

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ
им. А. О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 98

ПРОВ 2010

Листо. 1980

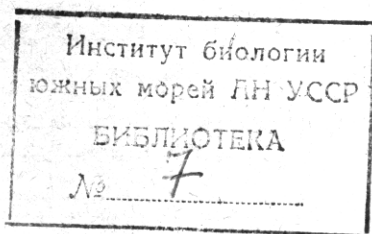
БИОЛОГИЯ МОРЕЯ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ СБОРНИК

Основан в 1965 г.

Выпуск 47

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДИЙСКОГО ОКЕАНА
И ЮЖНЫХ МОРЕЙ



КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА» 1978

Э. П. Битюков, В. И. Василенко,
Ю. Н. Токарев

О СПЕКТРАЛЬНОМ СОСТАВЕ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО ПОЛЯ В ЧЕРНОМ И СРЕДИЗЕМНОМ МОРЯХ И В АТЛАНТИЧЕСКОМ ОКЕАНЕ

Исследование спектрального состава биолюминесценции пелагических организмов и создаваемого ими суммарного светового поля интересно с теоретической и практической точек зрения, так как для совершенствования лова рыбы на свет и управления ее поведением с помощью светильников необходимо, чтобы источник света соответствовал спектральной характеристике биолюминесцентного поля [1, 3].

Спектрофотометрические исследования биолюминесценции отдельных видов обычно проводят в лабораторных условиях, где наряду с другими характеристиками определяют спектральный характер излучаемого ими света, пользуясь установкой со сменными интерференционными светофильтрами [12—14] или монохроматором и спектрофлуориметром [9, 10, 15]. Абсолютная интенсивность биолюминесценции на различных участках может значительно меняться. Спектр излучения выяснен для небольшого числа планктеров. Он сплошной, лежит в видимой области и у большинства биолюминесцентоов (*Noctiluca miliaris*, *Gonyaulax polyedra*, *Pyrodinium bahamense*, *Metridia lucens*, *Euphasia pacifica*) охватывает диапазон 420—580 нм с максимумом, приходящимся на 470—485 нм [9—15]. У других организмов, например *Vergoë ovata*, длинноволновая область более расширена, так что спектр охватывает область 415—650 нм, а максимум излучения сдвинут к 510 нм [12—14]. Таким образом, несмотря на общность диапазона и области нахождения максимума, существуют видовые особенности цветоизлучения биолюминесцентоов.

Видовая специфичность цветоизлучения, многообразие сочетаний состава и соотношений численности биолюминесцентоов затрудняют определение спектрального состава биолюминесцентного поля расчетным путем. Поэтому проводятся инструментальные измерения цветоизлучения непосредственно в море. Впервые такие работы выполнены Е. Кампа (Капра) и Б. Боденом (Boden) [10], использовавшим фотометр со сменными интерференционными фильтрами, которые помещались непосредственно перед иллюминатором. Полученная характеристика биолюминесценции имела пик на 478 нм, резко уменьшаясь в областях красного и голубого участков. Определение спектра занимало около часа, в течение которого изменялся состав планктона в исследуемом слое и, следовательно, интенсивность биолюминесценции. К сожалению, это изменение состава не учитывалось, поэтому при дальнейших расчетах было сложно определить, изменяется ли интенсивность выходного сигнала только от смены очередного светофильтра или зависит от общей флюктуации интенсивности биолюминесцентного поля.

Г. С. Карабышев [6, 7] предложил методику исследования оптических эффектов биолюминесценции, основанную на механическом возбуждении непосредственно в море. Оказалось, что в Красном море в верхнем 50-метровом слое спектр биолюминесценции представляет полосу, ширина которой не превышает 100 нм, а максимум приходится на 50 ± 20 нм [7]. Существенным недостатком применяемых при этом светофильтров явилась их полуширина, которая достигала 40 нм.

Особенностью применяемых фотометров было наличие только одного детектора, последовательно перекрывающегося светофильтрами. Поэтому о спектре быстропротекающих процессов, которые происходят в биолюминесцентном поле, эти приборы представляли неполную информа-

цию. Для повышения точности измерений в ИнБИОМ АН УССР разработан и изготовлен спектробаতিфотометр [4], впоследствии модернизированный. Окончательный вариант, обеспечивающий высокую точность и надежность в эксплуатации, представляет модификацию описываемого прибора с тремя световыми детекторами.

Аппарат состоит из спектробаতিфотометра, пульта управления и регистрирующих устройств. Контейнер спектробаতিфотометра диаметром 320 мм, высотой 800 мм рассчитан на погружение до 600 м. Определение

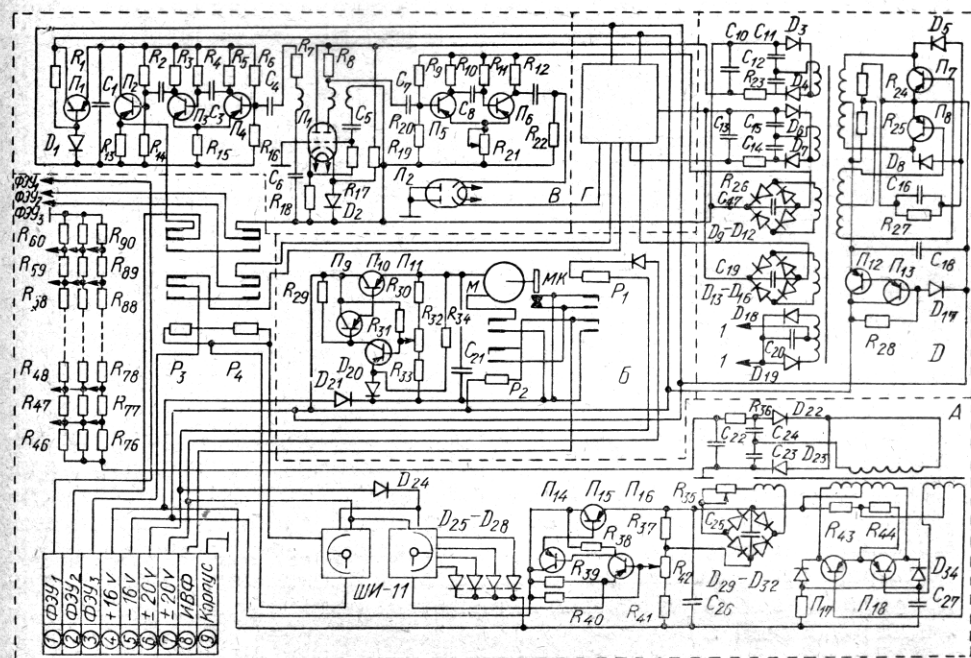


Рис. 1. Принципиальная схема спектробаতিфотометра:

А — блок питания ФЭУ; Б — блок вращения светофильтров; В — интегратор к ФЭУ₂ с фиксированным светофильтром; Г — интегратор спектрометрического ФЭУ₃; Д — блок питания интеграторов.

спектра осуществляется тремя детекторами, представленными сходными по параметрам фотоумножителями (ФЭУ-29), делители которых питаются от одного блока питания (рис. 1). При этом ФЭУ₁ регистрирует интегральную интенсивность, ФЭУ₂ с помощью фильтра $\lambda_{\max} = 484$ нм корректирует записи, полученные от ФЭУ₃, который через интерференционные светофильтры определяет спектральный состав. Для этого между illuminаторами и катодом ФЭУ₃ располагается диск со светофильтрами. Диск по кругу имеет 9 отверстий, которые при его фиксации находятся над катодом спектрометрического ФЭУ₃. В этих отверстиях располагаются 8 обойм со светофильтрами в порядке возрастания их длин волн λ . Девятое отверстие со светонепроницаемой заслонкой используется для определения порядка следования фильтров. На противоположной от него стороне диска имеется выступ, на котором укреплен радиолюминесцентный источник, являющийся реперной точкой для определения чувствительности интегрального детектора. Одновременно этот эталонный источник света выполняет функции отметчика установки светофильтра с длиной волны $\lambda_{\min}$.

Основными элементами цепи управления вращения диска являются реле времени, находящиеся в пульте управления, и система соединения редуктора электродвигателя с валом диска, осуществляемая с помощью «мальтийского креста».

Реле времени представляет мультивибратор на транзисторах, в коллекторной цепи одного из триодов которого имеется потенциометр, с по-

мощью которого можно изменять период колебания мультивибратора от 3 до 7 с, обеспечивающий вращение диска на один шаг. Поворот диска производится импульсом положительной полярности 20 В, который включает реле $P1$, находящееся в спектробатифотометре (рис. 1, Б). Через контакты реле $P1$ напряжение 16 В подается на реле $P2$, которое включает электродвигатель M и самоблокируется. Электродвигатель через «мальтийский крест» поворачивает диск на один шаг, и микровыключатель $МК$ размыкает цепь самоблокировки реле $P2$. Цикл измерений на 8 фильтрах занимает от 40 до 75 с, что вполне удовлетворяет требованиям измерений. Постоянную скорость вращения электродвигателя обеспечивает стабилизатор напряжения.

Таблица 1

Характеристики интерференционных светофильтров

Показатель	Номер фильтра							
	1	2	3	4	5	6	7	8
λ_{max} , нм	407	427	433	467	484	497	521	559
Полуширина, нм	7	11	11	11	12	9	10	8
T_{max} , %	28	28	25	23	38	29	32	24

В пульте управления расположена система индикации вращения светофильтров ИВФ, состоящая из шагового искателя, измерительного прибора и 9 лампочек, расположенных на передней панели. При смене светофильтра через контакты реле $P2$, находящегося в приборе, включается шаговый искатель, который индуцирует номер переключаемого светофильтра. Наряду с автоматическим вращением диска предусмотрено ручное управление для увеличения интервалов времени переключения светофильтров более 7 с.

При изучении спектра биолюминесцентного поля были использованы интерференционные фильтры, полоса пропускания которых приблизительно в 3 раза меньше, чем абсорбционных светофильтров [6] (табл. 1). Поскольку полоса пропускания интерференционных фильтров зависит от направления излучения, телесный угол, под которым снимается спектр, равен 0,2 стер. Распределение светового потока от отдельных биолюминесцентных, которые могут располагаться от нормали к плоскости фильтра до 15° , не вносит существенной ошибки, так как телесный угол 0,2 стер. соответствует плоскому углу примерно 30° .

Известно, что интенсивность биолюминесцентного поля значительно (до десятков раз) изменяется по вертикали. Поэтому в приборе предусмотрено дистанционное переключение чувствительности детектора на 2 порядка с помощью шагового искателя ШИ-11 и 4 опорных стабилизаторов (Д25—Д28) выпрямителя (рис. 1, А). Импульс отрицательной полярности в 20 В переключает шаговый искатель, который подключает один из стабилизаторов, в зависимости от чего напряжение на выходе выпрямителя может принимать следующие максимальные значения: 720, 920, 1040 и 1140 В. При таких напряжениях используемые ФЭУ обладали чувствительностью соответственно 10, 100, 500, 1000 А/лм. Для определения режимов чувствительности в пульте управления находится шаговый искатель и лампочки следящей системы.

Наличие отрицательной обратной связи между преобразователем и стабилизатором постоянных напряжений обеспечивает высокую стабильность коэффициента усиления фотоумножителей (до 0,1%). Это вызвано высокой чувствительностью усиления к изменениям питающих ФЭУ напряжений (степенная зависимость). Отрицательная обратная связь осуществляется с помощью специальной обмотки обратной связи на транс-

форматоре, мостиковой диодной схемы выпрямления и резистора R_{35} , которым регулируется глубина обратной связи.

Сигналы $\Phi\mathcal{E}Y_3$, работающего со сменными светофильтрами, и $\Phi\mathcal{E}Y_2$, измеряющего интенсивность биолюминесцентного поля с постоянным светофильтром, регистрируют двумя способами: непосредственной записью на светолучевом осциллографе Н-700 или автоматической записью сигналов в виде кодирующих импульсов (рис. 2). Интегратор производит измерение фототока от 0,1 мкА. При непосредственной записи минимальный сигнал увеличивают до 1 мкА. Для автоматической обработки используют двухканальный интегратор (рис. 1, В, Г), работающий по принципу

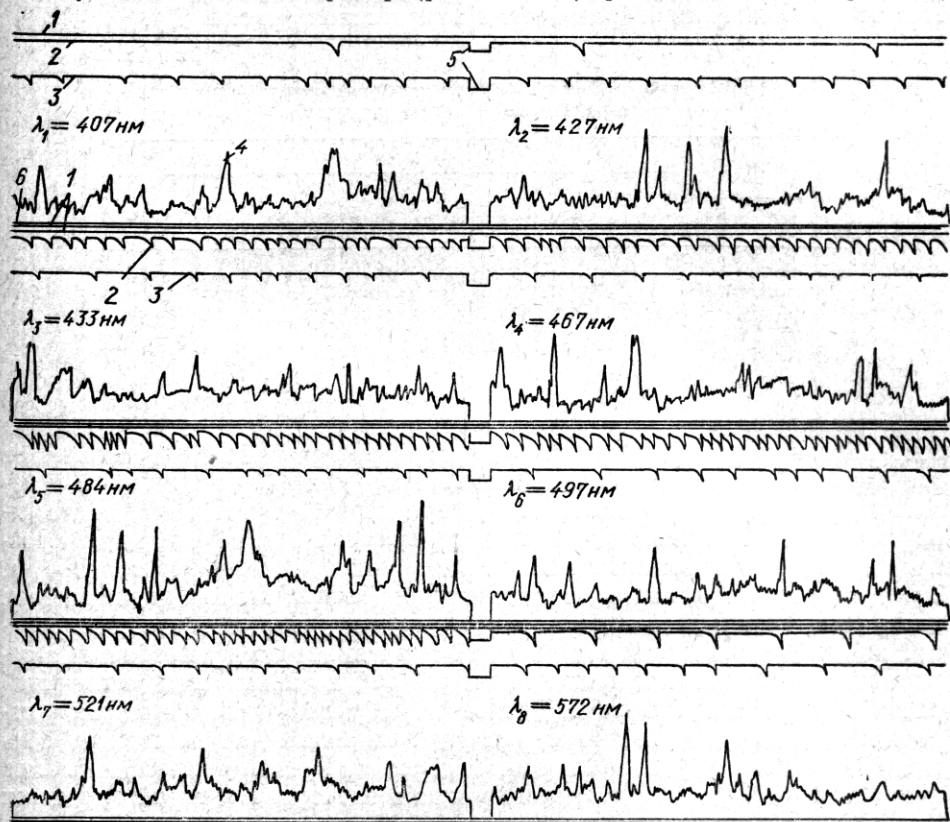


Рис. 2. Участки спектробафтограммы из моря Альборан:

1 — края спектрограммы; 2 — интенсивность в импульсном коде, записанная через сменные светофильтры; 3 — интенсивность в импульсном коде, записанная через фиксированный светофильтр; 4 — аналоговая запись интегральной интенсивности; 5 — контрольные метки смены светофильтров; 6 — базисная линия записи интегральной интенсивности.

компенсации заряда входной емкости C_6 , автоматически заряжающейся мультивибратором. Измеряемый ток, компенсируя заряд входной емкости, повышает потенциал сетки катодного повторителя ($L1$ — левая часть). При достижении потенциала на входной емкости 4В, срабатывает блокинг-генератор ($L1$ — правая часть), запускающий ждущий мультивибратор $P5$ — $P6$. Мультивибратор вырабатывает отрицательный импульс, который через емкость C_9 и зарядный диод $L2$ восстанавливает потенциал емкости C_6 . Частота срабатывания блокинг-генератора определяется силой фототока, компенсирующего заряд на входной емкости интегратора. При этом измеренный сигнал $I = nVC_9$, где n — число срабатываний блокинг-генератора, V — амплитуда зарядного импульса. C_9 — дозирующая емкость.

Измеренное значение силы фототока, преобразованное в число-импульсный код, снимается с анодной нагрузки в виде набора импульсов

длительностью 15 мкс. Эти импульсы воздействуют на коммутирующую схему, состоящую из ждущего мультивибратора ПЗ—П4 и катодного повторителя П2, которая формирует измерительный импульс для передачи в канал связи с последующей регистрацией на осциллографе Н-700.

Чувствительность интегратора регулируется изменением выходного напряжения зарядного устройства или дозирующей емкостью С9. Шкала интегратора линейна при измерении токов в диапазоне 0,1—100 мкА. Интегратор стабильно работает при измерении импульсных и медленно меняющихся токов, так как заряды, поступающие на входную емкость во время перезарядки С6, сохраняются. Питание интеграторов осуществляется от отдельного преобразователя напряжения (рис. 1, Д).

Таблица 2

Значения коэффициента a_λ , учитывающего неравномерность S_λ
и различные T_λ светофильтров

Показатель	Номер фильтра							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$\lambda_{\text{тах}}, \text{нм}$	407	427	433	467	484	497	521	559
$T_\lambda, \%$	28	28	25	23	38	29	32	24
a_λ	9,0	10,3	12,4	4,0	3,2	1,6	1,0	1,8

Серьезной задачей, которую приходится преодолевать при создании и использовании спектрометрической аппаратуры, является определение ее спектральной характеристики. Как известно, для выпускаемых ФЭУ известен квантовый выход по спектру, характерный для используемого типа фотокатода. Однако технология их изготовления обуславливает разброс спектральной характеристики. Она также не стабильна во времени. Эти обстоятельства, наряду с различными коэффициентами пропускания интерференционных светофильтров, затрудняют определение спектральной характеристики прибора расчетным путем. Поэтому необходима тарировка спектральной характеристики ФЭУ, а также всей оптической части спектробатифотометра. Для этого собрана фотометрическая установка с паспортизированным распределением энергии по спектру¹. Основным элементом установки является спектрофотометрическая лампа типа СИ-10-300, от определенного участка электрода которой определен спектральный состав светового протока. Из него с помощью монохроматора УМ-2 вырезались монохроматические пучки определенной интенсивности.

Для определения спектрального состава биолюминесценции E_λ необходимо знать оптическую характеристику прибора $\int S_\lambda T_\lambda d\lambda$, где S_λ — спектральная чувствительность ФЭУ, T_λ — спектральный коэффициент передачи светофильтров. При измерении E_λ сигналы J_λ , регистрируемые прибором, являются функцией E_λ и $\int S_\lambda T_\lambda d\lambda$, значение которых для каждого фильтра рассчитывали по калибровочным кривым (рис. 3).

Обработка данных о спектральном составе биолюминесцентного поля заключалась в сравнении средних интенсивностей сигналов спектрометрического ФЭУ₃ и ФЭУ₂, работающего с фиксированным светофильтром. Относительное спектральное распределение биолюминесценции определяли по формуле

$$E_\lambda = a_\lambda \frac{J_\lambda}{J_{\lambda_0}},$$

¹ В создании установки принимал участие сотрудник Крымской Астрофизической обсерватории АН СССР канд. физ.-мат. наук Э. И. Терез.

где a_λ — коэффициент, учитывающий неравномерность S_λ и различные T_λ ; $J = n_\lambda VC_9$ — интенсивность, измеренная через сменные светофильтры; $J_{\lambda_0} = n_{\lambda_0} VC_9$ — интенсивность, измеренная ФЭУ с фиксированным светофильтром. Коэффициент a_λ определяли при сравнении $\int S_\lambda T_\lambda d\lambda$ для каждого фильтра с фильтром, для которого общая чувствительность фотоприемной части наибольшая (табл. 2). Величина VC постоянна и определяется особенностями интеграторов; измерительные импульсы n_λ и n_{λ_0} подсчитывали по спектробатифотограмме.

После определения E_λ светофильтров строится кривая спектрального состава биолюминесцентного поля, при этом вводится поправка на аст-

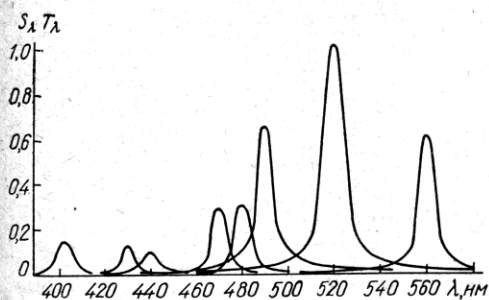


Рис. 3. Спектральная характеристика спектробатифотометра.

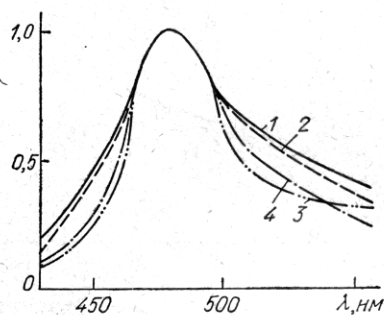


Рис. 4. Спектральный состав биолюминесцентного поля на глубине 10 м в районе Севастополя в марте (3), апреле (1), мае (2) и ноябре (4).

рономическую составляющую фона, которая вычисляется по сигналам интегрального ФЭУ.

Спектрофотометр для измерения спектрального состава биолюминесцентного излучения на несущем тресе опускали на выбранные горизонты и выдерживали на протяжении нескольких циклов смены всех светофильтров перед спектрометрическим ФЭУ. Такая методика используется в ситуациях, когда по вертикали наблюдаются светящиеся слои, сигнал от которых оказывается достаточным для спектроскопии. В тех случаях, когда возбуждение биолюминесцентных от находящегося на горизонте прибора незначительно для регистрации (например, в экваториальной части Атлантического океана), запись сигналов производится при зондировании 10-15-метрового слоя с наибольшим свечением. В Черном море помимо этих измерений проводили регистрацию при буксировке прибора со скоростью 2 узла на глубине 10 м.

Систематические измерения спектрального состава биолюминесцентного поля начаты с осени 1968 г. Работы проводились в районе Севастополя, акватории Южного берега Крыма, в северо-западной части Черного моря, а также в Средиземном море и в Атлантическом океане. Основной материал получен на станции в районе Севастополя при выдерживании на горизонтах и буксировке спектробатифотометра на глубине 10 м.

Максимум свечения биолюминесцентного поля в Черном море приходится на 480 нм и остается неизменным на протяжении всего года (рис. 4), хотя сезонные изменения интенсивности биолюминесценции характеризуются здесь двумя максимумами — весенним, приходящимся на май—июнь, и осенне-зимним [2]. Распределение энергии биолюминесцентного поля в коротковолновой и длинноволновой частях спектра непостоянно, меняясь в разные сезоны и по глубине, что связано с изменениями состава биолюминесцентных и их развития.

На изменение спектрального состава биолюминесцентного поля оказывают влияние астрономический фон и освещенность, создаваемая сигнальными огнями судна. Поэтому одной из задач анализа спектробастифототграмм верхних слоев являлось выделение свечения от посторонней засветки. С этой целью измерен ее спектральный состав (рис. 5). Кривая, показывающая зависимость спектрального распределения интенсивности светового поля на глубине 1 м от астрономического фона и посторонней засветки, сравнительно монотонно возрастает от 410 до 500 нм, поднимаясь более резко в длинноволновой области. Сравнивая спектральные

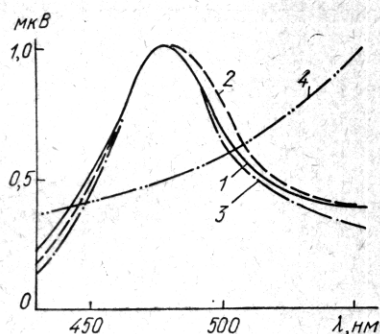


Рис. 5. Спектральный состав биолюминесцентного поля у Южного берега Крыма в декабре на глубине 10 (1), 20 (3) и 30 м (2) и спектральный состав астрономического фона и освещенности, создаваемой кораблем на глубине 1 м (4).

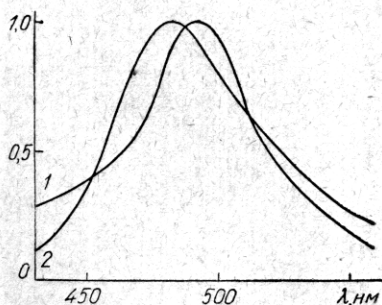


Рис. 6. Спектральный состав биолюминесцентного поля в экваториальной Атлантике (1) и море Альборан (2).

составы биолюминесцентного поля и посторонней засветки, можно сделать вывод, что в пределах нахождения максимума биолюминесценции световой фон не оказывает влияния на точность эксперимента. Из этого рисунка также следует, что спектральный состав биолюминесцентного поля по вертикали оказывается сходным, поскольку в период осенне-зимней гомотермии в верхней 30-метровой толще в распределении планктона существенных различий не наблюдается.

В Средиземном море и в Атлантическом океане спектральный состав биолюминесцентного поля определялся во время 24-го и 25-го совместных рейсов НИС «Михаил Ломоносов» и рейса ГИС «Березань». В Средиземном море работы велись в марте в Лионском заливе, южнее Балеарских островов в августе и у о. Альборан в сентябре 1970 г. Около о. Альборан и южной оконечности о. Сардиния исследования выполнены также в апреле 1972 г. В Атлантическом океане измерения спектра биолюминесцентного поля проведены в экваториальной части (5° ю. ш. и 24° з. д.) в марте и около Канарских о-вов в сентябре 1970 г. (рис. 6). Регистрацию спектра биолюминесцентного поля вели при выдерживании спектробастифотометра на горизонтах, где было наиболее сильное свечение или при зондировании слоя с наибольшим свечением. В Средиземном море и в экваториальной части Атлантического океана слой с максимумом биолюминесценции находились на глубинах 40—50 м, а в районе Канарских о-вов — 90 м.

Максимум спектрального состава биолюминесцентного поля приходился в Средиземном море на 480 нм, а в экваториальной части Атлантического океана смещен в длинноволновую область на 10 нм (рис. 6). Параллельными исследованиями показано, что состав основных биолюминесцентных в этих районах сходен и представлен следующими видами: *Pyrocystis pseudonociluca*, *Pleuromamma abdominalis*, *P. gracilis*,

P. borealis, *Lucicutia flavicornis*, *Oncaea conifera*, *Conchaecia obtusata*. В связи с отсутствием данных о видовой специфичности спектрального состава светового излучения пока нет возможности интерпретировать эти различия. Следует отметить, что в спектральный состав биолюминесцентного поля этих районов входит коротковолновая часть, короче 420 нм, которая не была обнаружена при измерении спектра у отдельных биолюминесцентных при лабораторных исследованиях. Такая особенность отмечена также Е. Кампа (Камра) и Б. Боденом (Boden) [11]. Поскольку эти измерения проводили ночью на глубине около 100 м прибором, располагающимся иллюминатором вниз, нет оснований полагать, что причиной подъема кривой в области 400 нм является астрономический фон, так как он оказывается исчезающе мал по сравнению с биолюминесценцией. Поэтому необходимо спектрофотометрическими измерениями светового излучения охватить более широкий список биолюминесцентных, имея в виду, что среди них могут оказаться виды, генерирующие свет в более коротковолновой области.

Важной характеристикой состава излучаемого биолюминесцентными света и его суммарного эффекта в толще воды является кривая, описывающая этот состав. В связи с этим полезно ввести показатель эффективной широты и показатель наклона кривой излучения. Первый определяется шириной спектрального интервала на уровне 0,5 максимума. Наклон спектральной кривой излучения соответствует наклону касательной, проведенной в точке пересечения кривой с уровнем 0,5 максимума или других информативных ее точек.

Таблица 3

Основные характеристики спектра поля биолюминесцентного излучения

Характеристика	Черное море				Атлантический океан	Средиземное море
	Март	Апрель	Май	Ноябрь		
Максимум излучения, нм	480	480	480	480	490	480
Эффективная широта излучения, нм	464—506	453—531	455—524	460—513	462—522	455—527
Доля энергии в эффективной широте излучения (%) над 0,5 амплитуды	18,2	20,4	21,6	20,5	18,8	31
Доля энергии излучения в области 450—550 нм (%)	85,4	79,8	87,5	83,8	80,1	77
Наклон спектральной кривой, град	влево от максимума	70	62	63	74	46
	вправо от максимума	49	28	32	40	58
						45

В спектробаতিфотометре для длинноволновой области имеются светофильтры с максимумом пропускания на 559 нм и при некоторых измерениях на 606 нм. Однако через последний светофильтр ни разу сигнал зарегистрирован не был. Поэтому кривые не доводили до пересечения с осью абсцисс именно в этой точке, предполагая, что диапазон излучения в длинноволновой области оказывается меньшим, так же, как и в коротковолновой. Если на рис. 4 и 6 продолжить эти кривые до пересечения с осью абсцисс соответственно на 606 и 309 нм, то с помощью планиметрирования можно получить ряд сведений. Эти сведения вместе с характеристиками эффективной широты излучения и наклона спектральной кривой помещены в табл. 3.

И. И. Гительзон с соавторами [5] приходят к выводу, что более 80% энергии излучения сосредоточено в области между 450 и 550 нм, т. е. свечение имеет голубой или сине-зеленый цвет. Это подтверждается и дан-

ными табл. 3. Однако эффективная широта излучения биолюминесценции в области синего (450—480 нм) и голубого (480—510 нм) участков полностью перекрывает протяженность 0,5 максимума спектральной кривой, в то время как на зеленом участке (510—550 нм) она занимает только незначительную часть.

В Черном море длинноволновая область спектра биолюминесценции более полого опускается к оси абсцисс. Касательные, проведенные в точке пересечения кривых спектральной характеристики для различных горизонтов с уровнем 0,5 их максимума, составляют угол от 28 до 49°. В экваториальной части Атлантического океана кривая снижается более круто — под углом 58°.

Обратная картина наблюдается в коротковолновой области. В Черном море спектр идет под углом 62—74°, т. е. более круто по сравнению со спектром изученного района Атлантики, наклон составляет всего 46°. Эти изменения связаны с развитием и составом биолюминесцентных, у которых спектральный состав высвечивания может быть отличен [14]. Действительно, в марте в Черном море, когда видовое разнообразие биолюминесцентных невелико, эффективный диапазон излучения узкий (38 нм) и кривая спектрального состава излучения к длинноволновой и коротковолновой областям снижается более резко, под углами 49 и 70°.

Излучение биолюминесцентных вспышек и составляемое ими световое поле концентрируется в синей и голубой областях. Излучение оказывается весьма эффективным для распространения в воде, поскольку его максимум и максимум пропускания исходящего светового потока оказываются близкими.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюков Э. П. Биологическое обоснование спектральной характеристики источников света, используемых при ловле рыбы.— Рыб. хоз-во, 1967, № 4, с. 13—15.
2. Битюков Э. П. Биолюминесценция в Атлантическом океане и морях Средиземного бассейна.— В кн.: Проблемы морской биологии. К., 1971, с. 251—257.
3. Битюков Э. П. О причине привлечения рыб светом и обоснование спектральной характеристики используемых рыболовных светильников.— Биология моря, К., 1973, вып. 31, с. 116—135.
4. Василенко В. И., Токарев Ю. Н. Спектробатифотометр для исследования биолюминесцентного поля в море.— Материалы обл. конф. молодых ученых Крыма. Симферополь, 1969, с. 42—43.
5. Гительзон И. И., Дегтярев В. И., Левин Л. А., Утюшев Р. Н., Шевырнов А. П., Чумакова Р. И., Филимонов В. С. Биолюминесценция моря. М., Наука, 1969. 183 с.
6. Карабышев Г. С. Фотометр для исследования спектральных функций ослабления облученности в море.— Океанология, 1966, 6, вып. 5, с. 886—891.
7. Карабышев Г. С. К методике фотометрического исследования биолюминесценции в море.— Океанология, 1969, 9, вып. 6, с. 1100—1107.
8. Boden B. P., Kampa E. M. Records of bioluminescence in the ocean.— Pacif. Sci., 1957, 2, p. 229—235.
9. David C. N., Conover R. J. Preliminary investigation on the physiology and ecology of luminescence in the copepod, *Metridia lucens*.— Biol. Bull., 1961, 121, p. 92—107.
10. Kampa E. M., Boden B. P. Light generation in a sonic-scattering layer.— Deep Sea Research, 1956, 4, p. 73—92.
11. Hastings J. W., Sweeney B. M. The luminescent reaction in extracts of the marine dinoflagellate, *Gonyaulax polyedra*.— J. Cell. and Compar. Physiol., 1957, 49, N 2, p. 209—225.
12. Nicol J. A. C. Observations on luminescence in pelagic animals.— J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 1958, 37, N 3, p. 705—752.
13. Nicol J. A. C. Observations on luminescence in *Noctiluca*.— J. Mar. Biol. Assoc. U. K., 1958, 37, N 3, p. 535—549.
14. Nicol J. A. C. Animal luminescence.— Adv. Comp. Physiol. and Biochem., 1962, 1, p. 217—273.
15. Soli G. Bioluminescent cycle of photosynthetic Dinoflagellates.— Limnol. and Oceanogr., 1966, 11, N 3, p. 355—363.

Институт биологии южных морей
им. А. О. Ковалевского

Поступила в редколлегию
19.09.77

E. P. Bitjukov, V. I. Vasilenko,
Ju. V. Tokarev

ON SPECTRAL COMPOSITION OF BIOLUMINESCENT FIELD IN THE BLACK AND MEDITERRANEAN SEAS AND IN THE ATLANTIC OCEAN

Summary

The bioluminescent field spectrum is determined by means of a spectrobathyphotometer with three detectors. The spectrum maximum in the Black sea and in the tropical Atlantic is at 480 nm, the efficient band width at the level of 0.5 of the maximum being from 460 to 515 nm, and in the Mediterranean sea it is 10-15 nm shifted towards long-wave region. Spectrum composition of bioluminescent field is determined by species specificity of light emission of the studied bioluminescents and by their amount.

УДК 591.524.12:551.463.26

Э. П. Битюков, А. П. Иванова

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРОПЛАНКТОНА ЗВУКОРАСSEИВАЮЩИХ СЛОЕВ В СРЕДИЗЕМНОМ МОРЕ

Известно, что макропланктон не только существенный элемент структуры пелагического сообщества, но является также серьезной помехой при работе акустических приборов. Однако о составе и развитии макропланктона и его влиянии на распределение звука в морях Средиземноморского бассейна собрано мало сведений. В основном они относятся к Адриатическому морю, где помимо регистрации звукорассеивателей с помощью эхолокации собирали пробы сетью Нансена [8]. В центральной и западной частях Средиземного моря проведены исследования распределения звукорассеивающих слоев, которые могут дать лишь частичную информацию об обилии макропланктона этих районов [3, 6, 7]. В связи со слабой изученностью макропланктона в качестве первого этапа работ была поставлена задача выявления общих черт его состава и количества в некоторых районах восточной и центральной частях Средиземного моря. Исследования проведены в осеннее время 1974 и 1976 гг. в 75-м и 80-м рейсах НИС «Академик А. Ковалевский» (табл. 1).

Макропланктон собирали при помощи 4-метровой модели разноглубинного трала Айзекса — Кидда, оснащенного капроновой делью с размером ячейки 4 мм. Методика вывода трала на нужную глубину описана ранее [4]. Продолжительность траления составляла 30 мин. Объем воды, обловленной тралом, оценивали на основании площади входного отверстия, скорости судна (3,5 узла) и продолжительности траления. Траление проводили в ночное и дневное время на 7 полигонах, на которых собрано 67 проб. Идентифицированных животных, выловленных тралом, измеряли и взвешивали. Определение рыб выполнила Э. М. Калинина. Полученный материал характеризует вертикальное распределение макропланктона в дискретных, сравнительно узких (до 15 м) слоях по показаниям бескабельного измерителя глубины погружения трала типа «Ленинград».

Наряду с этими работами определяли топографию звукорассеивающих слоев с помощью прецизионного самописца ФТАК «Ладога», подключенного к эхолоту НЭЛ-6 [3]. Оказалось, что в Средиземном море наиболее четко звукорассеивающие слои представлены в Ионическом и юго-восточной части Тирренского морей. На остальных участках этого бассейна интенсивность локации при фиксированной частоте 10 кГц была незначительной. Звукорассеивающие слои регистрировались только в ночное и сумеречное время. После захода солнца звукорассеивающий слой формировался на глубине 200—300 м; с усилением темноты он