

**МОДИФИКАЦИЯ ФОРМУЛ РАСЧЕТА
КОЭФФИЦИЕНТОВ СМЕРТНОСТИ
ЗООПЛАНКТОНА ПРИ ЕГО
ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ НА ЖИВЫХ И
МЕРТВЫХ ПО ПОСТМОРТАЛЬНЫМ
ПРИЗНАКАМ**

О.А. Черепанов, Е.В. Павлова

Институт биологии южных морей
НАН Украины
г. Севастополь, пр. Нахимова, 2
E-mail: oacherep@mail.ru

Модифицируются формулы расчета коэффициентов смертности по данным сетных ловов при разделении зоопланктона на живых и мертвых по постмортальным признакам.

Существует два основных направления дифференциации зоопланктона на живых и мертвых. В одном из них используется свойство красителей окрашивать или только мертвых или только живых особей. Разработанный в рамках этого направления способ дифференциации зоопланктона при окрашивании акридиновым оранжевым позволяет с погрешностью 7% идентифицировать некрозоопланктон в пробе [1]. При этом способе счета живых и мертвых организмов для оценки коэффициентов смертности используется полученный нами алгоритм [5]. Во втором случае, дифференциация особей проводится по постмортальным признакам. Основной недостаток этого метода в том, что изменения в теле и мышцах рачков становятся различимыми лишь спустя 2.5 - 3 ч, а иногда и более, после наступления смерти [1-3]. Это обстоятельство приводит к погрешности определения численности живых (в сторону увеличения) и мертвых организмов (в сторону уменьшения).

Проанализируем влияние этой ошибки на оценку численности живых (X) и мертвых (x) особей при различных способах лова (сеть Джели и седиментационная ловушка). В дальнейшем будем обозначать численности мертвых и живых, полученных по постмортальным признакам, через индекс «р». Разобьем слой лова толщиной H на m вспомогательных слоев. Обозначим через τ_d – период задержки появления постмортальных признаков. Пусть k – номер слоя, в котором погибли рассматриваемые

организмы. Погружаясь, мертвые особи за время τ_d достигают слоя j_k ($k \leq j_k \leq m$) С этого слоя и ниже, у некрозоопланктона из k -го слоя уже имеются постмортальные признаки и он идентифицируется правильно. При некотором k_m все мертвые особи, умершие в этом слое и ниже, идентифицируются как живые, так как их нахождение в слое лова меньше времени проявления постмортальных признаков.

Реальная плотность численности живых организмов (X) в слое лова сетью Джели равна разности плотностей численности подсчитанных живых особей и ошибочно зачисленных в живые мертвых организмов

$$X = X_p - x_p (1 - \alpha_{yes}) / \alpha_{yes}, \quad (1)$$

а реальная плотность численности мертвых особей (x) в этом же слое

$$x = x_p / \alpha_{yes}, \quad (2)$$

где α_{yes} - доля правильно идентифицированных мертвых особей, рассчитываемая по выражениям

$$\begin{aligned} \alpha_{yes} &= K_p / K_x, \\ K_p &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{k_m-1} (m+1-j_k) p_k, \quad (3) \\ K_x &= \frac{1}{m} \sum_{k=1}^{k_m} (1/2 + m - k) p_k. \end{aligned}$$

При сборе некрозоопланктона седиментационной ловушкой численность правильно идентифицированного некрозоопланктона будет

$$x_{trap} = x_{ptrap} / [1 - \tau_d \cdot \tau_{trap} \cdot (m - k_m) / m], \quad (4)$$

где x_{ptrap} - численность мертвых особей, зарегистрированная в ловушке по постмортальным признакам; x_{trap} - скорректированная численность мертвых особей; k_m – номер слоя, с которого и ниже умершие особи не идентифицируются как мертвые; τ_{trap} – длительность лова ловушкой. При постановке седиментационной ловушки на сутки численность некрозоопланктона можно не корректировать по формуле (4) ввиду незначительности поправки.

Расчет индексов j_k и k_m осложняется тем, что время проявления постмортальных при-

знаков (τ_d) зависит от температуры воды, которая варьирует по глубине и в течение сезона. Можно использовать следующий подход. Пусть нам известно время появления различных постмортальных изменений некрозоопланктона при фиксированной температуре воды. Имеет смысл момент появления этих изменений связать со степенью потери углерода в мертвых особях. Для этой цели использовались экспериментальные данные работы [6] по зависимости от температуры убыли углерода в некрозоопланктоне. Дополнительно при помощи данных о времени проявления постмортальных признаков при температуре 17 °C [2], получены приближенные формулы определения времени проявления постмортальных признаков. Проверка показала, что в большинстве случаев линейная аппроксимация температуры по ее значениям у поверхности и у дна не влияет на результат. В этом случае

$$\tau_{dk} = a + b \cdot \gamma, \quad (5)$$

$$\gamma = v(T_{up} - T_{bot}) / (H_{up} - H_{bot}),$$

где τ_{dk} – время проявления постмортальных признаков у особей погибших в k -ом слое (ч); v – скорость погружения мертвых особей в м сут⁻¹; T_{up} и T_{bot} – поверхностная и придонная температура, а H_{up} и H_{bot} – глубины их измерений. Коэффициенты a и b равны

$$a = 3.94 - 0.081 \cdot T_k, \quad (6)$$

$$b = 0.0148 - 0.00041 \cdot T_k - 1.26/T_k^2$$

при проявлении постмортальных признаков через 2.5 ч при температуре 17 °C ($C_d=0.984$). Здесь T_k – температура на верхней границе k -го слоя, которая равна

$$T_k = T_{up} - \gamma[(k-1)H/m - H_{up}]/v. \quad (7)$$

После определения τ_{dk} легко рассчитать j_k по выражению

$$j_k = \text{Round}[k - 1/2 + m \tau_{dk} v/H + 0.001], \quad (8)$$

$$k = 1 \dots m.$$

Индекс k_m равен тому значению k , при котором впервые $j_k > m$. Операция Round[...] – означает округление до ближайшего целого значения.

При дифференциации зоопланктона на живых и мертвых по постмортальным признакам реальная скорость погружения некрозоопланктона рассчитывается при помощи данных седиментационной ловушки по уравнению

$$v = (x_{trap} HK_p) / (x_p \tau_{trap}). \quad (9)$$

В данном случае коэффициент K_p неявно зависит от скорости погружения (индексы j_k и k_m , используемые при его расчете, зависят от v). Поэтому для расчета скорости погружения необходимо, задавая температуру воды и вертикальное распределение численности живых организмов, решать уравнение (9).

Результаты и анализ. В сетных ловах задержка в проявлении постмортальных признаков устанавливает верхнюю границу размеров особей, для которых возможен расчет коэффициентов смертности. Организмы, у которых время погружения в слое лова с верхнего горизонта меньше срока проявления постмортальных признаков, будут идентифицированы как живые.

Время проявления постмортальных признаков, существенно зависит от температуры воды (рисунок 1). Например, при прогреве всего слоя лова как в 2008 году до 24 °C оно составляет 1.92, а при типичной температуре осенью – 2.67 часа. Время присутствия в слое лова у особей копепод, рассчитанное при минимальной плотности тел [4], в частности рода *Acartia* длиной тела 1.3 мм, равно 2.39 ч. В результате дрейфа времени проявления постмортальных признаков, летом будет регистрироваться гибель крупных акарций, а осенью – ее отсутствие. Не зависящая от температуры среды регистрация мертвых особей начинается с длины тел 1.1 – 1.2 мм.

Коэффициент, корректирующий численность мертвых особей (формула 3), зависит от вертикального распределения численности живых организмов, а также и от температуры воды. Постмортальная задержка во времени фактически уменьшает слой, из которого регистрируются погибшие особи. Соответственно, усиливаются требования к точности задания вертикаль-

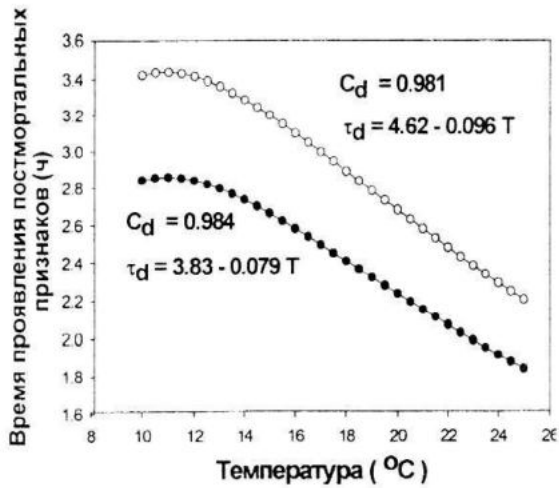


Рисунок 1 - Зависимость времени проявления постмортальных признаков от температуры при использовании пороговых значений относительной потери углерода в некрозоопланктоне равных 0.984 и 0.981, соответствующих первому появлению постмортальных признаков при температуре воды в 17 °С через 2.5 и 3 часа. Линейные уравнения, приведенные на рисунке справедливы в диапазоне температур 12-25 °С

ного профиля численности живых организмов. Это значит, что для сравнения особей значительно отличающихся размерами нужно брать не один лов.

При использовании ловушек для оценки численности погибших особей, чем больше время экспозиции, тем меньше погрешность, вносимая ошибками дифференциации. При постановке ловушки на сутки погрешность будет достаточно незначительна. Но, так как численность живых организмов определяется из сетных ловов, то и в этом случае требуется знание вертикального распределения.

Заключение. Точность разделения зоопланктона на живых и мертвых по постмортальным признакам зависит главным образом от скорости погружения мертвых организмов. При скоростях погружения, рассчитанных по литературным данным [4] ужесточаются требования к номенклатуре и точности информации. И даже при исполь-

зовании седиментационных ловушек, необходимо знать вертикальный профиль численности живых организмов.

По предварительной оценке при помощи данных седиментационной ловушки, скорости погружения особей группы *Copepoda* размерами 0.4-1.4 мм, лежат пределах 0.2-3.5 м сут⁻¹. Расчеты показали, что при этих скоростях погружения разница в результатах обработки проб по постмортальным признакам и при помощи красителей лежит в пределах погрешностей методов.

Литература

1. Б.Г. Александров, О.А. Аблов. Методика дифференцированного учета живых и мертвых организмов морского зоопланктона с помощью флуоресцентной микроскопии. Экология моря, вып. 37. 1991. – С. 89 – 94.
2. М.А. Кастальская – Карзинкина. Методика определения живых и отмерших компонентов планктона на фиксированном материале. Труды лимнологич. станции в Косине, № 19. 1935. – С. 91 – 100.
3. Л.М. Зелезинская. Естественная смертность некоторых форм ихтио- и зоопланктона Черного моря: автореф. дисс. канд. биол. наук. – Одесса, 1966. – 20 с.
4. В.Н. Степанов, Л.С. Светличный. Исследования гидромеханических характеристик планктонных копепод. – Киев: Наукова думка, 1981. – 126 с.
5. О.А. Черепанов, Е.В. Павлова. Определение коэффициентов смертности зоопланктона по данным ловов с использованием дифференциации на живую и мертвую фракции. Системы контроля окружающей среды. Средства и мониторинг / Сб. науч. трудов МГИ НАНУ – Севастополь: ЭКОСИ–Гидрофизика, 2008. – (настоящий сборник).
6. Miyoshi H. Decomposition of marine plankton under laboratory conditions. Bull. Jap. Soc. Sci. Fish., vol. 42, No 11. 1976. – P. 1205 – 1211.