

Министерство рыбного хозяйства РСФСР
Государственный
научно-исследовательский институт
озерного и речного рыбного хозяйства
(ГосНИОРХ)

Академия наук СССР
Зоологический институт

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО СБОРУ И ОБРАБОТКЕ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
НА ПРЭСНОВОДНЫХ ВОДОЕМАХ.
ЗООПЛАНКТОН И ЕГО ПРОДУКЦИЯ**

ЛЕНИНГРАД · 1982

Научные редакторы

ил.-кор. АН СССР Г.Г.Винберг
канд.биол.наук Г.М.Лаврентьева

Составители

А.А.Салазкин,
М.Б.Иванова,
В.А.Огородникова

Редактор Ю.А.Барулин
Корректор С.Я.Тэргашина

ЗООПЛАНКТОН

Вводные замечания. Роль зоопланктона в трансформации энергии и биотическом круговороте веществ, определяющем продуктивность водоемов, очень велика. В большей части озер и водохранилищ основной поток энергии идет через планктон. При решении общих и частных вопросов, связанных с проблемой изучения продуктивности зоопланктонных сообществ в разнотипных водоемах, необходимы достоверные данные по численности и биомассе составляющих сообществ видовых популяций, а при определении продукции особое значение имеют точные данные по возрастному составу популяций массовых видов, индивидуальной массе животных, их плодовитости и длительности развития отдельных стадий. Для получения этих данных необходимо проведение регулярных наблюдений на модельных водоемах. Результаты таких исследований, помимо выполнения основной задачи, дают возможность получать некоторые типовые показатели (например, P/B-коэффициенты), которыми можно пользоваться для приближенной оценки продуктивности сходных по морфологическому и трофическому типу озер одной ландшафтно-климатической зоны. Это позволяет наиболее полно использовать результаты кадастровых исследований, которые широко применяются в рыбохозяйственной практике.

Методика проведения долговременных и кратковременных исследований, а также степень обобщения и оценка данных могут существенно различаться. Однако существуют жесткие принципы сбора, обработки и оценки результатов, обеспечивающие достоверность данных и обязательные при исследованиях любой длительности.

I. **Орудия и методы сбора.** Изучение видового состава, распределения и количественного развития планктонных организмов про-

водится различными методами и разными орудиями лова. Исследования распределения бионтов в водоеме, их численности и биомассы производятся по пробам, взятым количественными орудиями лова, а видового состава - по дополнительным пробам качественными орудиями лова.

1.1. В качестве основного орудия следует использовать стандартную количественную сеть Джеди (диаметр верхнего кольца 18 см, нижнего - 24 см) из газа № 49-56 (для сбора ракообразных) или № 64-70 (для лова коловраток). Из качественных орудий применяют качественную сеть Апштейна и сачки, используемые для сбора планктона в зарослях на мелководьях. Для отбора количественных проб желательно применять большеобъемные (5-10 л) планктонобаторы и планктоночерпатели. Эти приборы особенно нужны при лове планктона в придонном горизонте, недоступном для планктонной сети. На водоемах с малыми глубинами (до 6-7 м) лов зоопланктона ведется методом тотальных проб, а в прибрежной зоне - фильтрованием через сеть 50 л воды.

1.2. В глубоководных водоемах при изучении вертикального распределения зоопланктона, суточных миграций отдельных видов в зависимости от воздействия различных факторов (интенсивность солнечной радиации, направление и сила ветра и пр.) необходимо осуществлять фракционный лов. С этой целью используется количественная планктонная сеть с замыкателем. При этом последовательно облавливаются эпилимнион (от верхней границы слоя температурного скачка до поверхности), металимнион (зона температурного скачка) и гипolimнион (от дна до нижней границы слоя температурного скачка). При специальных исследованиях количество горизонтов, где овертятся пробы, может быть увеличено.

2. Выбор станций и периодичность сборов. Количество и распреде-

ление станций по акватории должно соответствовать особенностям морфологии водоема. При этом учитываются характер котловины, глубина, изрезанность берегов, расчлененность.

2.1. Не только при регулярных, но и при кадастровых (кратковременных) исследованиях водоемов особенно важны выбор местоположения станций и определение их числа с тем расчетом, чтобы охватить все зоны водоема, включая заросли макрофитов. Для получения достоверных результатов минимальное число станций в каждой зоне водоема должно быть не меньше трех.

В малых озерах (менее 100 га) с блюдцеобразным ложем и небольшими глубинами достаточен отбор проб на 4-5 станциях, из которых 2-3 должны приходиться на основную часть водоема.

В озерах площадью более 100 га, с хорошо выраженной литоралью, при наличии крупных заливов или обособленных плесов необходимо:

а) в каждом плесе установить сетку станций по поперечным разрезам (не менее 2-3 разрезов), с тем чтобы на каждом разрезе было не меньше трех точек;

б) в каждом заливе, если его площадь не менее 5% площади водоема, установить 2-3 точки для взятия проб с таким расчетом, чтобы охватить прибрежную и центральную зоны, различающиеся по глубине.

Количество станций может быть уменьшено или увеличено в зависимости от степени неоднородности водоема и при выполнении специальных исследований. Например, при изучении зоопланктона литорали, представленной несколькими биотопами или растительными ассоциациями, число станций следует увеличить в соответствии с количеством биотопов (ассоциаций) и долей, которую они занимают в

пределах зоны.

2.2. При детальном изучении зоопланктона водоема, проводящемся в течение вегетационного сезона, всего года или нескольких лет с целью выяснения видового состава, его распределения в пространстве и во времени, выявления биоценологических группировок, внутри- и межбиоценологических связей, наконец, при изучении биологии и продуктивности массовых видов, необходимо выбрать точки для постоянных станций, на которых будут производиться периодические сборы планктонных животных. При выборе таких точек следует учитывать результаты единовременного обследования водоема и наметить по одной-две станции на каждом характерном биотопе. Для небольшого озера с однообразным характером котловины и глубинами не более 10 м достаточно четырех-пяти постоянных станций. В крупных водоемах, имеющих сильно изрезанную береговую линию, сложный рельеф дна и развитую литоральную зону с зарослями макрофитов, количество постоянных станций должно быть увеличено.

2.3. Сроки взятия проб зоопланктона тесно связаны, во-первых, с периодичностью в жизни водоема, во-вторых, с конкретными целями исследования и в каждом отдельном случае могут резко различаться.

2.3.1. В том случае, когда целью наблюдений является изучение видового состава зоопланктона, состава и взаимодействия биоценологических группировок, их изменения во времени (в сезонном аспекте), сборы должны проводиться в течение всего года со следующей периодичностью: в вегетационный сезон - один раз в декаду, один раз в октябре и не менее двух раз в подледный период (январь, март).

2.3.2. Если проводится изучение изменений состава и количественного развития планктона в результате обработки водоема ядохимикатом,

применяется следующая периодичность отбора проб: биологическая съёмка непосредственно перед обработкой; через 1,3,5,10,15,20, 30,45 и 60 суток после обработки (при условии, что водоем обрабатывается в первой половине лета); далее сборы проводятся один раз в месяц; в подледный период пробы соируются ранней весной (в марте и, в северных районах, в апреле).

Указанная периодичность оборов диктуется неодинаковой скоростью гибели и восстановления различных видов. Только достаточно частые сборы, особенно в течение первого месяца после внесения ядохимиката, позволяют проследить за ходом этого процесса. Последующие изменения мало отличаются от обычных сукцессий, определяемых сезонными факторами, поэтому достаточно проводить сборы один раз в сезон.

2.3.3. При исследованиях зоопланктона, связанных с изучением биологии массовых видов и их продукции, частота общих съёмок должна быть такой же, как при фаунистико-экологическом изучении населения водной толщи.

При составлении плана исследования водоема необходимо учитывать такой существенный фактор, как бюджет времени гидробиолога. Даже у опытного исследователя просчет пробы зоопланктона под биноклем, определение видового состава и возрастных стадий массовых форм при параллельном их измерении занимает не менее одного-двух часов. Средняя производительность труда зоопланктолога редко превышает 4-5 проб за рабочий день. Кроме первичной обработки материалов потребуются время для расчета численности, биомассы и продукции, а также для оформления результатов работы в виде отчета или статьи. Опыт показывает, что количество собранных за год проб не должно быть более 200.

3. Оценка численности. При камеральной обработке собранного материала следует пользоваться счетно-весовым методом. При этом в камере Богорова просчитываются все особи каждого вида (отмечаются размер организма и стадия развития). Мелкие организмы (коловратки, науплиальные и младшие копепоидитные стадии веслоногих рачков, мелкие клadoцеры) просчитываются в части пробы, отбираемой пипеткой после взбалтывания пробы. Объем просчитываемой части пробы зависит от ее общей плотности. Следует руководствоваться тем, что достоверные результаты по численности отдельных видов получают, если в каждой просчитываемой порции число особей одного вида составляет не менее 50. Минимальное количество порций должно быть не меньше трех. Количество животных в пробе определяют как среднееарифметическое всех подсчетов. Для учета крупных или малочисленных организмов вся проба просматривается под бинокляром. Определение численности планктонных инфузорий и беспанцирных коловраток производится на живом (нефиксированном) материале в первые часы после взятия пробы.

3.1. Данные по численности должны быть представлены как количество организмов в единице объема (экз.л⁻¹, экз.м⁻³) или в столбе воды, сечение которого соответствует выбранной единице площади (например, количество под квадратным метром поверхности - экз.м⁻²). Как правило, при сравнении численности зоопланктона в разных водоемах используются данные по числу экземпляров в единице объема, при сопоставлении результатов определения численности зоопланктона и фитопланктона, количества рыбы и т.д. применяются величины средней численности под квадратным метром поверхности.

П р и м е р р а с ч е т а

з о о -

планктона под квадратным метром. Объем воды, профильтрованной при облове слоя глубиной h (м), рассчитывается по формуле

$$V = \pi R^2 \cdot h,$$

где R - радиус входного отверстия сети (м). Средняя численность организмов в 1 м^3 данного слоя воды (N_i) определяется по формуле

$$N_i = 1/V \cdot n_i,$$

где N_i - число животных в пробе. Для удобства расчетов можно вычислить коэффициенты $1/V$ перевода численности организмов в пробе в их количество в 1 м^3 . В качестве исходной принимается величина, обратная объему профильтрованной воды при $h = 1 \text{ м}$.

Приведем пример расчета коэффициента $1/V$ для стандартной сети Джеди с диаметром входного отверстия 18 см (0,18 м, радиус 0,09 м)

Подставляя в приведенную выше формулу соответствующие числовые значения, получаем, что $V = 3,14 \cdot 0,09^2 \cdot 1 = 0,02543 \text{ м}^3$. Отсюда $1/V = 39,32$ - безразмерная величина, показывающая отношение объема, равного 1 м^3 , к объему профильтрованной воды. При глубине облавливаемого слоя 2, 3, 4 м и т.д. величина $1/V$ соответственно уменьшается в 2, 3, 4 раза (см. табл. 1).

Для перехода от численности в 1 м^3 к средней для озера численности под квадратным метром (N_{is}) необходимо знать объемы облавливаемых слоев (V_h) и площадь водоема (S), тогда

$$N_{is} = \frac{N_i V_h}{S}.$$

Пример подробного расчета численности животных в 1 м^3 и под 1 м^2 приведен в табл. 2.

4. Определение биомассы. Биомасса зоопланктона определяется умножением числа организмов каждого вида на их индивидуальную

Т а б л и ц а 1
Коэффициенты I/V для стандартной сети Дюды
($R = 0,09 \text{ м}$)

$h, \text{ м}$	I/V	$h, \text{ м}$	I/V	$h, \text{ м}$	I/V
1	39,32	6	6,55	11	3,57
2	19,66	7	5,61	12	3,28
3	13,10	8	4,91	13	3,02
4	9,83	9	4,37	14	2,80
5	7,86	10	3,93	15	2,62

Т а б л и ц а 2
Р а с ч е т численности зоопланктона в 1 м^3 и
под 1 м^2 (площадь озера $1\,000\,000 \text{ м}^2$, диаметр входного
отверстия сети 18 см)

Облавливаемый слой, м	$V_h, \text{ м}^3$	$n_i,$ экз.	Объем профиль- тированной воды $V, \text{ м}^3$	$N_i,$ экз. м^3	$N_i \cdot V_h,$ экз.
0 - 5	2080000	150	0,127	1179	$2,452 \cdot 10^9$
5 - 10	1354000	100	0,127	786	$1,060 \cdot 10^9$
10 - 20	325000	25	0,254	98	$0,032 \cdot 10^9$

Всего в озере $3,544 \cdot 10^9$

$$N_{is} = 3544 \text{ экз. м}^{-2}.$$

массу. Использование стандартных индивидуальных масс животных безотносительно к размерно-возрастному составу популяции приводит к большим погрешностям. Ошибка во много раз возрастает при определении продукции, зависящей от возрастного состава популяции, и всех связанных с ней показателей. Поэтому для получения сопоставимых данных по биомассе зоопланктона необходимо пользоваться единым способом расчета индивидуальной массы животных с учетом их размера (возраста). Поскольку плотность тела животных близка к 1 мг/мм^3 , зависимость массы от длины тела может быть выражена формулой $W = q\ell^b$, где W - масса (в миллиграммах сырого вещества); ℓ - длина (мм); q - масса при длине, равной 1 мм; b - показатель степени. При изометрическом росте $b = 3$, при аллометрическом росте - больше или меньше 3.

4.1. Для расчета индивидуальной массы коловраток используется уравнение изометрического роста ($b = 3$). Значения " q " в уравнении $W = q\ell^3$ для коловраток приведены в табл. 3.

4.2. Для определения массы науплиев копепод целесообразно приравнивать ее к объему эллипсоида, допуская, что удельный вес животных равен 1:

$$V = 4/3 \pi \cdot a \cdot b \cdot c,$$

где V - объем (мм^3); a, b, c , - 1/2 длины, ширины и высоты тела (мм).

Для науплиев нескольких видов циклопов и *Eurytemora velox* существует уточненный способ расчета массы по длине тела согласно формуле аллометрического роста. Этим способом следует пользоваться при определении массы науплиев следующих видов:

Т а б л и ц а 3

Значения " q " в уравнении $W = q\ell^3$ для коловраток

Род, вид	q	Род, вид	q
Anuraeopsis	0,03	Keratella quadrata	0,22
Ascomorpha	0,12	K.cochlearis (с шипом)	0,02
Asplanchna	0,23	Notholca (без зубцов)	0,035
Brachyopus	0,12	Ploesoma hudsoni	0,10
Conochilus	0,26 ^{ж/}	P.triacantum	0,23
Collotheca ^{xxx}	0,18 ^{жж/}	Polyarthra	0,28
Euchlanis	0,10	Pompholix	0,15
Filinia	0,13	Synchaeta	0,10
Gastropus	0,20	Testudinella	0,08
Hexachra	0,13	Trichocerca без шипа	0,52
Kellicottia (без шипа)	0,03		

ж/ Вместо ℓ^3 берется ℓd^2 , где d - ширина тела.

жж/ Вместо ℓ^3 берется d^3 .

жжж/ Без домика.

	ч	б
<i>Eurytemora velox</i>	0,032I	2,235
<i>Acanthocyclops americanus</i>	0,0275	2,088
<i>Cyclops vicinus</i>	0,0593	2,510
<i>Eucyclops serrulatus</i>	0,0657	2,498
<i>Mesocyclops crassus</i>	0,074I	2,617
<i>M. leuckarti</i>	0,0697	2,595

Масса ракообразных рассчитывается по формуле аллометрического роста, при котором показатель степени " б " не равен трем (табл. 4).

Для решения степенных уравнений рекомендуется пользоваться электронными вычислительными машинами (например, типа Электроника БЗ-2I), позволяющими возводить число в любую дробную степень. При отсутствии счетной техники применяют таблицы десятичных логарифмов.

П р и м е р р а с ч е т а . По измерениям получено, что длина особи *Daphnia longirepina* равна 0,8 мм. Согласно табл. 4, уравнение для дафний имеет вид: $W = 0,075L^{2,925}$;

$$\lg W = \lg 0,075 + 2,925 \lg L \quad ;$$

$$\lg W = -1,125 + 2,925 \cdot (-0,097) = -1,408; \quad W = 0,039.$$

5. Определение продукции. Рекомендуется пользоваться наиболее широко применяемым методом расчета продукции, основанным на определении прироста особей отдельных возрастных групп. Достаточно точные количественные данные по скорости роста можно получить только при выращивании животных в строго контролируемых лабораторных условиях, а также в специальных садках, помещенных в водоем. В ряде случаев надежные результаты дает анализ числен-

Т а б л и ц а 4

Параметры уравнения $W = q\ell^b$ зависимости массы тела
(W , мг) от длины (ℓ , мм) у пресноводных ракообразных

	q	b
Daphnia	0,075	2,925
Simocephalus	0,075	3,170
Moina	0,074	3,050
Ceriodaphnia	0,141	2,766
Scapholeberis	0,133	2,630
Macrothrix	0,083	2,331
Eurycercus	0,127	3,076
Chydorus	0,203	2,771
Alona, Alonella	0,091	2,646
Bythotrephes	0,077	2,911
Leptodora kindtii	0,006	2,850
Bosmina	0,176	2,975
Sida crystallina	0,074	2,727
Polyphemus pediculus	0,448	2,686
Cyclops strenuus	0,039	2,313
C. vicinus	0,034	2,838
C. scutifer	0,031	2,515
Acanthocyclops	0,039	3,156
Mesocyclops	0,034	2,924
Limnocalanus	0,070	3,174
Hemidiaptomus	0,073	2,548
Eudiaptomus gracilis, E. graciloides	0,036	2,738
coeruleus	0,058	3,086
Arctodiaptomus	0,038	3,178
Macrocyclus albidus	0,045	2,750

В более общей форме:

Семейства:		
Sididae	0,068	3,019
Daphniidae	0,075	2,925
Macrothricidae	0,140	2,723
Chydoridae		
Отряды:		
Cyclopoida	0,037	2,762
Calanoida	0,037	2,805

ности и возрастного состава популяции в течение сезона при регулярных и детальных наблюдениях. Например, для веслоногих ракообразных разработан метод определения продолжительности развития особей по относительному количеству в планктоне отдельных стадий.

Время между максимумами численности двух смежных стадий, рассчитанной в процентах от суммарной численности всей популяции, равно полусумме длительности развития данных стадий. В этом случае нужно определить длительность прохождения первой науплиальной стадии, чтобы, пользуясь данными проб, установить продолжительность всех остальных стадий. Достаточно верно период развития всех стадий размножения веслоногих можно определить, пользуясь таблицами относительной продолжительности. У веслоногих рачков средняя относительная длительность прохождения стадий развития, выраженная в процентах от продолжительности развития с момента выхода из яйца до последней линьки, у всех видов близка и составляет: у науплиев Н1-2,7±0,2; Н2-4,7±0,3; Н3-8,1±0,8; Н4-7,9±0,5; Н6-8,8±0,3; у копеподитов К1-9,5±0,6; К2-10,1±0,5; К3-11,6±0,4; К4-13,4±0,4; К5-14,8±1 (при постоянных условиях - температуре воды, концентрации пищи).

5.1. Расчет продукции популяции по скорости прироста биомассы основан на определении прироста биомассы за сутки. Популяцию подразделяют на несколько возрастных (размерных) групп. Продукция (P_i) каждой группы особей данного возраста вычисляется по формуле

$$P_i = C_w \cdot V_i, \quad (1)$$

где C_w - удельная скорость прироста биомассы за сутки при

данной температуре воды; B_i - биомасса в момент наблюдения. Величина B рассматривается как средняя за сутки, т.е. средняя между биомассой за 12 часов перед взятием и через 12 часов после взятия пробы. Продукция всей популяции равна сумме продукций отдельных возрастных (размерных) групп, т.е.

$$P = \sum_{i=1}^n P_i ,$$

где n - количество выделенных возрастных классов, причем $i = 1$ присваивается ийцам.

5.1.1. Для установления величины C_w у каждой возрастной группы необходимо построить кривую роста особи. Подробно способы обработки данных по росту особи, построение кривых роста и получение констант роста рассматриваются в "Методах определения продукции водных животных". Здесь укажем только, что рост науплиальных стадий копепод наиболее точно аппроксимируется с помощью экспоненциальной функции $W_t = W_0 e^{C_w t}$ копеподитный рост описывается уравнением степенной функции $W_t = W_1 (t - t_0)^k$ для вислоцер характерен S - образный тип роста, который выражается формулой $W_t = W [1 - e^{-k(t-t_0)}]^{1/n}$, где W_t - масса рачка в момент времени t ; W - расчетная максимальная масса; $W_1, t_0, k, 1/n$ - константы.

По теоретической кривой роста нетрудно определить длительность развития каждой возрастной группы ($t_2 - t_1$) и изменение массы ($W_2 - W_1$) за этот интервал времени, а следовательно, рассчитать величины относительных (C_w) и

абсолютных (dW/dt) приростов отдельных возрастных групп:

$$C_w = \frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \lg \frac{W_2}{W_1} = \frac{2,3}{t_2 - t_1} (\lg W_2 - \lg W_1); \quad (2)$$

$$\frac{dW}{dt} = C_w \cdot \bar{W},$$

где \bar{W} - средняя масса особей данной группы.

Из уравнений (1) и (2) получаем, что продукция возрастной группы может быть рассчитана как

$$P_i = \frac{dW}{dt} \cdot \bar{N},$$

где \bar{N} - средняя численность особей (т.е. численность в момент взятия пробы). В практических расчетах продукции кривую роста обычно делят на участки, соответствующие выделенным размерным классам. Не внося значительной ошибки в конечный результат расчета, можно считать, что в каждом из выделенных интервалов времени рост может быть описан уравнением прямой линии. Тогда

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}, \quad P_i = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \cdot \bar{N},$$

где W_1 и W_2 - начальная и конечная масса особи i -той группы; $t_2 - t_1$ - продолжительность ее развития. Для яиц W_1 приравнивается к нулю. Таким образом, генеративная продукция будет равна

$$P_g = \frac{W_g}{d_g} \cdot \bar{N}_g,$$

где W_g - масса яйца; d_g - продолжительность эмбрионального развития; \bar{N}_g - число яиц в популяции.

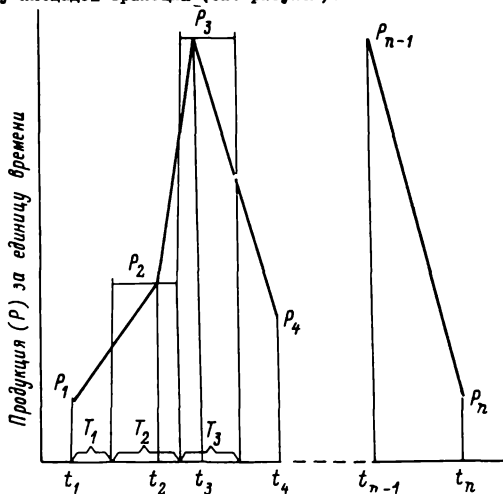
5.2. Продукция популяции за длительный период (месяц, сезон, год) будет равна сумме продукций за каждые сутки этого периода и, следовательно, эквивалентна площади, ограниченной координатами времени и кривой сезонного хода суточной продукции

$$P = \int_{t_0}^{t_n} P'(dt)t, \quad \text{Э. С. К. 18}$$

182/м³ 1/140

где P' - продукция популяции за сутки. Обычно применяют простейшие методы интегрирования.

5.2.1. Суммирование площадей трапеций. Полученные на графике точки соединяют прямыми, и площадь, ограниченную получившейся ломаной линией, вычисляют как сумму площадей трапеций (см. рисунок).



Расчет продукции популяции за длительный промежуток времени.

На оси абсцисс - время исследования, на оси ординат - значения продукции для отдельных дат наблюдений.

$$P = \frac{P_1+P_2}{2}(t_2-t_1) + \frac{P_2+P_3}{2}(t_3-t_2) + \dots + \frac{P_n+P_{n-1}}{2}(t_n-t_{n-1}).$$

5.2.2. Суммирование площадей прямоугольников

$$P = P_1 \frac{T_1}{2} + P_2 T_2 + \dots + P_{n-1} T_{n-1} + P_n \frac{T_n}{2}, (3)$$

где T - отрезок времени, для которого скорость продуцирования принимается постоянной, т.е. равной средней скорости за период. Оба приема приводят к идентичным результатам.

В том случае, когда пробы берутся через строго постоянные интервалы времени, $t_n - t_{n-1}$, тогда

$$P = (P_2 + P_3 + \dots + P_{n-1}) \cdot T + (P_1 + P_n) \cdot \frac{T}{2}.$$

Пример расчета продукции популяции *V. longirostris* в оз.Кривом при температуре воды около 14⁰С. Численность животных взята случайная. При просмотре проб под биноклем рачки были разделены на пять размерно-возрастных групп, длительность прохождения каждого возраста определялась экспериментально. По живым пробам получено среднее число яиц на самку в каждой возрастной группе. Для перехода от длины рачков к их массе использованы коэффициенты, приведенные в табл. 3. Средняя масса яиц рассчитывалась как объем шара по диаметру яиц и составляла 0,001 мг. Первый этап расчета отражен в табл. 5, второй - в табл. 6. Определение генеративной продукции показано в табл. 7. Суммарный выход был равен 401,1 яйца за сутки, т.е. $P_g = 0,401$ мг/л.сутки. Общая продукция популяции $P = P_l + P_g = 4,08 + 0,401 = 4,481$ мг/л. сутки, $P/V = 0,11$ сутки⁻¹. Последний этап расчета представлен в табл. 8. Средняя биомасса за 90 суток равна сумме биомасс за каждую дату наблюдений (192,7 мг/л), деленной на число дат(7),

Т а б л и ц а 5

Определение биомассы рачков по данным просмотра проб

Номер группы	Длина, мм	Численность, экз/л N_i	W_i , мг	Биомасса, мг/л B_i
1	0,20-0,40	600	0,005	3,00
2	0,41-0,50	500	0,016	8,00
3	0,51-0,60	400	0,030	12,00
4	0,61-0,70	200	0,049	9,80
5	0,70-0,80	100	0,075	7,50

$$B_i = 40,3$$

Т а б л и ц а 6

Определение продукции за счет соматического роста

W_1 , мг	W_2 , мг	Длительность развития, сутки	Прирост, мг/сутки	P_i , мг/сутки
0,0015	0,0115	6	0,0017	1,00
0,0115	0,0224	4	0,0027	1,36
0,0224	0,0385	6	0,0027	1,07
0,0385	0,0609	10	0,0022	0,44
0,0609	0,0906	14	0,0021	0,21

$$P_i = 4,08$$

Т а б л и ц а 7

Расчет продукции яиц при продолжительности развития
в выводковой камере 6 суток

Возрастная группа	Среднее число яиц на самку	Продукция одной самки, яиц/экз.сутки	Суммарный выход, яиц/л.сутки
I	Нет		
2	1,04	0,173	86,5
3	1,85	0,308	123,2
4	3,19	0,532	106,4
5	5,10	0,850	85,0
Р ₉			401,1

Т а б л и ц а 8

Определение продукции за продолжительный период
(90 суток)

Номер проб	В, мг/л	Р, мг/л.сутки	Время между сборами, сутки
1	46,86	4,37	
2	51,22	5,81	15
3	10,85	2,19	14
4	30,90	2,43	16
5	28,40	2,08	20
6	16,50	1,60	12
7	8,00	1,00	13

т.е. составляет 27,5 мг/л. Продукция, рассчитанная по уравнению (3), оказалась равной 253,39 мг/л за 90 суток (сезон), следовательно, $P/V = 9,2$ за сезон.

5.3. Разобранный способ определения продукции применим преимущественно для расчета продукции планктонных ракообразных. Продукцию планктонных инфузорий и коловраток (за исключением крупных коловраток рода *Aeplanchna*), по размеру и массе мало отличающихся от соответствующих средних величин, можно представить как увеличение численности особей с массой \bar{W} и описать уравнением

$$P = B \cdot \bar{N} \cdot \bar{W}, \quad \text{причем } B = C_w, \quad (4)$$

где B - удельная скорость воспроизводства (размножения); \bar{N} - средняя численность популяции (т.е. численность в момент сбора); \bar{W} - средняя масса особи в популяции. Для коловраток удельная скорость воспроизводства численности может быть определена по уравнению

$$B = \frac{1}{D_g} \lg \left(1 + \frac{N_g}{N} \right) = \frac{2,3}{D_g} \lg \left(1 + \frac{N_g}{N} \right),$$

где N - численность популяции; N_g - число яиц в популяции; D_g - продолжительность развития яиц.

Для инфузорий C_w рассчитывают по времени удвоения численности

$$C_w \lg 2/g = 0,693/g.$$

Отсюда

$$P = \frac{1}{g} \lg 2 \cdot \bar{N} \cdot \bar{W}$$

где g - время удвоения численности.

В связи с трудностью получения исходных данных для расчета продукции инфузорий и коловраток по уравнению (4) для определения продукции этих групп планктонных животных можно

применять "физиологический" метод расчета продукции за сутки. Допустимо использовать этот метод и для расчета продукции планктонных рачков в тех случаях, когда определения носят ориентировочный характер.

"Физиологический" метод может быть применен, когда известен коэффициент эффективности использования ассимилированной энергии пищи на образование продукции (K_2)

$$K_2 = P/A,$$

где A - ассимилированная энергия. Ассимиляцию можно определить как сумму продукции (P) и трат на обмен (R). Тогда $K_2 = \frac{P}{P + R}$, отсюда

$$P = R \cdot \frac{K_2}{1 - K_2}$$

Траты на обмен рассчитывают по скорости потребления кислорода. У всех животных (водных и наземных) скорость потребления кислорода находится в функциональной зависимости от массы тела

$$Q = \alpha W^{a/b},$$

Средние значения констант "а" и "а/б" рассчитаны для многих систематических групп. Ниже приводятся уравнения, которыми рекомендуется пользоваться при определении трат на обмен у планктонных животных при 20°C:

Инфузории	$Q = 0,107 W^{0,75}$	(Хлебович, 1979)
Коловратки	$Q = 0,106 W^{0,796}$	(Галковская, 1980)
Ветвистоусые рачки	$Q = 0,143 W^{0,803}$	(Сущенко, 1972)
Веслоногие рачки	$Q = 0,200 W^{0,777}$	(Сущенко, 1972)

Во всех случаях Q имеет размерность мл O_2 /экз.час, W - масса тела в граммах сырого вещества. Для перехода от количества потребленного кислорода к тратам на обмен необходимо знать

оксикалорийный коэффициент (ОК) и энергетический эквивалент массы. Величина ОК очень слабо зависит от субстрата дыхания. K_e принимают равной 4,86 кал/мл O_2 , или 20,3 Дж/мл O_2 , либо соответственно 3,4 кал/мг O_2 и 14,2 Дж/мг O_2 . Энергетический эквивалент (калорийность массы тела) желательнее определять экспериментально для каждого конкретного вида и отдельных возрастных групп животных. Методика определения калорийности изложена в руководстве "Методы определения продукции водных животных".

При отсутствии собственных данных приближенную величину энергетического эквивалента массы тела можно установить по содержанию в ней сухого вещества, так как энергоемкость сухого вещества для всех групп водных животных близка к 5 кал/мг, или 21 Дж/мг. При соотношении сухого и сырого вещества, равном 0,1 (10%), энергетический эквивалент сырого вещества составляет 0,5 кал/мг, при 0,2 (20%) – 1 кал/мг. Отношение сухого и сырого вещества у планктонных рачков, коловраток и инфузорий можно принимать равным 10–12%. Содержание сухого вещества в яйцах значительно выше: у планктонных рачков оно в среднем составляет 40% от массы яиц, следовательно, энергетический эквивалент будет 2 кал, или 8,4 Дж на миллиграмм сырого вещества.

Пример расчета трат на обмен.

Средняя масса одной дафнии (\bar{W}) 0,5 мг, или 0,0005 г, потребление кислорода при 20°, рассчитанное по приведенному уравнению, 0,00032 мл/час, или 0,0077 мл/сутки, что составляет 0,0374 кал/сутки (0,0077 · 4,86), или 0,156 Дж/сутки. При $K_2 = 0,3$ получаем, что $P = 0,016$ кал/сутки, или 0,067 Дж/сутки. При соотношении сухого и сырого вещества, равном 10%, энерго-содержание одной дафнии $\bar{W}_c = 0,25$ кал (1,05 Дж). Тогда

$$P/\bar{W}_c = \bar{C}_w = \frac{0,16}{0,25} = \frac{0,067}{1,05} = 0,064 \text{ сутки}^{-1}$$
 При $K_2 = 0,4$ величина P/\bar{W}_c оказывается равной $0,1 \text{ сутки}^{-1}$, при $K_2 = 0,2$ она составляет $0,0375 \text{ сутки}^{-1}$. Из этого примера видно, как важно правильно определить величину K_2 : при увеличении этого показателя в 2 раза (с 0,2 до 0,4) рассчитанная величина продукции возросла почти в 3 раза. Поскольку в настоящее время данных о влиянии на величину K_2 условий обитания животных мало и не ясно, в какой мере могут различаться значения K_2 в конкретных водоемах, данные, полученные "физиологическим" методом, следует расценивать лишь как ориентировочные. Тем не менее этим способом можно определять границы возможных величин продукции. Для отдельных групп животных можно рекомендовать следующие значения K_2 : инфузории и коловратки - 0,4-0,5, ветвистоусые рачки - 0,3-0,4, веслоногие раки при двух-трех генерациях в год - 0,2-0,3, при одной генерации - 0,1-0,2.

Если средняя температура воды отличается более чем на 2° от 20° , в результате расчета трат на обмен следует вносить температурную поправку путем умножения на множитель $q_t = 2,3^{0,1(t-20)}$, где t - реальная температура водоема, к которой относятся рассчитанные величины P , P/\bar{W}_c и P/V .

5.4. Определение продукции за сутки для популяции в целом по "физиологическому" способу в принципе не отличается от определения продукции другими методами. Популяция делится на возрастные группы. Для каждой i -той возрастной группы со средней массой тела \bar{W}_i находят R_i и $C_w i$. Очевидно, что продукция i -той возрастной группы составит $P_i = C_w i \cdot V_i$, а продукция популяции в целом - $P = \sum P_i$

Ход расчета может несколько отличаться. Для особи i -той возрастной группы со средним значением массы W_i определя-

ются траты на обмен (R),

затем рассчитываются траты на обмен возрастной группы в целом ($R_i = R \cdot N_i$) и, наконец, траты на обмен всей популяции ($\sum R_i$). Если K_2 принимается независимым от возраста, то продукция популяции составит

$$P = \sum P_i / (\sum P_i + \sum R_i).$$

Этот ход расчета удобен, если необходимо составить баланс энергии для популяции, так как в этом случае можно легко определить величины потреоленной ($\sum C_i = a \sum A_i$) и ассимилированной ($\sum A_i = \sum P_i + \sum R_i$) популяцией энергии. При расчете потреоленной энергии(рациона) необходимо знать усвояемость пищи (a_i). Определения усвояемости пищи в экспериментах показали, что эта величина для растительноядных форм, по-видимому, близка к 0,6, для хищников - к 0,8.

5.5. Баланс энергии составляется обычно для достаточно длительных интервалов времени, причём величины трат на обмен, ассимиляции и рациона в этом случае рассчитываются так же, как продукция за этот интервал:

$$R[t_0, t] = \int_{t_0}^t R(dt)t \quad A[t_0, t] = \int_{t_0}^t A(dt)t ;$$

$$C[t_0, t] = \int_{t_0}^t C(dt)t .$$

Интегральные величины R , A и C получают тем же способом, что и величину P (уравнение 3). Форма составления баланса энергии популяции:

N	W	B	P	P/B	R	R/B	A	A/B	C	C/B
---	---	---	---	-----	---	-----	---	-----	---	-----

Как следует из многочисленных расчетов продукции отдель-

ных видов с использованием оригинальных данных по росту, среднесуточные за сезон значения удельной скорости продукции у инфузорий и коловраток колеблются в пределах 0,5-1,0, у ветвистоусых ракообразных - 0,05-0,30 (иногда до 0,5), у веслоногих - 0,05-0,15 (редко более 0,2).

Следует указать, что использовать для определения продукции среднесуточные значения \bar{C}_w , полученные на других водоемах, необходимо с крайней осторожностью и только в том случае, если температуры воды в течение сезона, трофические условия и возрастной состав популяции сходны с наблюдавшимися в том водоеме, для которого были рассчитаны значения удельной скорости продукции.

6. Определение продукции сообщества зоопланктона.

6.1. При определении продукции сообщества прежде всего следует сгруппировать виды в соответствии с их принадлежностью к трофическим уровням. В зоопланктоне выделяются как минимум два трофических уровня: первичные консументы или мирный зоопланктон и вторичные консументы или хищный зоопланктон.

6.1.1. К мирному зоопланктону относятся коловратки (кроме представителей р. *Asplanchna*); ветвистоусые рачки семейств *Sididae*, *Holopedidae*, *Daphnidae*, *Macrothricidae*, *Chydoridae*, *Boesminidae* ; веслоногие рачки из отряда *Calanoida* (кроме старших стадий родов *Heterosira* и *Eurytemora* , а также взрослых крупных диаптомусов, например *Eudiaptomus zachvatkini*); науплии и младшие копеподиты (1-3) представителей отряда *Cyclopoida* , неполовозрелые рачки из семейств *Polyphemidae*, *Leptodoridae*.

6.1.2. К хищному зоопланктону относятся крупные коловратки р. *Asplanchna* *A. brightwelli*, *A. girodi* (но *A. priodonta*

относится и факультативным хищникам); взрослые *Heterosore* и крупные циклопы — *Macrocyclops fuscus*, *M. albidus*, *Cyclops strenuus*, *C. kolensis*, *Acanthocyclops viridis* и др.; половозрелые рачки *Leptodora*, *Bythotrephes*, *Polyphemus*.

6.1.3. В хищном зоопланктоне имеются как облигатные, так и факультативные хищники. Для точного определения продукции сообщества необходимо экспериментально определить характер питания массовых видов циклопид при данном составе и концентрации пищи.

6.2. Способ расчета продукции зоопланктонного сообщества основан на том, что далеко не вся продукция планктонных животных может использоваться животными, не входящими в состав зоопланктона (рыбами, моллюсками-фильтраторами и др.), поскольку часть ее потребляется внутри сообщества планктонными хищниками. Исходя из общего представления о продукции как разнице между энергией, ассимилированной системой (A), и энергией, рассеиваемой в процессе жизнедеятельности — траты на обмен (R), можно определить продукцию сообщества. Очевидно, что по отношению к сообществу за величину A следует принять ассимиля-

цию энергии первичными консументами (мирным зоопланктоном), так как это единственный путь поступления энергии в систему. Энергия, рассеиваемая в процессе жизнедеятельности, равна сумм трат на обмен мирного и хищного зоопланктона. Следовательно, продукцию зоопланктона можно представить как $P_{\Sigma} = A_M - (R_M + R_X)$, а поскольку $A_M = P_M + R_M$, то $P_{\Sigma} = P_M - R_X$, где P_{Σ} - продукция сообщества зоопланктона; P_M - продукция мирного зоопланктона; A_M - ассимиляция мирного зоопланктона; R_M и R_X - траты на обмен мирного и хищного зоопланктона. В рыбохозяйственной практике получило широкое распространение несколько иное определение продукции зоопланктонного сообщества, именуемой "реальной" или "чистой" продукцией. Под суммарной продукцией сообщества в этом случае подразумевают продукцию, не использованную входящими в сообщество хищниками и доступную для непосредственного потребления следующими звеньями трофической цепи (рыбой). "Реальную" продукцию (P_{Σ}^I) определяют по уравнению

$$P_{\Sigma}^I = P_M - C_X + P_X,$$

где C_X - рацион хищников.

В принципе P_{Σ} надо отдать предпочтение, когда при изучении биотического баланса водоема хотят правильно отразить снижение общего запаса энергии органических веществ в водоеме, включая органическое вещество неусвоенной пищи (фекалий). Если же в центре внимания исследователя находится баланс энергосодержания живых организмов, целесообразнее использовать P_{Σ}^I

Как следует из приведенных уравнений расчета P_{Σ} и P_{Σ}^I , вопрос о том, насколько результаты расчета будут соответствовать действительности, зависит от правильности деления зоо-

планктона на трофические уровни, о чем было сказано выше. Кроме того, следует иметь в виду, что все расчетные величины определены с некоторой погрешностью. Ошибки определения накладываются друг на друга, поэтому точность рассчитанной величины P_{Σ}^I и P_{Σ}^I оказывается ниже, чем исходных величин (P_M , P_X , C_X и т.д.). Например, при ошибке определения P_M , P_X и C_X , равной 30%, ошибка расчета P_{Σ}^I будет равна 52%, так как

$$m_{P_{\Sigma}^I}^2 = \sqrt{m_{P_M}^2 + m_{P_X}^2 + m_{C_X}^2}$$

Необходимо также учитывать общее положение экологии, согласно которому если выедание хищниками равно продукции вида, то становится вероятным полное выпадение этого вида из состава сообщества.

6.3. В некоторых случаях, когда нет возможности провести детальные исследования, допустимо рассчитывать продукцию зоопланктона как сумму продукции всех наиболее крупных рачков, т.е. рачков, находящихся на последних стадиях развития. Это основано на том, что планктонные хищники питаются преимущественно организмами, значительно меньшими их по размерам (мелкими коловратками, инфузориями, науплиями и копеподитами I-3, а также молодью кладоцер), которые весьма слабо потребляются рыбами, избирательно питающимися более крупными формами.

При определении нормовой базы рыб следует исходить из того, что рыба может использовать 60-70% от реальной продукции зоопланктона.

7. Правила оформления исходных данных. В результате обработки собранных материалов и проведения лабораторных экспериментов у исследователя накапливается значительное количество

исходных данных, которые необходимо соответствующим образом упорядочить. Обработывая стандартные карточки планктонных сборов, следует в первую очередь распределить их по станциям, а затем сгруппировать по зонам водоема во временном аспекте, т.е. по всему периоду наблюдений, разбив по сезонам.

Далее, используя данные по численности и биомассе ведущих видов, суммарные цифры по группе "прочих" и итоговые показатели, составляют развернутые таблицы по сезонной динамике развития зоопланктона за весь период наблюдений. Для большей наглядности следует привести соответствующий график (по группам планктона с выделением одного-двух доминантных видов), на котором показана помесечная, а в необходимых случаях и подекадная динамика изменения численности и биомассы зоопланктона. При этом показатели биомассы видов откладываются по оси ординат ($г/м^3$) и изображаются штриховыми, пунктирными или цветными линиями, а величины численности даются в виде вертикальных столбцов различной штриховки или окраски. Над каждым столбцом указывается общая численность организмов зоопланктона (тыс. экз./ $м^3$).

По такому же принципу составляются таблицы, показывающие характер вертикального распределения зоопланктона. Таблицы могут быть заменены соответствующими диаграммами, где значимость каждого вида или группы видов обозначается шириной заштрихованного участка. Эти таблицы и графики могут быть использованы при анализе результатов натуральных наблюдений.

7.1. Данные по видовому составу фауны представляются в форме систематических списков с обязательным указанием автора, описавшего этот вид, и значимости каждого вида (доминантный, субдоминантный, характерный, второстепенный, случайный, или по

обычной пятибалльной шкале).

В тех случаях, когда появляется необходимость провести сравнение фауны различных водоемов, особенно относящихся к разным типам, полезно составить диаграммы. В центре каждого круга, характеризующего фауну водоемов определенного типа, указывается общее число обнаруженных видов, а значимость отдельных систематических групп дается секторами соответствующей площади, имеющими различную штриховку или цвет. В самом секторе или сбоку от него отмечается число видов данной группы, а в таблицах — процент от общего количества встреченных видов планктонных организмов.

7.2. В большинстве случаев при оформлении проведенной работы целесообразно применение статистических методов, позволяющих определить степень достоверности имеющихся материалов, величину "ошибки выборки" (S), а также степень связи между явлениями, показать роль того или иного фактора среды. Степень этой связи определяется величиной коэффициента корреляции (r).

На практике часто возникает необходимость выяснить влияние на организмы водоема ряда факторов окружающей среды, оценить роль исследуемых факторов. В таких случаях целесообразно пользоваться дисперсионным анализом (одно- или двухфакторным).

Подписано к печати 16.02.82.

М - 26323

Уч.-изд.л. 1,5 Тираж 600

Заказ 684, Цена 15 коп.

ГосНИОРХ. 199053, наб. Макарова, 26
Ротапринт типографии №2 Ленуприюдата, 191104, Литейный пр.,
55.