

О ПОДВОДНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ

Инж. О. Н. СОКОЛОВ

Свет, его интенсивность и спектральный состав играют большую роль в жизни различных организмов, в том числе и населяющих море. Без участия света невозможны нормальное развитие многих организмов, фотосинтез и другие важные жизненные процессы. Со световыми явлениями связаны многие важнейшие функции и инстинкты различных живых организмов (например, питание и стайное поведение).

Известно, что подавляющая часть хищных и планктоноядных рыб, населяющих верхние слои пелагиали, имеет хорошо развитый зрительный аппарат и питается в светлое время суток, используя зрение для обнаружения пищи. Даже для глубоководных обитателей моря, живущих в зоне вечной темноты, свет играет большую роль. Глубоководные рыбы и другие животные часто имеют «искусственные» источники света в виде светящихся частей тела, которые служат им для различных жизненных функций.

Некоторые виды рыб имеют ярко выраженную положительную реакцию на искусственные источники света. На базе этого возник новый промышленный способ лова, при котором используют подводное электроосвещение для создания искусственных скоплений рыбы.

Знание светового режима моря очень важно при изучении поведения рыб в естественных условиях, так как свет часто является сигналом к проявлению ими некоторых врожденных рефлексов. Например, вероятно, в связи со сменой дня и ночи, т. е. с изменением световых условий, происходят суточные миграции рыб и меняется их стайное поведение. А эти явления, в свою очередь, определяют способ и методику добычи рыбы.

Видит или не видит рыба сеть? На этот вопрос нельзя ответить без изучения оптических свойств среды и светового режима водоема, а также без знания особенностей аппарата зрения рыб.

Вопросы количественного учета световых явлений в море приобретают для работников рыбной промышленности большое значение.

Однако в практике часто недооценивают значения учета подводной освещенности при изучении поведения и добычи рыбы или пользуются грубой качественной оценкой света на глаз. Последнее может вредно отразиться на качестве проводимых исследований. Настоящая статья имеет целью обратить внимание на это обстоятельство и содержит краткий материал по подводной освещенности.

Естественная освещенность какой-либо плоскости¹ на любой глубине зависит от освещенности поверхности моря, характера этой освещенности и от оптических свойств самой воды. Освещенность поверхности моря создается: 1) прямым солнечным или лунным светом и 2) рассеянным светом от облаков и атмосферы. Для определения освещенности

¹ В дальнейшем будем говорить об освещенности горизонтальной плоскости сверху.

поверхности моря, создаваемой прямым солнечным светом, можно построить график зависимости освещенности от высоты солнца над горизонтом. Такой график на основании большого числа измерений был построен В. В. Шулейкиным [12]. Для определения освещенности, создаваемой рассеянным светом, исчерпывающих графиков или таблиц составить нельзя из-за возможных разнообразных комбинаций облачности и состояния погоды. Но для некоторых вариантов облачности это возможно.

На рис. 1 приведен график для определения освещенности от прямых солнечных лучей (кривая *S*) и рассеянного света от абсолютно чистого неба (кривая *N*). За единицу была принята освещенность горизонтальной плоскости земной поверхности солнцем, находящимся в зените. Чтобы перейти от относительных величин к абсолютным значениям освещенности, нужно умножить относительную величину на коэффициент 140 000 люкс, так как освещенность от солнца, находящегося в зените, равна этой величине.

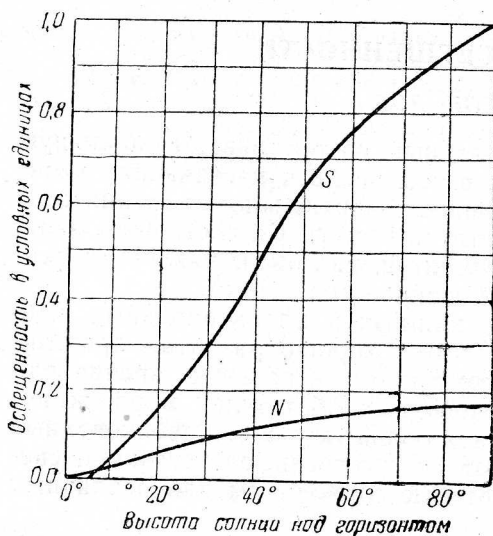


Рис. 1. График для определения освещенности поверхности моря от прямых солнечных лучей и рассеянного света от абсолютно чистого неба (по В. В. Шулейкину).

Если солнце полностью закрыто облаками, то освещенность поверхности моря создается только рассеянным светом. Для определения освещенности в случаях однородной облачности можно воспользоваться кривыми, построенными по таблицам Н. Н. Калитина [8] (рис. 2).

Из вышеизложенного видно, что при безоблачном небе и при небе, полностью закрытом облаками, можно соответственно воспользоваться для ориентировочного определения освещенности поверхности моря кривыми, изображенными на рис. 1 и 2. Если солнце или небо лишь частично закрыты облаками, то пользоваться указанными кривыми нельзя. В этом случае для определения освещенности необходимо применить люксметр.

Для сравнения освещенности в некоторых практических случаях приведем следующие общеизвестные данные.

Характер освещенности	Величина освещенности в люксах
На открытом месте летом в полдень в ясный день на солнце	100000—140000
На открытом месте снаружи без солнца	1000
Минимально необходимая для канцелярской работы	20
При полной луне, близкой к зениту,	0,2
От ночного неба без луны	0,0003

Как известно, излучения солнца достигают поверхности моря, пройдя через толщу атмосферы. При этом они, естественно, претерпевают изменения как количественные, так и качественные. В атмосфере содержатся различные газы, избирательно поглощающие излучения волн различной длины и превращающие их в тепло. Так, например, озон поглощает всю ультрафиолетовую радиацию с длиной волны короче 0,3 мк, а водяные пары сильно поглощают красную и инфракрасную радиацию.

Поглощение световой энергии атмосферой в видимой части спектра невелико и не превышает 1%. Поэтому есть основания считать, что органы зрения организмов, живущих в море, приспособлены к восприятию именно видимой человеческим глазом части спектра, так как удельный вес этой части велик по сравнению с другими.

Благодаря избирательному поглощению света толщей воды спектральный состав света, вошедшего в воду, меняется: поглощается почти вся красная часть спектра и значительно ослабляется фиолетовая. Вследствие этого весьма вероятно, что максимум спектральной чувствительности глаза рыбы лежит в сине-зеленой части спектра.

Световой поток, упавший на поверхность моря, распадается на две составляющие: часть света отразится от этой поверхности, а часть после преломления войдет в воду. Соотношение между этими частями зависит от угла падения лучей света на поверхность моря, т. е. от положения солнца над горизонтом. В особенности это важно при рассмотрении проникновения в воду прямых солнечных лучей. Так, при положении солнца в зените под поверхность моря проникает 98% света, а при положении солнца на горизонте весь падающий от солнца свет отражается (рис. 3) [12].

Рассеянная от атмосферы и облаков радиация попадает на каждый элемент поверхности моря под разными углами.

Расчет, проведенный А. А. Гершуном [4], показывает, что в глубь зеркально спокойного моря при равномерной яркости неба входит 93% рассеянной радиации.

Другим важным фактором, влияющим на соотношение входящих в море и отражен-

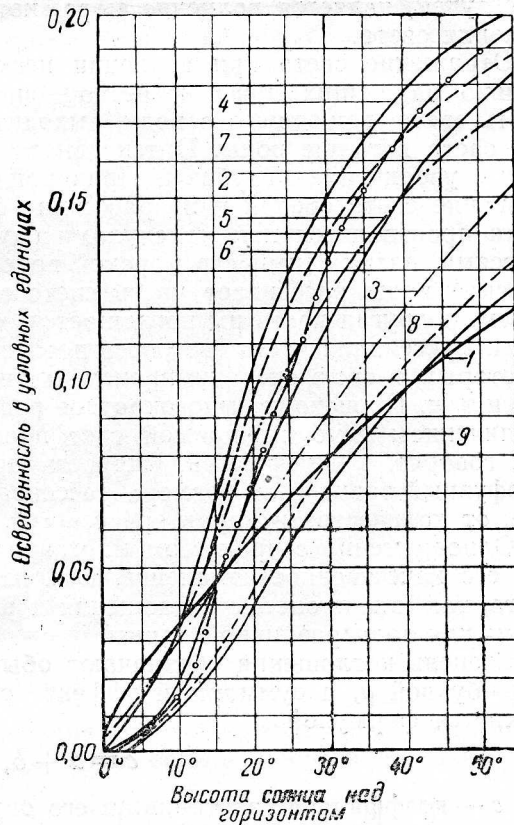


Рис. 2. Кривые для определения освещенности от однородных облаков при различных положениях солнца над горизонтом:

1—для рассеянного света от абсолютно чистого неба; 2—для перистых и перисто-слоистых облаков; 3—для перисто-кучевых облаков (барашков); 4—для верхне-кучевых облаков; 5—для верхне-слоистых облаков; 6—для слоисто-кучевых облаков; 7—для грозовых облаков; 8—для низких слоистых облаков; 9—для дождевых облаков. Переходный коэффициент 140000 люкс.

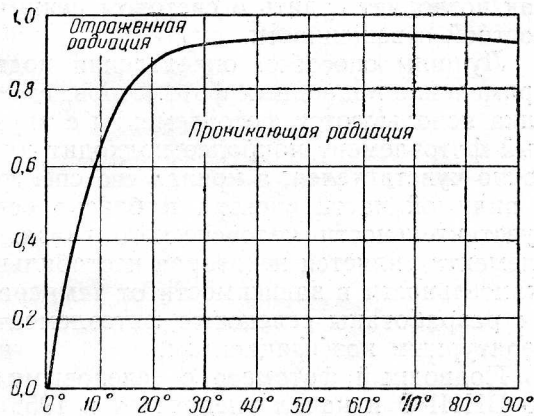


Рис. 3. Кривая соотношения проникающей в воду и отраженной радиации для прямых солнечных лучей (по В. В. Шулейкину).

ных лучей, является волнение моря, которое меняет коэффициент отражения света.

Отражение света при волнении несколько увеличивается для нормально падающих лучей и резко снижается для наклонных лучей. Часть света, вошедшего в воду, выходит обратно в результате рассеяния света в толще воды. Интенсивность вошедшего в воду света убывает с увеличением глубины. Причиной являются два фактора: 1) поглощение света средой и 2) рассеяние света. Поглощение и рассеяние света производится как молекулами самой воды, так и различными взвесями, находящимися в морской воде. Каждый элементарный объем морской воды рассеивает часть светового потока, попавшего на этот объем, а другая часть им поглощается, т. е. расходуется на нагревание воды. Рассеянная часть светового потока попадает на соседние объемы, в которых, в свою очередь, происходит вторичное поглощение и рассеяние и т. д. Происходит многократное рассеяние света, вследствие чего с увеличением глубины прямой свет превращается в рассеянный, или, как говорят, в диффузный. Скорость превращения прямого света в диффузный зависит от размера рассеивающих частиц и их количества, т. е. от количества и характера взвесей, находящихся в воде.

Одновременно с процессом многократного рассеяния света происходит его качественное изменение, т. е. изменение спектрального состава света, так как процессы поглощения и рассеяния являются избирательными для волн различной длины.

Степень поглощения обозначают обычно буквой a , степень рассеяния — буквой b , а суммарный эффект ослабления или экстинкции выражается формулой

$$c = a + b,$$

где c — коэффициент экстинкции; его определяют лабораторным путем, сравнивая световой поток пропущенного пучка света со световым потоком пучка, направленного на трубку с пробой воды.

Для характеристики прозрачности воды часто пользуются не коэффициентом экстинкции c , а коэффициентом γ вертикального ослабления света в морской воде. Коэффициент γ в отличие от коэффициента c учитывает многократное отражение света, происходящее в толще воды. Этот коэффициент можно получить практически, измерив подводным фотометром ослабление освещенности слоем воды толщиной 1 м. Физический смысл коэффициента γ — удельное ослабление света морской водой. Для практики исследований этот коэффициент очень важен, так как позволяет судить о световом режиме глубин при известной поверхностной освещенности.

Лучшим способом определения подводной освещенности является применение подводных фотометров, где в качестве чувствительного датчика используются фотоэлементы с внутренним фотоэффектом. Селеновый фотоэлемент наиболее подходит для этих целей, так как он достаточно чувствителен, а кривая его спектральной чувствительности лежит в видимой части спектра и близко совпадает с кривой спектральной чувствительности человеческого глаза. Недостатком селенового фотоэлемента является некоторая нестабильность в работе и изменение чувствительности в зависимости от температуры. Однако в настоящее время разработаны селеновые фотоэлементы с практически нулевым температурным коэффициентом.

Подводный фотометр с селеновыми фотоэлементами был построен во ВНИРО и начал внедряться в 1955 г. (рис. 4). Он состоит из герметического датчика с тремя параллельно соединенными селеновыми фотоэлементами, расположенными в плоскости диска. Из центра круглого датчика через водонепроницаемый сальник выходит кабель, кото-

рый соединяется с измерительным прибором. В качестве измерительного прибора использован чувствительный уравновешенный магнитоэлектри-

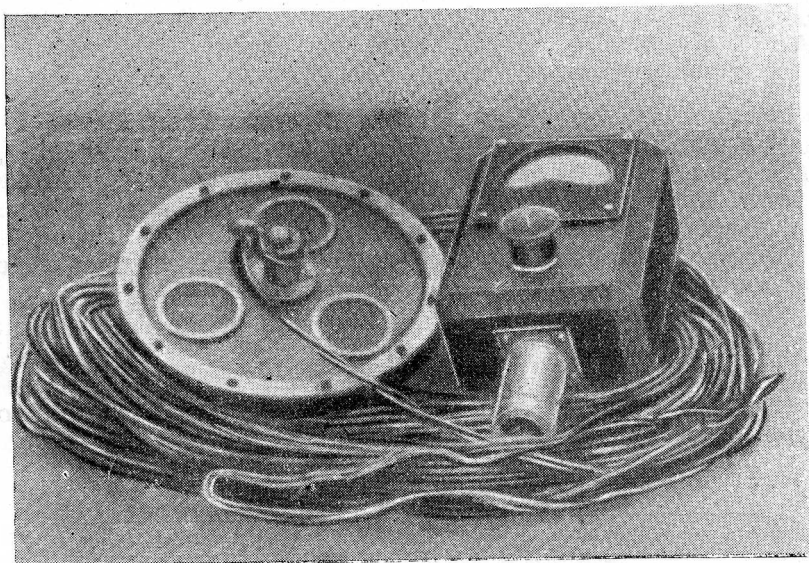


Рис. 4. Подводный фотометр ВНИРО.

ческий микроамперметр. Качка судна мало влияет на показания такого прибора. Для обеспечения измерения освещенности в широких пределах имеется переключатель диапазонов, с помощью которого можно менять величину шунтирующего микроамперметр сопротивления. Такая схема переключения диапазонов измерения освещенности имеет тот недостаток, что при больших естественных освещенностях на фотоэлементы попадает слишком много света, а это вредно отражается на свойствах фотоэлементов. Так, например, при больших освещенностях поверхности фотоэлемента его фототок становится нелинейно зависящим от изменения освещенности, а это понижает точность измерений.

В настоящее время разрабатывается система подводных фотометров со сменными нейтральными светофильтрами, ослабляющими засвет фотоэлементов.

На рис. 5 приведены кривые ослабления подводной освещенности с глубиной, измеренные подводным фотометром ВНИРО.

Опыты показывают, что освещенность горизонтальной плоскости в первом приближении меняется с глубиной по экспоненциальному закону. Можно записать:

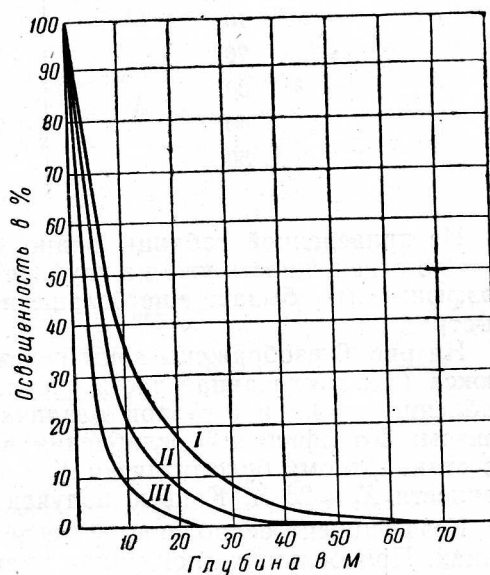


Рис. 5. Кривые ослабления естественной освещенности по мере увеличения глубины, полученные:

I—в одном из районов вблизи Анатолийского побережья Черного моря; II—в районе банки Викинг в Норвежском море; III—в районе килечного промысла у Кзыл-Узень на Каспийском море.

$$E_x = E_0 e^{-\gamma x},$$

где E_0 — освещенность под водой на глубине 0 м;
 E_x — освещенность на глубине x м;
 γ — коэффициент вертикального ослабления, который имеет размерность 1/м (обратные метры).

Таким образом, зная коэффициент удельного ослабления и естественную освещенность под поверхностным слоем воды E_0 , можно рассчитать освещенность на любой глубине при достаточной однородности слоев воды. Если поверхностные слои воды изобилуют планктоном и другими взвесями, то освещенность на больших глубинах можно подсчитать, измерив освещенность на какой-то сравнительно небольшой глубине, начиная с которой γ становится постоянной.

Рассчитаем подводную освещенность для среды с коэффициентом ослабления $\gamma=0,3$ и наружной освещенностью 100 000 люкс (см. таблицу). Эти условия могут иметь место на Балтийском море летом в безоблачный день около полудня. Будем считать, что 10% светового потока отражается от поверхности моря.

Освещенность под водой

Глубина в м	Освещенность	
	в люксах	в % к наружной освещенности
0 (над водой)	100000	100
0 (под водой)	90000	90
10	4470	4,4
20	223	0,22
30	11	0,011
40	0,55	0,00055
50	0,027	0,000027

Из приведенной таблицы видно, что при коэффициенте ослабления $\gamma=0,3$ освещенность уже на глубине 10 м составляет 4,4%. Очень часто коэффициент γ бывает еще больше и освещенность убывает с глубиной быстрее.

На рис. 6 изображены зоны перехода освещенности от 0,01 до 0,001 люкса (заштрихованная часть рисунка) для сред с коэффициентом ослабления $\gamma=0,2$ и 0,15 при различных положениях солнца над горизонтом. Коэффициент ослабления $\gamma=0,2$ соответствует прозрачности по стандартному белому диску $X_c \approx 12$ м, а $\gamma=0,15$ соответствует прозрачности $X_c \approx 25$ м. Кривые получены расчетным путем.

Коэффициент ослабления γ не всегда постоянен на различных глубинах. При больших скоплениях планктона и других взвесей это непостоянство особенно заметно. На рис. 7 приведена кривая изменения коэффициента γ с глубиной. В данном случае он вычислен по кривой хода подводной освещенности, полученной с помощью подводного фотометра в районах сельдяного промысла в Северной Атлантике.

Метод вычисления коэффициента γ по кривой хода подводной освещенности можно предложить для изучения распределения планктона в открытом море, где отсутствуют взвеси, поднятые с грунта.

Как указывают некоторые исследователи, существует определенная связь между коэффициентом ослабления γ и глубиной исчезновения стандартного белого диска. Оказывается, что произведение γX_c (где

X^2 — глубина исчезновения стандартного белого диска) является величиной постоянной в первом приближении. Это нашли Аткинс и Грехем при исследовании Северного моря, и теоретически это подтверждает В. В. Шулейкин [4, 12].

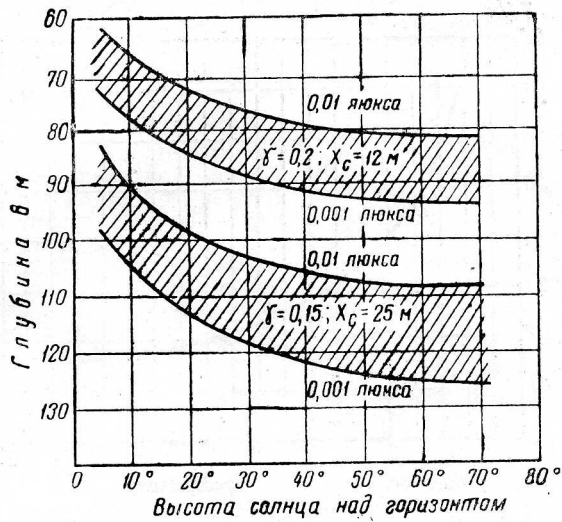


Рис. 6. Значения подводной освещенности 0,01 и 0,001 люкса в зависимости от глубины и высоты солнца над горизонтом при безоблачном небе для воды с коэффициентом $\gamma=0,2$ и $\gamma=0,15$.

На рис. 8 изображена зависимость между коэффициентом ослабления γ и прозрачностью по стандартному белому диску X_c , найденная Аткинсом и Грехемом. Пользуясь этой зависимостью, кривыми на

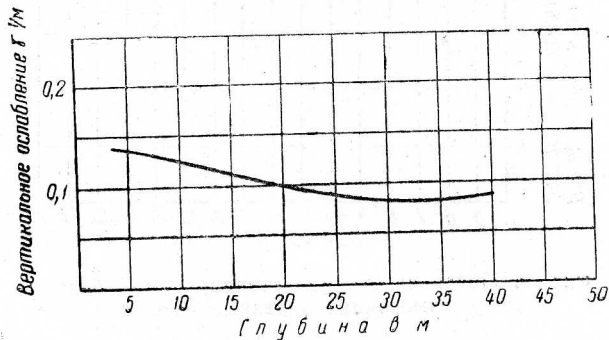


Рис. 7. Изменение коэффициента γ с глубиной (для района сельдяного промысла в Северной Атлантике).

рис. 1—3 и экспоненциальным законом ослабления освещенности с увеличением глубины, можно ориентировочно определить естественную освещенность на любой заданной глубине, имея лишь стандартный белый диск. Пользоваться стандартным белым диском для определения прозрачности можно при освещенностях поверхности моря, лежащих в широких пределах. Для иллюстрации приведем данные, полученные автором в районе Кзыл-Узень на Каспийском море, когда судно в течение дня стояло на якорю и через каждый час делались замеры прозрачности по белому диску (рис. 9).

Из приведенного графика видно, что показания прозрачности по

стандартному белому диску не меняются в течение дня в зависимости от изменения наружной освещенности. Метод определения подводной освещенности косвенным путем неприменим, когда γ сильно меняется на различных глубинах, например во время цветения планктона и в

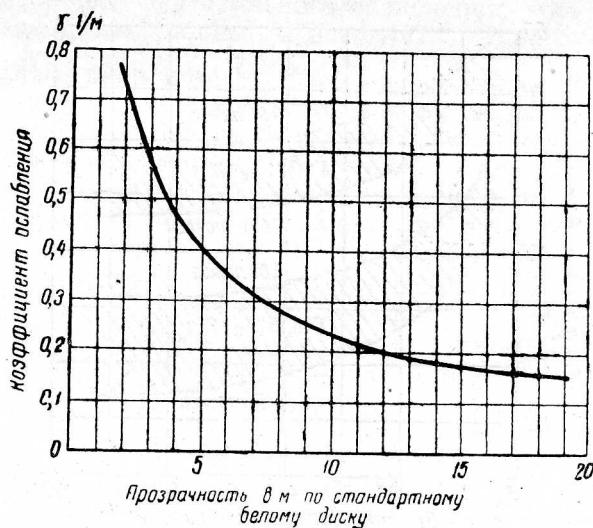


Рис. 8. Связь между коэффициентом вертикального ослабления γ и прозрачностью, определяемой с помощью стандартного белого диска.

других случаях. Кроме того, атмосферные условия и само море весьма изменчивы. Очень многие причины влияют на световой режим в глу-

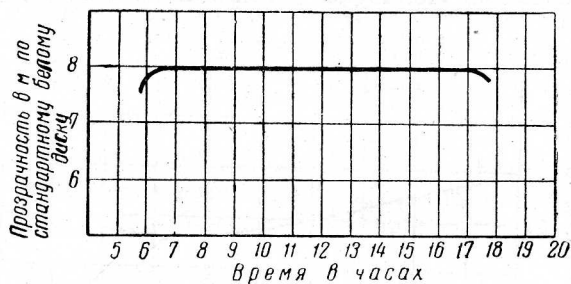


Рис. 9. Прозрачность по стандартному белому диску, измеренная в разные часы дня.

бине моря, и, конечно, косвенные методы определения освещенности под водой не всегда применимы; применение их дает лишь приблизительные результаты. Для получения точных результатов нужно применять подводные фотометры.

ВЫВОДЫ

При исследованиях жизни и поведения рыб необходимо учитывать условия освещенности, в которых находятся изучаемые объекты, и давать количественную оценку света.

В ряде случаев подводная освещенность может быть ориентировочно определена путем вычислений при известной наружной освещенности, которую можно определить по графикам или замерить обычным люксметром.

Нужно настойчиво внедрять в практику рыбохозяйственных исследований применение приборов для определения подводной освещенности и усилить внимание к изучению зрения рыб.

Можно полагать, что измерения подводной освещенности войдут в практику рыбохозяйственных исследований и научно-промысловой разведки наряду с измерениями таких величин, как температура и соленость.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Балашинский Б. Л., Световые измерения, Госэнергоиздат, 1932.
 2. Березкин В. А., Гренландское море и Полярный бассейн, Труды первой высокоширотной экспедиции на «Садко» в 1936 г., изд. Главсевморпути, 1939.
 3. Березкин В. А., Гершун А. А. и Янишевский В. Д., Прозрачность и цвет моря, изд. Военно-морской академии, Л., 1940.
 4. Березкин В. А., Руководство по актинометрии, изд. Главсевморпути, 1937.
 5. Бугер П., Оптический трактат о градации света, АН СССР, 1950.
 6. Жуковский Г. Р., Океанография, Водтрансиздат, 1953.
 7. Зенкевич Л. А., Фауна и биологическая продуктивность моря, изд. «Советская наука», т. I, 1951.
 8. Калитин Н. Н., Труды Научно-мелиоративного института, 1928.
 9. Мешков В. В., Осветительные установки, Госэнергоиздат, 1947.
 10. Снежинский В. А., Практическая океанография, Гидрометиздат, 1951.
 11. Шулейкин В. В., Физика моря, АН СССР, 1949.
 12. Шулейкин В. В., Очерки по физике моря, АН СССР, 1949.
-

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Канд. биол. наук <u>А. К. Токарев</u> , О некоторых особенностях поведения океанической сельди в период нагула	5
Проф. Б. П. Мантейфель, кандидаты биол. наук М. Н. Лишев и Д. В. Радаков, инж. К. И. Юданов, Наблюдения за поведением салаки при лове ее тралом в Рижском заливе	19
Кандидаты биол. наук Н. Н. Данилевский и Д. В. Радаков, Наблюдения за реакцией черноморской хамсы и некоторых других рыб на искусственные раздражители	25
Канд. биол. наук Н. Е. Асланова Изучение поведения рыб в зоне действия орудий лова	33
Канд. биол. наук В. Н. Тихонов, О миграциях и поведении крупной ставриды в Черном море	52
Канд. биол. наук К. Г. Константинов, Суточные вертикальные миграции трески и пикши	62
Канд. биол. наук С. Г. Зуссер, Суточные вертикальные миграции пелагических рыб	83
Л. А. Чаянова, Питание черноморского шпрота	106
Канд. биол. наук В. М. Наумов, Условия образования нерестовых скоплений балтийской трески	128
Кандидаты биол. наук Н. Я. Бабушкин и Н. И. Чугунова, Распределение сельдей в Южном и Среднем Каспии и методика их разведки	132
Канд. биол. наук Н. Н. Данилевский, Методика судовой разведки пелагических рыб в Черном море	167
Инж. С. Б. Гюльбадамов, Промыслово-биологические основы проектирования пелагических тралов	192
Инж. Е. В. Шишкова, Измерение поглощения ультразвука в водорыбной среде	242
Инж. К. И. Юданов, О возможности количественной оценки плотности скоплений рыб по данным гидроакустических приборов	250
Инж. Е. В. Шишкова, Исследование акустических характеристик тела рыб	259
Инж. К. И. Юданов, Об одном виде искажений в записи косяков и скоплений рыб, находящихся в поверхностных слоях воды	270
Канд. биол. наук <u>А. К. Токарев</u> , О биологических и гидродинамических звуках, издаваемых рыбами	272
Инж. Е. В. Шишкова, Запись и исследование создаваемых рыбами звуков	280
Инж. О. Н. Соколов, О подводной освещенности	295



Редактор В. С. Кузьмина

Техн. редактор Н. М. Тарасова

Г-07659 Сдано в набор 1/IV—58 г. Подписано к печати 6/VIII—58 г.
 Формат 70×108/16 Объем 19 п. л.=26,03 усл. п. л. Уч.-изд. л. 24,28
 Тираж 1000 экз. Цена 18 руб. Пищепромиздат Издат. № 1168 Зак. 460

Типография Московской картонажной ф-ки, Павелецкая набережн., д. 8

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ
Труды ВНИРО, том XXXVI „Поведение рыб
и промысловая разведка“

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
8	10 сверху	12 м	12 миль
18	3—4 сверху	гидроакустиче- ских приборов для определения прозрачности во- ды, над ней	гидроакустиче- ских приборов, приборов для оп- ределения про- зрачности воды, под ней
20	1 снизу	над ней	под ней
135	Табл. 1, 6 графа, 11 снизу	20—3	20—35
144	Табл. 2, графа 9, 1 снизу	28—30	28—36
164	30 сверху	0; 5; 10; 25; 50; 75 м.	0; 5; 10; 25; 50; 75 м и у дна
206	24 сверху	$= \frac{k_2' + k_2'' + k_2''' + k_2''''}{4}$	$= \frac{k_2' + k_2'' + k_2''' + k_2''''}{4}$
206	27 сверху	$a_{0_4}''' = k_2''' \cdot 7,5$	$a_{0_4}''' = k_2''' \cdot 7,5$
212	Табл. 3, графа 7	Длина косяка в м.м	Длина косяка в м
212	Табл. 3, графа 8	Высота косяка в м.м	Высота косяка в м
212	Табл. 3, графа 9	Площадь косяка в м.м	Площадь косяка в м ²
220	Табл. 4, графа 2, 5 сверху	—	0,20—0,35
220	Табл. 4, графа 2, 6 сверху	0,20—0,35	—
243	19 сверху	1,5	1, 5