



УДК 591.148: 574.52

**О. А. Черепанов**<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, с. н. с., **Л. А. Левин**<sup>2</sup>, докт. биол. наук, вед. н. с.,  
**Р. Н. Утюшев**<sup>2</sup>, канд. биол. наук, н. с.

<sup>1</sup>Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского Национальной академии наук Украины,  
Севастополь, Украина

<sup>2</sup>Институт биофизики Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, Россия

### ИНТЕРКАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ «РОМАШКА» И «САЛЬПА»

Теоретически рассчитан коэффициент перехода от данных батифотометра «Ромашка» в ваттах к данным батифотометра «Сальпа» в  $\text{вт} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$ . Он равен  $3.95 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-2} \cdot \text{л}^{-1}$ . Экспериментальные данные косвенно подтверждают этот результат.

**Ключевые слова:** биолюминесценция, интеркалибровка

Рассматриваемая в настоящей статье задача возникла при составлении общей базы данных, полученных батифотометрическими комплексами «Ромашка» (г. Красноярск, Институт биофизики СО РАН) и «Сальпа» (г. Севастополь, Институт биологии южных морей НАНУ), предназначенных для измерения биолюминесценции в море. Из-за технических и организационных трудностей интеркалибровку приборов в натуральных условиях провести не удалось. Ситуация облегчается тем, что основные блоки батифотометров «Ромашка» и «Сальпа» практически одинаковы, так как сконструированы и изготовлены в ИБФ СО РАН. Они имеют один и тот же тип фотоумножителя (ФЭУ) и подобную конструкцию темновой камеры, за исключением ее габаритов, что влияет на объем, из которого регистрируется свечение. Детальное описание конструкции дано в [1]. Кроме того, различаются методы расчета энергии, излучаемой биолюминесцентами, и предположения, сделанные при этом. Поэтому была предпринята попытка рассчитать коэффициент перехода от данных од-

ного прибора к измерениям другого, учитывая конструктивные и расчетные различия. Поскольку имеется уравнение перехода данных батифотометра «Сальпа» к данным комплекса «Хайдекс» (США), эта работа автоматически позволит сравнивать оценки биолюминесцентного поля, полученные тремя приборами.

Для удобства дальнейшего изложения сделаем два предварительных замечания. Во-первых, традиционно, в ИБФ СО РАН в качестве основной единицы измерения интенсивности свечения биолюминесценции использовались ватты. Поэтому далее все энергетические характеристики измеряются в ваттах. Во-вторых, все спектральные характеристики, описывающие распределение энергии в ваттах по длинам волн излучения, являются относительными, а именно, нормированными на максимальное значение энергии в рассматриваемом диапазоне длин волн.

Как следствие выполняется очевидное соотношение

$$E = F_m \int F(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

где  $F(\lambda)$  – нормированное распределение энергии по длинам волн  $\lambda$ ,  $F_m$  – ее максимальное значение при некоторой длине волны  $\lambda_m$ ,  $E$  – интегральная энергия излучения.

Общая схема оценки интенсивности биолюминесценции, измеряемой комплексами «Ромашка» и «Сальпа», заключается в следующем [1].

На расстоянии  $h_e$  от фотоприемника ФЭУ устанавливается эталонный источник в виде диска радиуса  $r_{1e}$  с известной энергией излучения  $E_{1e}$  и ее нормированным распределением по длинам волн  $F_e(\lambda)$ , который вызывает отклонение показаний регистратора на величину

$$D_e = K_T * F_{2me} \int S(\lambda) F_e(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

где  $K_T$  – коэффициент усиления измерительного тракта,  $F_{2me}$  – поток падающей на фотоприемник энергии в максимуме спектрального распределения излучения эталона,  $S(\lambda)$  – спектральная чувствительность ФЭУ.

Так как плоскости излучения эталона и фотоприемник имеют форму круга, то, используя формулу «переноса излучения с диска на диск» [2] и соотношение (1), находим, что

$$F_{2me} = K_e * F_{1me} = \frac{K_e * E_{1e}}{\int F_e(\lambda) d\lambda} \quad (3)$$

где коэффициент

$$K_e = \frac{r_{ef} - \sqrt{r_{ef}^2 - 4r_{1e}^2 r_2^2}}{2r_{1e}^2} \quad (4)$$

$$r_{ef} = r_{1e}^2 + r_2^2 + h_e^2$$

учитывает геометрические параметры излучающей и принимающей поверхностей и расстояние между ними,  $r_2$  – радиус фотоприемника,  $h_e$  – расстояние от эталона до фотоприемника.

Показания регистратора линейно зависят от принимаемой энергии. Поэтому применение уравнения (2) к биолюминесценции светящихся планктонных организмов (биолюминесценто́в), ведет к выполнению соотношения

$$\frac{D_e}{D_b} = \frac{F_{2me} \int S(\lambda) F_e(\lambda) d\lambda}{F_{2mb} \int S(\lambda) F_b(\lambda) d\lambda} \quad (5)$$

где параметры с индексом «b» относятся к свечению биолюминесценто́в и имеют тот же смысл, что и для эталона. Так как  $F_b(\lambda)$  и  $S(\lambda)$  задаются априори из экспериментальных измерений, то в уравнении (5) искомой величиной является  $F_{2mb}$  – значение потока падающей на фотоприемник энергии в максимуме спектрального распределения излучения биолюминесценто́в. Значение  $F_{2mb}$  служит основой для оценки энергии их излучения.

Организмы с одним и тем же латентным периодом световых вспышек высвечиваются на одном и том же расстоянии от фотоприемника, поэтому свечение биолюминесценто́в можно представить совокупностью светящихся дисков, распределенных вдоль темновой камеры. Причем их распределение определяется видовым составом биолюминесценто́в. Например, как показали исследования с помощью батифотометра «Факел» [1] с тремя ФЭУ, расположенными вдоль рабочей части темновой камеры, фитопланктон высвечивается на ее входе вблизи роторных затемнителей.

Таким образом, в общем случае

$$F_{2mb} = \sum n_i * f_{2mbi}, \quad i = 1, \dots, m \quad (6)$$

где  $m$  – число групп биолюминесценто́в, различающихся латентным периодом возбуждения;  $n_i$  – численность  $i$ -ой группы,  $f_{2mbi}$  – значение потока падающей на фотоприемник энергии в максимуме спектрального распределения излучения биолюминесценто́в от отдельной особи  $i$ -ой группы.

Применяя (3) к каждой группе биолюминесцентов и учитывая поглощение свечения водной средой, имеем

$$F_{2mb} = 0.5 \sum n_i f_{1mbi} K_{bi} \exp(-\varepsilon * h_{bi}), \quad i = 1, \dots, m \quad (7)$$

где:  $f_{1mbi}$  – энергия излучения отдельной особи  $i$ -ой группы в максимуме спектрального распределения свечения биолюминесцентов;  $K_{bi}$  – коэффициент, рассчитываемый по формуле (4) при  $r_{1b}$  – радиусе светящегося диска, сформированного биолюминесцентами, одинакового для всех групп и зависящий от радиуса рабочей части темновой камеры батифотометра и  $h_{bi}$  – расстоянии  $i$ -го светящегося диска до фотоприемника;  $\varepsilon$  – коэффициент ослабления излучения биолюминесцентов водной средой, множитель 0.5 учитывает, что сигнал на фотоприемник падает только с одной стороны светящегося диска. Из (7) необходимо найти  $\sum n_i * f_{1mbi}$  – оценку суммарного свечения биолюминесцентов. Точное решение этой задачи возможно только при высвечивании биолюминесцентов на одном и том же расстоянии до фотоприемника и априорном знании этого расстояния. В реальных условиях измерений эти условия невыполнимы. Вследствие этого, для приближенной оценки интенсивности биолюминесценции при расчетах было условно принято, что все биолюминесценты высвечиваются на одном и том же расстоянии  $h_b$  от фотоприемника и формируют светящийся диск радиусом  $r_{1b}$ . Тогда, используя формулу «с диска на диск», можно оценить энергию излучения диска биолюминесцентов в ваттах, при этом не учитывается поглощение свечения водной средой. Нормируя эту величину на площадь условного светящегося диска биолюминесцентов, получаем значение интенсивности биолюминесценции в  $вт * см^{-2}$ , не зависящее от радиуса рабочей части темновой камеры.

Эта схема на последней стадии расчетов, ввиду частичной изолированности исследовательских групп ИБФ СО АН РАН (батифотометр «Ромашка», г.Красноярск) и Ин-

БЮМ’а НАНУ (батифотометр «Сальпа», г.Севастополь») и отличающихся габаритов темновых камер батифотометров, имеет следующие различия, влияющие на конечный результат:

- В батифотометре «Ромашка» учитывается, что светящийся условный диск, сформированный биолюминесцентами, излучает энергию и в противоположную от фотоприемника сторону. Поэтому значение биолюминесценции, оцененное по данным батифотометра «Ромашка», в два раза выше, чем по данным батифотометра «Сальпа».

- Поскольку в «Ромашке» габариты рабочей части темновой камеры всегда оставались постоянными, то данные не нормировались на площадь условного светящегося диска и приводились в ваттах. В «Сальпе» оценка интенсивности биолюминесцентного поля дается в ваттах на  $см^2$ , так как при расчетах энергия эталона задается в  $вт * см^{-2}$ .

- Для оценки интенсивности биолюминесценции, при известном из экспериментальных данных ее спектре, достаточно знать энергию излучения в максимуме спектрального распределения энергии излучения биолюминесцентов. Исторически сложилось так, что батифотометром «Ромашка» оценивается именно эта величина. В данных «Сальпы» дается интегральная энергия свечения в диапазоне 420 – 535 нм.

В конечном виде формула для оценки интенсивности свечения биолюминесцентов для батифотометра «Ромашка» выглядит следующим образом:

$$F_{1mb} = \frac{2D_b K_e E_{1e} \int S(\lambda) F_e(\lambda) d\lambda}{D_e K_b \int F_b(\lambda) d\lambda \int S(\lambda) F_b(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

С учетом сделанных замечаний 1 – 3, для перехода к оценке биолюминесценции, сравнимой с данными «Сальпы», значение, полученное по формуле (8), необходимо умножить на коэффициент

$$K_1 = \int_{420}^{535} F_b(\lambda) d\lambda / [2 * \pi * r_{1b}^2] \quad (9)$$

фотоприемника до условного светящегося диска, сформированного биолюминесцентами, и различные нормированные распределения энергии свечения биолюминесцентом по длинам волн (см. табл. 1 - 4).

В батифотометрах «Ромашка» и в «Сальпа» приняты различные расстояния от

Табл. 1. Средний спектр излучения биолюминесцентом, используемый при расчете энергетического свечения биолюминесцентом в батифотометре «Ромашка»

Table 1. Average bioluminescence spectrum used at calculation of bioluminescence energy in bathyphotometer "Romashka"

$\lambda$ nm	420	430	440	450	460	470	480	490	500
$F_b(\lambda)$	0	0.02	0.08	0.25	0.75	0.98	0.98	0.71	0.525
$\lambda$ nm	510	520	530	540	550	560	570	580	
$F_b(\lambda)$	0.375	0.25	0.18	0.12	0.075	0.05	0.02	0	

Табл. 2. Средний спектр излучения биолюминесцентом, используемый при расчете энергетического свечения биолюминесцентом в «Сальпе»

Table 2. Average bioluminescence spectrum used at calculation of bioluminescence energy in bathyphotometer "Salpa"

$\lambda$ nm	420	425	435	445	455	465	475	485	495	505	515	525	535
$F_{bs}(\lambda)$	0.29	0.3	0.33	0.37	0.42	0.5	0.63	0.95	0.98	0.77	0.53	0.38	0.27

Табл. 3. Спектр чувствительности фотоприемника

Table 3. Sensitivity spectrum of the photoreceiver

$\lambda$ nm	420	425	435	445	455	465	475	485	495	505	515	525	535
$S(\lambda)$	0.97	0.99	0.99	0.99	0.98	0.97	0.95	0.93	0.88	0.85	0.8	0.75	0.68

Табл. 4. Исходные и расчетные значения параметров используемых при расчете коэффициента перехода от данных «Ромашки» к данным «Сальпы»

Table 4. Initial and calculated values of parameters used at calculation of a conversion coefficient from the data of "Romashka" to the data "Salpa"

Параметр	Обозначение	«Ромашка»	«Сальпа»	Размерность
Высота темновой камеры	H	40	11	см
Радиус темновой камеры	$R_b$	12.5	8.5	см
Радиус фотоприемника	$r_2$	0.8	1.5	см
Расстояние условного диска биолюминесцентом до фото-приемника	$h_b$	20	5	см
Радиус условного диска биолюминесцентом	$r_{1b}$	12.5	2.5	см
Угол зрения ФЭУ	$\alpha_f$	120	22	град.
Рабочий объем темновой камеры	$V_s$	-	0.15	л
Коэффициент видности	$k_{vs}$	-	0.26	-

\* - используются только в алгоритме калибровке батифотометра «Сальпа» при переходе от  $вт \cdot см^{-2}$  к  $вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$  или в  $квант \cdot с^{-1} \cdot л^{-1}$ . Коэффициент видности – средняя доля энергии, высветившейся в рабочем объеме темновой камеры, достигающей фотоприемника. Определяется экспериментально, помещая точечный эталонный источник под различными углами и на различном расстоянии от фотоприемника, а затем усредняя эти данные

Пусть  $F_{bs}(\lambda)$  – нормированное распределение энергии по длинам волн  $\lambda$ ,  $h_{bs}$  – расстояние от фотоприемника до условного светящегося диска, принятые при расчетах для батифотометра «Сальпа». Тогда, согласно (8), для перехода к оценке интенсивности биолюминесценции батифотометром «Сальпа» в  $вт \cdot см^{-2}$  необходимо  $F_{1mb}$  дополнительно умножить на коэффициент

$$K_2 = \frac{K_b \int_{535} F_b(\lambda) d\lambda \int_{535} S(\lambda) F_b(\lambda) d\lambda}{K_{bs} \int_{420} F_{bs}(\lambda) d\lambda \int_{420} S(\lambda) F_{bs}(\lambda) d\lambda} \quad (10)$$

где коэффициент  $K_{bs}$  рассчитывается по уравнению (4) для параметров батифотометра «Сальпа».

Таким образом, интенсивность биолюминесценции  $E_{lbs}$  в  $вт \cdot см^{-2}$ , оцененная по данным батифотометра «Ромашка» и приведенная к «единицам Сальпы» будет

$$E_{lbs}(вт \cdot см^{-2}) = K_1 \cdot K_2 \cdot F_{1mb} = K_{wc} \cdot F_{1mb} \quad (11)$$

Используя данные табл. 1 - 4, получим, что  $K_1 = 0.052 \text{ см}^{-2}$ ,  $K_2 = 0.0296$  и  $K_{wc} = K_1 \cdot K_2 = 0.154 \cdot 10^{-2}$

Уравнение (11) с коэффициентом  $K_{wc}$  согласует измерения батифотометров «Ромашка» и «Сальпа», поэтому для перехода в  $вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$  или в  $квант \cdot с^{-1} \cdot л^{-1}$  далее используем алгоритмы и коэффициенты, применяемые для данных батифотометра «Сальпа».

Переход к  $вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$  осуществляется преобразованием

$$E_{lbs}(вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}) = E_{lbs}(вт \cdot см^{-2}) / (V_s \cdot k_{vs}) = K_L \cdot E_{lbs}(вт \cdot см^{-2}) \quad (12)$$

где  $V_s$  - объем высвечивания, равный 0.15 л,  $k_{vs}$  - коэффициент видности, равный 0.26. Тогда  $K_L = 25.64$ , а коэффициент прямого пере-

хода от данных батифотометра «Ромашка» к данным батифотометра «Сальпа» ( $K_{wcl} = K_{wc} \cdot K_L$ ) будет равен

$$K_{wcl} = 3.95 \cdot 10^{-2} \quad (13)$$

Для экспериментальной проверки (13) пришлось искать районы работ, в которых батифотометры работали хотя бы в один и тот же сезон. Такие районы были обнаружены в Черном море и в Атлантическом океане. При этом считалось, что данные зондирований можно использовать для оценки коэффициента перехода от данных батифотометра «Ромашка» к данным батифотометра «Сальпа», если:

1. Зондирования выполнены в один и тот же характерный интервал времени суточной динамики свечения. По характеру суточной динамики биолюминесценции были выделены следующие характерные интервалы времени суток:

- с 20 ч до 4 ч – ночной квазистационарный период свечения
- с 4 ч до 7 ч – утренний переходной период
- с 7 ч до 17 ч – дневной квазистационарный период
- с 17 ч до 20 ч – вечерний переходной период

2. Расхождения в координатах и дате не превышали задаваемые критические уровни. Год выполнения работ не учитывался.

В Черном море при расхождении в координатах в 30 мин, а в дате в 15 суток, в данных 21-го рейса НИС «Витязь» (батифотометр «Ромашка») и 20-го рейса НИС «Ихтиандр» (батифотометр «Сальпа») обнаружены измерения биолюминесценции, удовлетворяющие условиям выборки. Дата, время, координаты выбранных вертикальных профилей биолюминесценции, измеренных в рейсе НИС «Витязь», среднее расстояние от них до точек выполнения соответствующих им зондирований в рейсе НИС «Ихтиандр» и средняя величина рассогласования во времени их выполнения приведены в табл. 5.

Табл. 5. Координаты и время выбранных для расчетов зондирований, выполненных в 21-м рейсе НИС «Витязь» (Черное море), и результаты оценки коэффициента перехода от данных батифотометра «Ромашка» к данным батифотометра «Сальпа» ( $K_{wcl}$ )

Table 5. Coordinates and times of soundings in 21<sup>st</sup> cruise R/V "Vitayz" (Black Sea), used at calculations, and results of an estimation of conversion coefficient from the bathyphotometer "Romashka" data to the bathyphotometer "Salpa" data ( $K_{wcl}$ )

Станция	Зонд	Год	Мес.	День	Час	Мин	Широ- та, град.	Долго- та град.	AvB в 0-100 м	AvD мили	AvT дни	$K_{wcl}$ *10 <sup>-2</sup>
3384	1	1991	3	14	22	56	44.25	32.00	110.96	29.4	2.8	3.12
3390	1	1991	3	15	20	33	44.50	32.62	56.80	12.2	1.4	3.50
3391	1	1991	3	15	22	10	44.25	32.61	86.40	20.1	1.4	2.30
3392	1	1991	3	16	0	3	44.00	32.62	42.58	24.9	2.0	1.57
3432	1	1991	3	24	22	6	44.26	34.92	33.27	20.8	4.0	6.90
3432	2	1991	3	24	22	10	44.26	34.92	34.99	20.8	4.0	6.56

Обозначения: AvB – среднее значение интенсивности свечения в слое 0-100 м, AvD – средняя дистанция, AvT – средняя разница во времени между станцией НИС «Витязь» и станциями НИС «Ихтиандр»

Кроме того, в этой же таблице для каждого выбранного зондирования, выполненного батифотометром «Ромашка», приводятся средние значения биолюминесценции в слое 0 - 100 м и результаты расчета коэффициента перехода от данных комплекса «Ромашка» к данным комплекса «Сальпа». Последний оценивался следующим образом. Для каждого j-го зондирования, попавшего в выборку, рассчитывалось среднее значение биолюминесценции ( $AvB_j$ ) в слое 0 - 100 м по уравнению:

$$AvB_j = dh/H * \sum (B_i + B_{i+1}) / 2, \quad i=1 \dots n \quad (14)$$

где H – толщина слоя (м), dh – шаг дискретизации вертикального профиля биолюминесценции по глубине (м),  $B_i$  – значение биолюминесценции на i-й глубине, n – количество точек дискретизации в рассматриваемом слое. Далее для совокупности данных зондирований батифотометра «Сальпа», соответствующих выбранным данным батифотометра «Ромашка», рассчитывалось среднее значение биолюминесценции ( $AvB_s$ ) по данным этой группы.

$$AvB_s = 1/m * \sum AvB_j \quad j=1 \dots m \quad (15)$$

где m – количество зондирований «Сальпы», соответствующих рассматриваемому зондированию «Ромашки».

Тогда для отдельного зондирования «Ромашки» со средним значением биолюминесценции в 0 - 100 м равным  $AvB_r$ , оценка коэффициента перехода от ее измерений к данным «Сальпы» будет:

$$K_{wcl} = AvB_s / AvB_r \quad (16)$$

Согласно табл. 5, значения коэффициента перехода, полученные по экспериментальным данным, лежат в пределах  $(1.57 - 6.90) * 10^{-2}$  со средним значением  $3.99 * 10^{-2}$ , имеющим доверительный интервал равный  $1.78 * 10^{-2}$ . Теоретическое значение коэффициента перехода равно  $3.95 * 10^{-2}$ , так что наблюдается идеальное совпадение теоретической и экспериментальной оценки коэффициента перехода от данных батифотометра «Ромашка» к данным батифотометра «Сальпа».

Для большей уверенности в полученном результате к проверке были привлечены данные батометрических проб фитопланктона. Анализ данных рейса НИС «Витязь» показал, что биолюминесцентное поле с коэффициентом корреляции 0.53 зависит от численности крупных перидиней [3]. Несмотря на слабую корреляционную связь, попробуем оценить коэффициент перехода из соотношения

$$K_{wcl} = n_f * AvB_s / AvB_r \quad (17)$$

где  $n_f = N_f/N_s$  – отношение численностей перидиней в слое в моменты работы батифотометров «Ромашка» и «Сальпа», соответственно. К сожалению, данные батометрических проб фитопланктона имеются только для слоя 0 - 50 м. В 21-м рейсе НИС «Витязь» приблизительно в используемом для расчетов районе выполнен отбор проб на ст. 3383 с координатами 44.5° с.ш. и 31.5° в.д, а в 20-м рейсе НИС «Ихтиандр» - на ст. 130. Согласно результатам обработки проб, численность перидиней на ст. 3383 в 4.95 раз выше, чем на ст.130. Выполненный по вышеприведенной схеме расчет оценки коэффициента перехода от данных батифотометра «Ромашка» к данным батифотометра «Сальпа» для слоя 0 - 50 м дал его среднее значение  $1.34 \cdot 10^{-2}$  с доверительным интервалом равным  $0.74 \cdot 10^{-2}$  при 5 % уровне значимости. Тогда, согласно (20), при  $n_f = 4.95$  имеем, что значение коэффициента перехода с вероятностью 95 % должно лежать в пределах  $(2.97 - 10.3) \cdot 10^{-2}$  и иметь среднее значение  $6.63 \cdot 10^{-2}$ . С учетом временного и пространственного различия в отборе проб фитопланктона с данными зондирований батифотометра «Ромашка», дополнительно получаем хорошее согласие оценки коэффициента перехода по экспериментальным данным с его теоретическим значением.

1. Гительзон И. И., Левин Л. А., Утюшев Р. Н и др. Билюминесценция в океане. - С.- Петербург: Гидрометеиздат, 1992. - 283 с.
2. Гуревич М. М. Введение в фотометрию. – Л.: Энергия, 1968. – 240 с.

В Атлантическом океане работы комплексом «Ромашка» производились только в 37-м рейсе НИС «Академик Курчатов», выполненного по программе «Дюманд». Выборка соответствующих данных билюминесцентных зондирований комплексом «Сальпа» показала, что выполняется условие или по району, или по сезону работ. В этой ситуации трудно ожидать адекватной оценки коэффициента перехода от данных «Ромашки» к данным «Сальпы». Действительно, в первом случае (совпадение района работ) среднее значение коэффициента перехода равно  $31.5 \cdot 10^{-2} \pm 19.2 \cdot 10^{-2}$ , а при совпадении сезона работ  $K_{wcl} = 87.6 \cdot 10^{-2} \pm 102.6 \cdot 10^{-2}$ . Ввиду отсутствия биологических данных среди измерений, выполненных в 37-м рейсе НИС «Академик Курчатов», коррекцию полученных оценок коэффициента провести невозможно.

Таким образом, теоретический расчет и экспериментальные данные позволяют принять коэффициент перехода от данных батифотометрического комплекса «Ромашка» в ваттах к данным батифотометрического комплекса «Сальпа» в  $вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$  равным  $K_{wcl} = 3.95 \cdot 10^{-2} \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$ .

3. Черепанов О. А., Левин Л. А., Утюшев Р. Н. Связь билюминесценции с биомассой и численностью светящегося и всего планктона. 2. Черное море // Морск. экол. журн. (в печ.).

Поступила 22 октября 2004 г.

**Інтеркалібрування вимірників біолюмінесценції «Ромашка» і «Сальпа». О. О. Черепанов, Л. О. Левин, Р. М. Утюшев.** Теоретично розраховано коефіцієнт переходу від даних батифотометра «Ромашка» у ватах до даних батифотометра «Сальпа» у  $вт \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$ . Він дорівнює  $3.95 \cdot 10^{-2} \cdot см^{-2} \cdot л^{-1}$ . Експериментальні дані побічно підтверджують цей результат.

**Ключові слова:** біолюмінесценція, інтеркалібрування

**Intercalibration of bioluminescence meters "Romashka" and "Salpa". O. A. Cherepanov, L. A. Levin, R. N. Utyushev.** The conversion coefficient from data of bathyphotometer "Romashka" in Watts to the data of bathyphotometer "Salpa" in  $Wt \cdot cm^{-2} \cdot l^{-1}$  is theoretically calculated. It is equal to  $3.95 \cdot 10^{-2} \cdot cm^{-2} \cdot l^{-1}$ . The experimental data indirectly confirm this result.

**Key words:** bioluminescence, intercalibration