой воздуха и температурным режимом верхнего слоя моря (до термо- или гало-клина), где в основном обитает зоопланктон, имеется хорошая зависимость.

Были рассмотрены связи между характеристиками гидрологического режима и численностью основных компонентов зоопланктона в средней и северной Балтике и в Рижском заливе: *Pseudocalanus elongatus*, *Temora longicornis*, *Limnocalanus grimaldii*, *Euryteniora hirundoides*, *Acartia bifilosa*.

***Pseudocalanus elongatus* Boeck** — один из самых массовых видов зоопланктона Балтийского моря. Играет важную роль в питании кильки, салаки и молоди многих других промысловых рыб. В Балтийском море этот вид моноциклический. Размножается с марта по август; максимум размножения в апреле—мае (Nikolaev, Krievs, 1962). Распространен по всему продуктивному слою воды, т. е. от 0 до 150 м.

Имеется хорошая корреляционная связь между численностью копепоидитных стадий *P. elongatus* весной и весьма точным интегральным показателем зимне-весеннего режима Балтики — суммой отрицательных среднесуточных температур воздуха (рис. 1).

Эта связь характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,94$ при достоверности $P=0,99$. Формула связи имеет вид: $y=2649,8-4,2x$, где y — среднее количество экземпляров *P. elongatus* в 1 м^2 в слое 0—100 м, а x — сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха по наблюдательному пункту Лиепая.

Поскольку эта зависимость выражена очень четко, то ею можно пользоваться для прогнозирования весенней численности *P. elongatus*; при этом заблаговременность количественного прогноза будет около 3 месяцев. При наличии точного гидрометеорологического прогноза оправдываемость нашего прогноза, судя по указанному коэффициенту

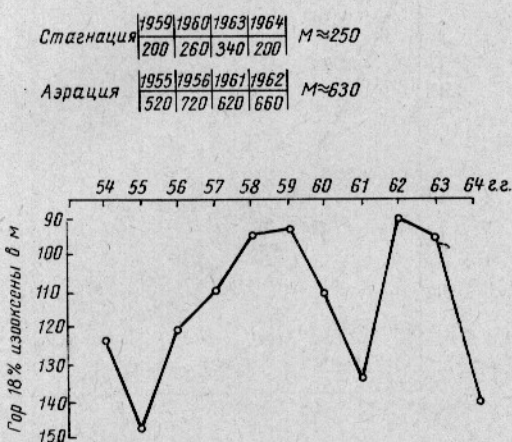


Рис. 2. Изменения численности (экз/м³) *Pseudocalanus elongatus* в слое воды 100—150 м в зависимости от глубины залегания изооксены 18%.

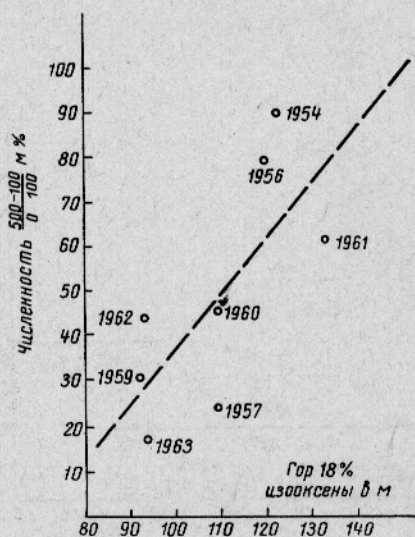


Рис. 3. Связь между относительной численностью (%) *Pseudocalanus elongatus* в слое воды 50—100 м и глубиной залегания изооксены 18%.

корреляции, составит около 80%. Сильно отклоняется от корреляционного поля 1963 год (см. рис. 1). Это объясняется тем, что вследствие исключительно сильного охлаждения воды салака и килька в зимне-весенний период почти не питались и поэтому биомасса *P. elongatus* сохранилась гораздо лучше, чем в другие годы.

Вертикальное распределение *P. elongatus* в основном зависит от кислородного режима моря. В годы стагнации численность *P. elongatus* в глубинных слоях воды (глубже 100 м) приблизительно в два с половиной раза меньше, чем в годы аэрации. Как видно из рис. 2, в этом слое в 1964, 1963, 1960, 1959 гг., т. е. в годы стагнации (и в год после стагнации), средняя численность равна 250 экз/м³, а в 1962, 1961, 1956, 1955 гг. — в годы аэрации — средняя численность составляет 630 экз/м³.

В среднем (50—100 м) слое воды численность *P. elongatus* также, очевидно, зависит от кислородного фактора: имеется хорошая корреляционная связь ($r=0,71$, $P=0,95$) между глубиной залегания изооксены 18% и численностью *P. elongatus* (рис. 3). Формула связи: $y=1,2x-83,8$, где y — численность *P. elongatus* в слое воды 50—100 м, выраженная в процентах от общей численности его в слое воды 0—100 м, а x — глубина залегания изооксены 18%.

Temora longicornis Muller. Вид эвригалинный и эвритермный. Размножается на протяжении всего года, но в весенне-летний период явно интенсивнее, чем зимой (Nikolaev, Krievs, 1962). Наибольшая численность наблюдается в слое воды 0—25 (50) м. *T. longicornis* является важным компонентом питания кильки и молоди салаки (Боднек, 1958).

При изучении динамики численности *T. longicornis* установлено следующее: если алгебраическая сумма среднемесячных температур воздуха равна 4°C или меньше, то средняя численность этого вида в

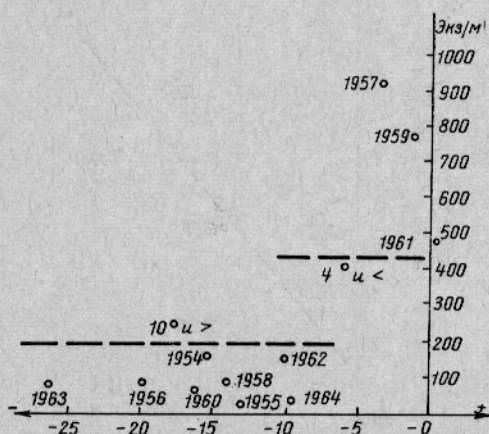


Рис. 4. Количественная связь между суммой среднемесячных температур воздуха за I квартал года и численностью ($\text{экз}/\text{м}^3$) *Temora longicornis* в слое воды 0—50 м в мае.

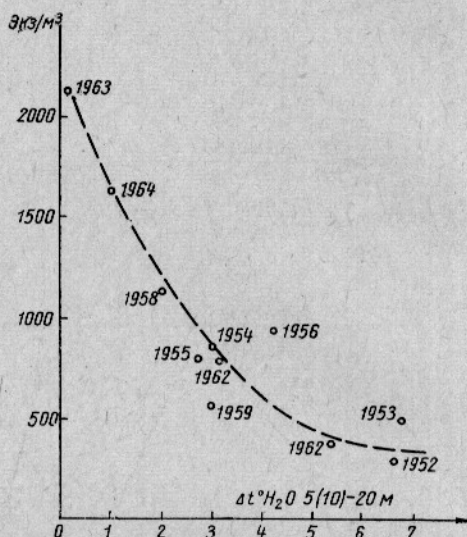


Рис. 5. Связь между средней температурой воды в слое 5(10)—20 м и численностью ($\text{экз}/\text{м}^3$) *Limnocalanus grimaldii* в слое воды 0—20 м в мае.

слое 0—50 м во втором квартале этого же года будет не менее $500 \text{ экз}/\text{м}^3$. Если эта сумма температуры составит -10°C и больше, то численность *T. longicornis* будет менее $200 \text{ экз}/\text{м}^3$ (рис. 4).

Limnocalanus grimaldii Guerne является важнейшим представителем планктона Рижского залива и играет такую же большую роль в питании салаки, кильки и молоди других рыб, как *Pseudocalanus elongatus* в центральной и северной части Балтийского моря (Боднек, 1958). *L. grimaldii* — вид с четко выраженным моноциклическим типом развития.

Весной основная масса науплиусов и копеподитных стадий обитает в верхнем слое воды, включая зону термоклина (Фреймане, 1964).

Анализ показал, что численность копеподитов этого вида весной (май) находится в тесной зависимости от средней майской температуры воды в слое 5(10)—20 м (рис. 5). Корреляционное отношение $r=0,86$, характеризующее эту связь, при достоверности $P=0,95$. Формула регрессии: $y=2228,3-640,8 \times 55,7 x^2$, где y — количество экземпляров в 1 м^3 в слое воды 0—20 м, x — средняя температура воды в слое 5(10)—20 м.

Eurytemora hirundoides Nordquist — представитель умереннотепловодного комплекса планктона Рижского залива. Распространен во всей толще воды, но наибольшей численности достигает в верхнем 20-метровом слое воды. Дает 3 генерации в год, но основная масса образуется весной с апреля по май (Фреймане, 1964). *E. hirundoides* является одним из основных кормовых объектов кильки и салаки (Боднек, 1958).

Для *E. hirundoides* весной (май) связь между численностью этого вида и суровостью зимы показана на графике кривой (рис. 6), предварительная формула которой: $y = \frac{6390251,2}{x} + 9,60x - 15458,1$, где y — количество экземпляров *E. hirundoides* в 1 м^3 в слое воды 0—20 м, а

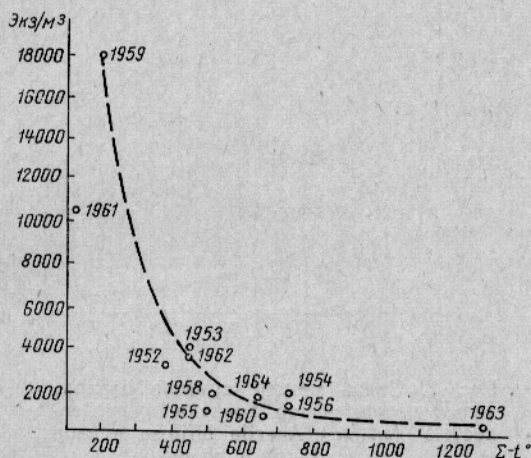


Рис. 6. Связь между суммой отрицательных температур воздуха и численностью ($\text{экз}/\text{м}^3$) *Eurytemora hirundoides* в слое воды 0—20 м в мае.

x — сумма отрицательных среднесуточных температур воздуха (наблюдательный пункт Рига) в интервале от 200 до 1300°C . Связь характеризуется корреляционным отношением $r=0,94$ при достоверности $P=0,99$.

Acartia bifilosa. Acartia bifilosa (Giesbr), так же как и *E. hirundoides*, — представитель умереннотепловодного комплекса планктона Рижского залива и значительный компонент в питании кильки и салаки (Боднек, 1958). Дает 3 генерации в год, но массовое развитие происходит летом с мая по август—сентябрь (Фреймане, 1964). Зона наибольшей численности — слой воды 0—20 м.

Для *A. bifilosa* в мае формула связи имеет вид: $y = \frac{1563462,4}{x} + 0,7x - 1802,3$, где y — количество экземпляров *A. bifilosa* в 1 м^3 в слое 0—20 м, а x — тот же показатель, что и в примере с *E. hirundoides* (рис. 7). Связь характеризуется корреляционным отношением $r=0,98$ при достоверности $P=0,99$.

Численность *A. bifilosa* в августе хорошо коррелирует с другим фактором — средней температурой воздуха в июле—августе (рис. 8). Связь характеризует коэффициент корреляции $r=0,89$ при достоверности $P=0,95$. Формула связи: $y = 9673,7 - 54,3x$, где y — количество

A. bifilosa в 1 м^3 в слое 0—20 м, а x — сумма среднесуточных температур воздуха в июле—августе.

Во всех рассмотренных случаях величины коэффициентов корреляции и корреляционных отношений показывают, что значительные отклонения фактического количества зоопланктона от теоретически определяемого могут иметь место приблизительно в 15—20% случаев. В качестве первого этапа работы — рассчитанные формулы вполне

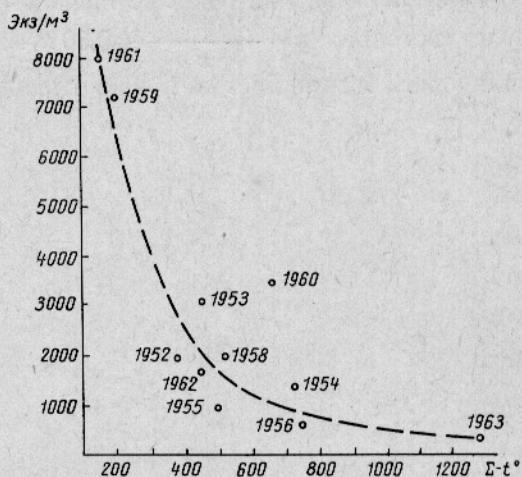


Рис. 7. Связь между суммой отрицательных температур воздуха и численностью (экз/м³) *Acartia bifilosa* в слое воды 0—20 м в мае.

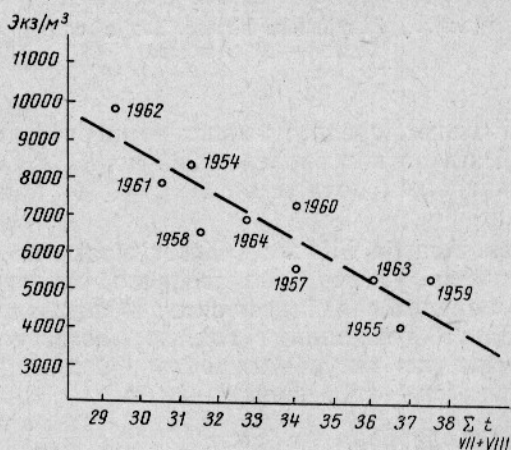


Рис. 8. Связь между суммой температуры воздуха за июль — август и численностью (экз/м³) *Acartia bifilosa* в слое воды 0—20 м в августе.

могут быть применены в практике гидробиологических и ихтиологических исследований. Кроме целей прогнозирования, рассмотренный метод корреляционного анализа дает возможность подойти к решению и других проблем. Например, анализ причин отклонений фактических

данных от теоретических позволяет определить различия в интенсивности потребления зоопланктона рыбами в различные годы. Таким образом, применение в исследованиях зоопланктона Балтики таких методов, как корреляционный и дисперсионный анализ, практически возможно и перспективно.

ЛИТЕРАТУРА

- Боднек В. М. Зоопланктон средней и южной части Балтийского моря и Рижского залива. Труды ВНИРО. Т. XXVI, 1954.
- Боднек В. М. Питание балтийской кильки. Ученые записки Рижского педагогического института. Вып. X. Рига, 1958.
- Николаев И. И., Криевс Х. К. Продуктивность и условия развития планктона Балтики и Рижского залива в 1955—1956 гг. Труды Латвийского отделения ВНИРО. Вып. 2. Рига, 1957.
- Николаев И. И., Криевс Х. К. Количественная характеристика планктона центральной Балтики и Рижского залива в 1957 г. Труды Латвийского отделения ВНИРО. Вып. 3. Рига, 1960.
- Фреймане-Апине С. О. Количественная характеристика зоопланктона Рижского залива в 1960 г. Труды БалтНИИРХа. Т. IV (в печати).
- Фреймане С. О. Зоопланктон Рижского залива в 1961 г. и особенности его вертикального распределения. Труды БалтНИИРХа. Т. IV, 1967.
- Фреймане С. О. Оценка состояния кормовых ресурсов салаки и кильки в 1962 г. в Рижском заливе. Труды БалтНИИРХа. Т. IV, 1967.
- Фреймане С. О. Основные экологические комплексы зоопланктона Рижского залива и типы цикличности их размножения. Труды молодых ученых. ВНИРО, 1964.