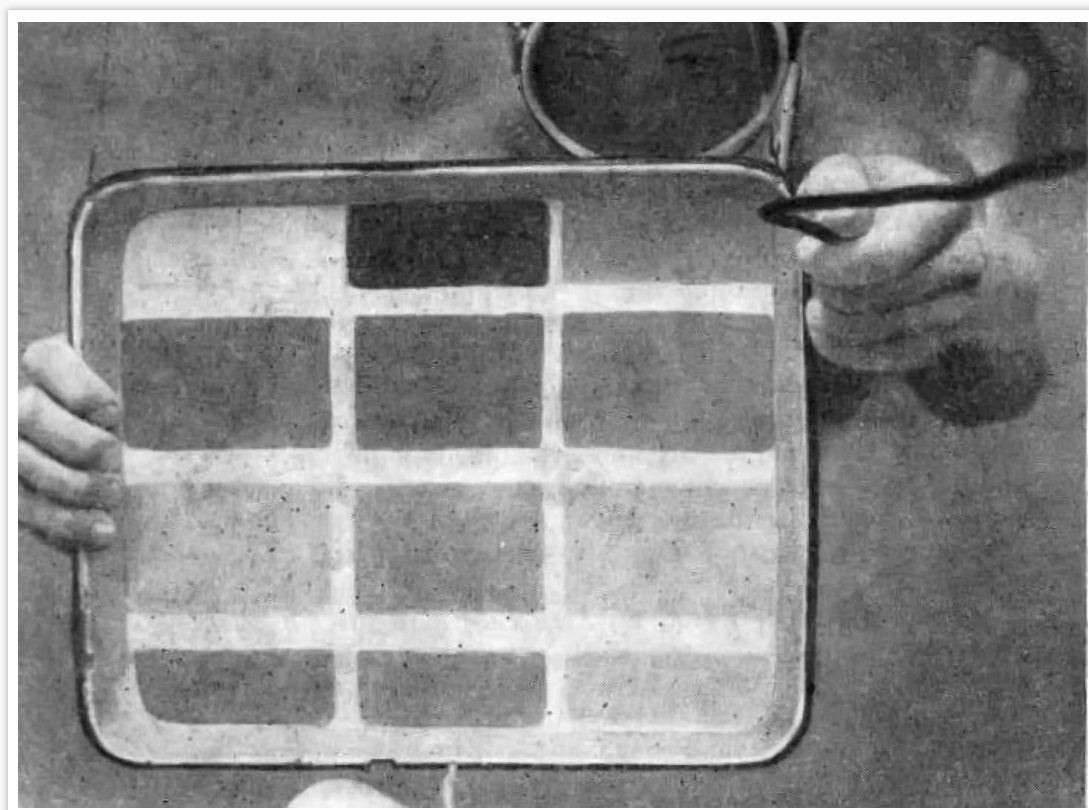


Фотосъемка под водой

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДНОЙ СРЕДЫ И ЗАКОНЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ В НЕЙ СВЕТА



Вода, являясь средой относительно прозрачной, по физическим свойствам значительно отличается от воздушной среды. Будучи в 770 раз плотнее воздуха, она практически несжимаема, достаточно хорошо передает звуковые колебания и обладает значительно большей, по сравнению с воздухом, теплоемкостью. Вода, даже оптически чистая, примерно в 1000 раз сильнее воздуха ослабляет видимый свет.

Если дальность видимости предметов в воздушной среде может достигать нескольких километров, а космонавты отчетливо видят очертания материков и города даже за несколько сотен километров, — то дальность видимости в водной среде не превышает нескольких десятков метров. Подводный фотограф даже в ясный солнечный день видит предметы, окутанные в легкую голубоватую дымку. При фотографировании в воде изображения получаются малоcontrastными, а при цветной фотосъемке очень трудно добиться правильной и сочной цветопередачи.

Человеческий глаз по своей природе воспринимает свет не только по его яркости, но и по цветности. Попадая под воду на небольшую глубину, человек наблюдает гамму цветовых тонов, близкую к надводной. Опускаясь все глубже, он замечает, что яркие краски становятся тусклыми.

Что же вызывает это явление, почему под водой теряется яркость и изменяется сочность цветовой гаммы?

Коротко расскажем об оптических свойствах воды в видимой человеческим глазом части спектра

Поглощение света водой

Оптически чистая вода, то есть вода, свободная от окрашивающих веществ и механических примесей, в определенной закономерности ослабляет световой поток.

Поглощение водой светового монохроматического потока, образующего пучок параллельных лучей, определяется по показательному закону:

где F_k — световой поток, пропущенный слоем воды;

F_0 — входящий поток монохроматического спектра;

x — толщина слоя воды, через который проходит поток света, м;

k — показатель поглощения слоя воды, 1/м (обратные метры).

$$F_k = F_0 \cdot 10^{-kx},$$

Рассмотрим график кривой поглощения для оптически чистой воды (рис. 1).

Морская вода, очищенная от механических примесей, практически обладает физическими характеристиками, близкими по значению к характеристикам оптически чистой воды. Из графика видно, что наименьшее поглощение соответствует длине волны света около 490 мкм (т. е. синему цвету) при $k = 0,006$ 1/м. На этом участке спектра вода очень незначительно поглощает световой поток. Потери в таком случае составляют 1,5% при пути света длиной в 1 м. На участке спектра красного цвета с длиной волны около 720 мкм показатель поглощения достигает наибольшего значения. В этом случае $k = 1/м$, а на границе с ультрафиолетовым излучением — 0,05 1/м.

Поглощение света в природной воде в области видимого спектра (с достаточной степенью точности) можно считать как сумму двух поглощений:

а) поглощение света взвешенными в воде частицами и б) поглощение света оптически чистой водой. Наличие в природной воде взвешенных частиц, различных форм и материалов значительно увеличивает общее поглощение светового потока. На графиках (рис. 2) приводятся кривые поглощения света для морской воды.

Из сравнения кривых поглощения (см. рис. 1 и 2) видно, что в интересующей нас области спектра ослабление света происходит в основном поглощением его взвешенными частицами.

Морская вода имеет коэффициент поглощения больший, чем оптически чистая вода; речная и озерная воды обладают еще большим поглощением. Весьма прозрачные природные воды в видимой области спектра имеют значение $k = 0,021/м$, в то время как загрязненные воды могут иметь значение $k = 21/м$. На каждом метре природной воды может быть потеряно за счет поглощения от 5 до 99% падающего светового потока.

Поглощенный свет потерян для фотографирования;

в этом случае поглощенная световая энергия расходуется на нагревание среды, заставляя колебаться материальные частицы. Не поглощенная световая энергия рассеивается частицами в разные стороны.

Потери от поглощения света в водной среде не могут сильно повлиять на получение качественных снимков. Эта потеря компенсируется применением светосильных объективов и высокочувствительных эмульсий негативных пленок. Хорошие результаты можно получить, снимая предметы под водой на близком расстоянии или пользуясь источниками искусственного света, увеличивая освещенность.

Но наибольшие затруднения при подводном фотографировании вызываются не поглощением света, а его рассеянием.

Рассеяние света водой

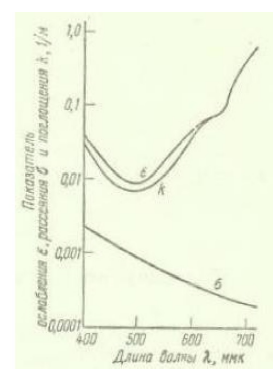


Рис. 1. Кривые поглощения, рассеяния и ослабления света оптически чистой водой. Изменение показателей k , g , e , зависящее от длины волны света

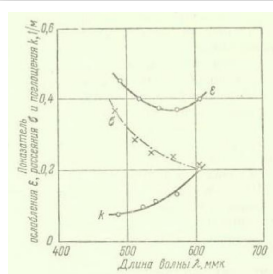


Рис. 2. Показатели k , g , e для естественного водоема

Рассеяние света водой в значительной степени зависит от ее загрязненности взвешенными частицами, однако совершенно чистая дистиллированная вода также рассеивает свет. Рассеяние света в воде — явление сложное, оно вызывается как присутствием в воде механических частиц, так и перемещениями молекул воды.

Параллельный монохроматический пучок лучей, пройдя через слой воды x , ослабляется вследствие рассеяния:

где F_a — световой поток, пропущенный рассеивающим слоем воды;

a — показатель рассеяния света, зависящий от числа взвешенных частиц в единице объема воды и от размера этих частиц.

$$F_{\sigma} = F_0 \cdot 10^{-ax},$$

Размер частицы в значительной степени изменяет характер рассеяния.

Если размер частицы настолько мал, что ее диаметр во много раз меньше длины волны света и измеряется тысячными долями микрона, то луч света, упавший на такую частицу, рассеивается практически во все стороны с равной силой. Количество света, прошедшее в этом случае вперед, будет равно количеству света, отброшенному частицей назад.

При увеличении размера частицы количество световой энергии, прошедшей по направлению падающего луча, увеличивается. Если диаметр частицы равен по величине длине волны света, то количество световой энергии, прошедшей по направлению падения луча света, будет примерно в 2,5 раза больше количества световой энергии, отброшенной назад.

Для вычисления показателя рассеяния можно пользоваться формулой:

где c — постоянный коэффициент;

λ — длина волны, мкм;

v — показатель степени, зависящий от радиуса рассеивающих частиц.

$$\sigma = c \cdot \lambda^{-v}$$

Рассеяние света называют релеевским по имени Релея — ученого, открывшего этот закон. Однако релеевский закон рассеяния применим лишь при радиусах частиц не свыше 0,05 мкм. При больших значениях радиуса частиц показатель степени начинает быстро убывать.

При малом радиусе частиц ослабление происходит сильнее в фиолетовой части спектра, а при увеличении размера частиц разница в ослаблении света между фиолетовой и красной частями спектра уменьшается. При диаметре частиц более 4 мкм рассеяние не зависит от длины волны.

Рассеяние света вызывается планктоном, органическими и неорганическими частицами, поднятыми течением со дна или принесенными из рек, а также воздушными пузырьками. Наиболее сильно рассеивают свет пресные проточные воды, воды озер и прибрежные воды морей и океанов.

Однако и вода, совершенно свободная от механических примесей, рассеивает свет.

Рассеяние света в совершенно чистой, оптически прозрачной воде называется молекулярным рассеянием. Непрерывное перемещение молекул, вызванное тепловыми колебаниями в водной среде, создает различную элементарную плотность воды. Показатели преломления в соседних элементарных объемах воды могут оказаться в некоторое мгновение разными, возникает оптическая неоднородность среды, и луч света отклоняется от своего пути.

Для нормального подводного фотографирования очень важно соотношение количеств рассеянного и направленного света. Рассеянный свет не может участвовать в образовании изображения, и тем не менее, попадая через фотографический объектив на пленку, он засвечивает светочувствительный слой негативного фотоматериала. В некоторых условиях рассеянный свет создает такие почернения негатива, что дальнейшая его обработка и изготовление фотоотпечатка становятся нецелесообразными.

Итак, выяснено, что свет в воде ослабляется за счет поглощения и рассеяния светового потока. Каково же суммарное действие этих факторов?

Ослабление света водой

Поглощение и рассеяние световой энергии водой ослабляет свет. Параллельный пучок световых лучей ослабляется по тому же показательному закону:

где F_s — монохроматический световой поток, прошедший через слой воды; e — показатель ослабления.

$$F_s = F_0 \cdot 10^{-\varepsilon x},$$

Коэффициент пропускания водой направленного света в зависимости от показателя ослабления света и толщины слоя воды x :

$$\theta = F_s / F_0 = 10^{-\varepsilon x}$$

Прозрачность в характеризуется коэффициентом пропускания света толщиной воды, равной 1 м.

Основную роль в ослаблении света для оптически чистой воды играет поглощение света водой. Однако в средней части видимого спектра становится заметным и рассеяние (см. рис. 1). Наибольшая прозрачность для чистой воды будет на участке спектра 460—520 нмк

(голубой и зеленый цвета). В этом случае слой воды толщиной 5 м в состоянии ослабить свет всего лишь как обычное оконное стекло (рис. 3).

Минимальное значение e равно 0,01 1/м, но оно резко возрастает к границам спектра.

Показатель рассеяния s для природных вод в верхних слоях водоема близок по значению к показателю поглощения k . Показатель рассеяния в этих случаях составляет 50—70% от показателя ослабления.

На практике прозрачность воды часто оценивают по глубине видимости белого диска диаметром 300 мм. Глубина видимости диска определяется как сумма двух измерений (глубины исчезновения диска при погружении и глубины появления диска при его подъеме), разделенная пополам.

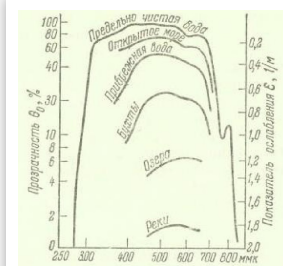


Рис.3. Спектральная прозрачность предельно чистой воды в сравнении с различной природной водой

Прозрачность воды и как оценка прозрачности — глубина видимости белого диска Z — зависят от ослабления освещенности (рассеяния и поглощения света водой). Для приближенных расчетов и определения показателя ослабления можно пользоваться формулой Гершуна:

Однако следует помнить, что для различных водоемов коэффициент меняется. По замерам Аткинса и Грехема, в водах Атлантического океана он равен 2,2.

$$\varepsilon = 3,5/Z$$

Прозрачность природных вод различна как в разных водоемах, так и в одном и том же водоеме: она зависит от времени года, погоды, течений и ветров.

Видимость белого диска для природных вод колеблется от нескольких десятков сантиметров до 70 м. В табл. 1* приведены глубины видимости диска в различных водах мира. Из таблицы видно, что увеличение видимости белого диска возрастает при удалении от материкового берега.

Прозрачность воды — один из основных факторов, влияющих на освещенность под водой.

Освещенность и фотосъемка под водой при естественном свете

Естественный световой поток во всей толще воды ослабляется в основном за счет поглощения.

Рассеяние света в меньшей степени ослабляет световой поток, так как направление рассеяния незначительно отклоняется от первоначального направления потока.

Глубина проникновения света в воду определяется показателем поглощения и зависит от поверхностной освещенности.

Освещенность поверхности моря в свою очередь зависит от угла подъема солнца над горизонтом и от облачности.

Проследим за лучом света, проникающим в воду. Пучок световых лучей, падая на водную поверхность, частично отражается от нее и, частично преломившись, проходит вглубь. На схеме (рис. 4) видны углы падения луча света, преломления и отражения его от поверхности воды. Угол преломления n_1' отличается от угла падения и зависит от показателя преломления n . Угол отражения n_2 зависит от величины угла падения n_1 и равен ему.

Взвешенные же в воде частицы, являясь причиной рассеяния света, в то же время в значительной мере поглощают и голубые лучи. По графику для мутной прибрежной воды (рис. 6) можно заметить, что количество света в голубой части спектра поглощается такой водой до 80%. Количество света, поглощенного в красной части спектра, в этом случае будет равно 90%. Поэтому предметы в мутной воде кажутся желтыми.

Из рассмотренных графиков видно, как качественно и количественно изменяется освещенность на различных глубинах и как на нее влияют физические свойства воды и ее загрязненность. Многочисленные же опыты в свою очередь показали, что уже на глубинах 3 м в условиях прибрежной чистой воды остается только 40% яркости надводного освещения.

При цветном подводном фотографировании ослабление лучей красной части спектра значительно усложняет процесс проявления негатива и последующую цветную печать позитива. При черно-белом фотографировании на панхроматических негативных пленках, наиболее равномерно чувствительных ко всем лучам видимого спектра, ослабление или отсутствие красных лучей, нарушая цветной баланс, снижает контраст изображения.

Для уменьшения преобладающего влияния синих лучей, т. е. для снятия дымки и получения более четких снимков, при черно-белой подводной фотографии, и для получения цветного баланса, по которому сенситивизирована (Сенситометрия фотографическая — учение об измерении фотографических свойств светочувствительных слоев. Сенситивизация — очувствление светочувствительных слоев пленки к красному свету) цветная пленка, при цветной подводной фотографии, необходимо пользоваться корректирующими светофильтрами.

На рис. 7 приведены кривые пропускания света в воде на глубине 3 м. Кривые получены путем коррекции светового потока светофильтрами типа ПС-10 и исправления графиков с учетом этой коррекции.

Кривые пропускания света, полученные путем корректирования, имеют незначительные максимумы на границах голубой и красной частей спектра и незначительный минимум в его желтой части.

При таких соотношениях длин волн вполне возможны качественные снимки как при черно-белой, так и при цветной фотографии.

Однако, если проанализировать по кривым количество света, прошедшее через воду и корректирующееся светофильтрами, то окажется, что оно очень мало. Уже на глубине 3 м для прибрежной мутной воды суммарный коэффициент пропускания равен всего 10%, т. е. всего лишь V10 часть света может активно участвовать в процессе фотографирования. Если величину пути света, равную 3 м, брать как сумму, состоящую из пути света от поверхности воды до снимаемого объекта плюс путь света от снимаемого объекта к фотокамере, то в прибрежной воде средней мутности на глубине

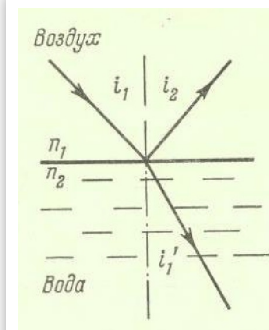


Рис. 4. Схема отражения и преломления луча света от водной поверхности. i_1 — угол падения светового луча на поверхность воды; i_2 — угол отражения светового луча от поверхности воды; i_1' — угол преломления светового луча при прохождении через водную поверхность; $n_1 = 1$ — показатель преломления для воздушной среды, $n_2 = 1,337$ — показатель преломления для водной среды

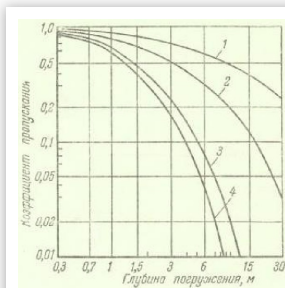


Рис. 5. График зависимости пропускания светового потока от глубины (в м). 1 — океанская вода высокой прозрачности; 2 — океанская вода средней прозрачности; 3 — прибрежная вода средней прозрачности; 4 — мутная вода

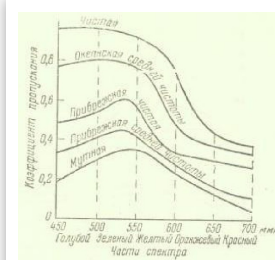


Рис. 6. График ослабления освещенности, зависящие

1,5 м и при удалении от снимаемого объекта на расстоянии 1,5 м необходимо увеличить экспозицию в 10 раз по сравнению с надводной экспозицией. Светофильтры типа ПС-10 корректируют световой поток, срезая коротковолновую часть спектра. При этом количество света для подводных съемок становится недостаточным.

от длины волны света при
пути света в воде 3м

Особенно слаба подводная освещенность в мутной воде. Работая осенью 1962 г. в Рижском порту, автор погружался в р. Даугаву. В то время обильные дожди вызвали очень сильное загрязнение речной воды. И уже на глубине 3 м совершенно невозможно было определить, где находится поверхность воды, освещенная солнцем.

При подводных съемках на черно-белую пленку для корректирования светового потока могут быть использованы оранжевые и желтые светофильтры: ОС-12, ЖС-12, ЖС-18. Эти светофильтры имеют кратность в несколько раз меньшую, чем красные светофильтры. Как уже отмечалось, в различных природных водах, при одинаковых условиях естественного освещения, подводная освещенность неодинакова.

В морской воде в ясный, солнечный день при глубине видимости белого диска $Z = 20$ м, на глубине 25 — 30 м светло, как на воздухе в пасмурный день. Свет на этой глубине зеленоватый.

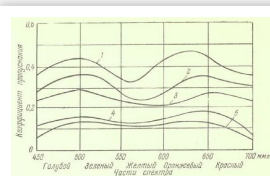


Рис. 7. Кривые пропускания света в воде, скорректированные светофильтрами

Летом 1962 г. автор в составе группы подводных исследователей погружался в Татарском проливе Японского моря для осмотра легендарного фрегата «Палла-да». Судно затонуло на глубине 20—25 м, и иногда в хорошую погоду его очертания проглядывались с поверхности. Спустившись в легководолазном снаряжении к останкам корабля, мы попали в холодный зеленоватый сумрак. Все яркие краски были приглушены, детали корабля, обросшие водорослями, тонули и полумраке. Морские звезды, яркие на поверхности, с оранжевыми и фиолетовыми лучами, были похожи на бесцветные куски ткани, разбросанные по дну.

Жорж Гуо и Пьер Вильм, опускавшиеся в батискафе в Средиземном море, считают, что на глубине 500 м пропадают всякие признаки света. Во время погружения около Бермудских островов они отмечали, что на глубине 200 м — свет синий, глубже — фиолетовый, а на глубине 600 м царит тьма.

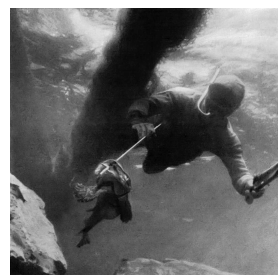
При съемках подо льдом на Рыбинском водохранилище Д. С. Павлов и Д. С. Николаев собрали материал по местной подледной освещенности. Оказалось, что при поверхностной освещенности льда, равной 2000—4000 лк, освещенность па глубине 0,5—1 м от нижней поверхности льда равнялась всего нескольким сотням люкс. Толщина льда во время замеров освещенности была равна 45 см, а толщина снежного покрова колебалась от 0 до 15 см.

В. С. Лоцилов в работах по морским подледным стереоскопическим съемкам указывает на то, что естественная освещенность нижней поверхности льда вполне достаточна для ее фотографирования без искусственных источников освещения. Лед толщиной в 1,5 м пропускает 20% света. При высоте стояния солнца над горизонтом, равной 20° , освещенность подо льдом в этом случае будет 1500 лк.

Практика съемок показала, что при толщине морского ледяного покрова до 1,5 м освещенность в ясный полдень подо льдом позволяет фотографировать без подсвета, однако с началом таяния снега светопрозрачность заметно уменьшается.

Также сильно понижает подледную освещенность снежный покров.

Подводное фотографирование подо льдом и фотосъемки в загрязненных водах невозможны без применения специального фотосъемочного оборудования с устройством для искусственного освещения.



Подводный охотник с подстреленным бычком. Фотосъемка произведена в татарском проливе Японского моря, глубина 3м, ширина пленки 35мм, чувствительность 180ед. ГОСТ, экспозиция 1/125сек, освещение естественное. Объектив «Гидроруссар 5». Фото автора.

Для определения экспозиции при подводных съемках многие специалисты пользуются фотоэкспонетрами «Ленинград-1» и «Ленинград-2», помещая их в специальные изолирующие коробки. В таких коробках имеются прозрачные иллюминаторы и приводы к шкалам прибора. Однако первые опыты по использованию экспонетров во время съемок под водой выявили ошибочность их показаний в подводных условиях.

О. А. Соколов подсчитал поправки к показаниям отечественных экспонетров. Результаты их применения оказались довольно интересными. Так, в Средиземном море уже на глубине 25 м необходимо увеличить экспозицию в 2 раза по сравнению с показанием прибора, а на глубине 75 м — в 5 раз.



Подводный исследователь за работой. Фото В. Бурнашова.

Такое завышение показаний экспонетра вызвано различием спектральных соотношений света под водой и на поверхности.

Обычно экспонетр корректируется в соответствии с чувствительностью пленки к естественному свету. Поэтому в каждом конкретном случае подводной фотосъемки при использовании экспонетра следует обязательно сопоставить его показания с результатами, полученными при контрольной съемке.

Освещенность под водой, созданная подводными светильниками

Применение полного или частичного искусственного освещения при фотографировании под водой намного улучшает качество снимков. В то же время освещенность, создаваемая искусственными источниками света в воде, так же как и естественный свет, ослабляется в результате рассеяния и поглощения. Кроме того, при расчете освещенности, созданной точечным источником света, наряду с ослаблением света (рассеянием и поглощением), необходимо учитывать закон квадратов расстояний.

Подводная фотосъемка требует мощных и надежных в работе источников света, причем желательно с автономным питанием электроэнергией. Это в первую очередь относится к электронным импульсным лампам и лампам-вспышкам одноразового действия. Источники освещения, получающие постоянное питание с поверхности, в основном — нерентабельны. Их использование может быть оправдано только для подводных киносъемок и подводного телевидения или для фотосъемок в сложных условиях с сильно затемненным освещением: в затопленных шахтах, на затонувших кораблях, в пещерах и т. д., да и то в том случае, если работы ведут водолазы в вентилируемом снаряжении. Кабель для питания источников освещения может быть тогда укомплектован совместно с воздушным шлангом и телефонным кабелем. Однако маневренность водолаза, обремененного несколькими десятками метров кабеля и шланга за спиной, будет безусловно очень ограничена.

Лампы-вспышки одноразового действия могут применяться для освещения при подводном фотографировании. Но необходимость подводного демонтажа осложняет конструкцию бокса для светильника, а отсутствие в продаже заводских конструкций исключает широкое их применение.

Конструктивное оформление и схемы импульсных ламп «Молния ЭВ-1», «Луч-59» и «ФИЛ» наиболее пригодны для применения их в подводной фотосъемке. Импульсные лампы дают очень короткую (от 1/2000 до 1/500 сек) и мощную вспышку, причем ее световой поток очень близок по своему спектральному составу к солнечному.

Свет электронной импульсной лампы позволяет снимать на цветную пленку, применяемую для дневного освещения. Это очень важно, так как при выборе корректирующих светофильтров можно пользоваться теми же номерами светофильтров, что и при съемках с естественным освещением.

Однако не следует забывать, что при пользовании импульсной лампой, напряжение питания которой равно 330 в, требуется максимальная осторожность в обращении с прибором. Это замечание нужно учитывать при проектировании бокса для вспышки.

Расположение источника освещения

Расположение источников освещения относительно снимаемого объекта и фотокамеры — главное при подводном фотографировании.

Располагая источник освещения близко к оси объектива, не следует забывать о рассеянии света. Распространению света в воде в данном случае будут мешать взвешенные частицы, невидимые при ровном естественном освещении.

Луч света источника на своем пути к снимаемому объекту осветит в воде взвешенные частицы. Значительно теряя свою направленность и яркость, световой поток создаст между фотокамерой и объектом световую завесу. Этот фон порой настолько велик, что за ним почти не проглядывается контур объектива. Если учесть, что лучу света необходимо вернуться обратно от объекта к фотокамере, то можно представить, какая преграда создается при расположении источника освещения около объектива.

При выборе оптимального расположения источника освещения нужно уменьшить путь луча света в воде и избегать прямого освещения среды между объектом и фотокамерой. Путь света в воде уменьшают, вынося лампу вперед к снимаемому объекту. Для устранения плоского освещения объекта и прямого засвечивания среды перед объектом лампу выносят в сторону от камеры (рис. 8). Следовательно, источник освещения необходимо располагать впереди и в стороне от аппарата.

Определение экспозиции при искусственном освещении

Экспозиция при съемке под водой с импульсной лампой зависит от:

- 1) мощности энергии вспышки;
- 2) расстояния между источником света и объектом;
- 3) расстояния между объектом и фотокамерой;
- 4) свето- и цветочувствительности используемого негативного материала;
- 5) плотности применяемых корректирующих светофильтров;
- 6) прозрачности воды в районе фотосъемок.



Рис. 8. Оптимальное расположение источника света относительно снимающей камеры и объектива

Совокупность всех этих факторов определяет величину относительного отверстия объектива. Доступное в забоксированных аппаратах регулирование размера диафрагмы — надежный способ изменения экспозиции. Определить экспозицию можно при постоянных факторах 1, 4, 5, 6 и изменяемых — 2, 3.

Экспозиционные расчеты проводятся с помощью ведущего числа. Ведущее число равно расстоянию до снимаемого объекта, умноженному на диафрагму. Следовательно, диафрагма будет выражена отношением величины ведущего числа к расстоянию.

При съемке под водой ведущее число определяется из условия расположения источника освещения, причем учитываются также факторы рассеяния и поглощения светового потока водой и светофильтрами.

В табл. 2 можно найти значения ведущих чисел различных схем электронных импульсных ламп, зависящих от чувствительности пленки и от мощности источника освещения. При использовании нескольких ламп, одинаковых по своим параметрам, необходимо учитывать коррекцию на их общую мощность. Например, если применить две лампы равной мощности, то ведущее число нужно увеличить в 1,4 раза.

При боковой установке источника освещения приходится учитывать процент изменения ведущего числа в зависимости от величины угла, под которым установлен осветитель по отношению к оптической оси объектива. Так, если этот угол равен 30°, то ведущее число изменится на 7%, при 45° — на 15%, при 60° — на 30%.

Выяснив таким образом ведущее число и светочувствительность фотоматериалов, подсчитывают экспозицию — размер относительного отверстия объектива (диафрагму). Оценив количество света, которое дошло до пленки, определяют прозрачность слоя воды. Значение экспозиции увеличивают, корректируя величину предварительно

подсчитанной диафрагмы по табл. 3. Если, к примеру, съемка производится в бухтах, где прозрачность воды равна 30%, то экспозицию увеличивают втрое.

Наличие на объективе фотокамеры корректирующего светофильтра требует увеличения экспозиции в число раз, равное кратности светофильтра (табл. 4). Значения кратности светофильтров даны для съемок на воздухе. Однако этими данными можно пользоваться и для приближенного расчета экспозиции при съемках под водой. Только для более точного определения экспозиции значения кратности светофильтров нужно пересчитывать, исходя из условия съемок под водой — конкретно для каждого случая. Автор неоднократно пользовался таким приближенным методом расчета экспозиции и считает, что ошибки по определению экспозиции в этом случае бывают не более двух-трехкратного значения.

На первый взгляд определение экспозиций может показаться сложным, однако при предварительной подготовке фотографа в каждом конкретном случае окончательные подсчеты при определении экспозиции сведутся к минимуму.

На месте фотосъемок необходимо подсчитать для данной прозрачности воды и применяемой светочувствительности фотоматериалов примеры экспозиций нескольких контрольных расстояний (смотрите рис. 8):

1. Общий путь луча света равен 2,2 м, $A = 1,5$ м и $B = 0,7$ м. Полученную диафрагму для этого случая необходимо написать на табличке, прикрепленной к боксу фотовспышки.
2. Общий путь луча света — 4,5 м, $A = 2,5$ м, $B = 2$ м. Результаты полученной экспозиции также внести в таблицу.
3. Общий путь света — 6,6 м, $A = 3,5$ м, $B = 3,1$ м. Результаты также зафиксировать в сводной таблице.

Как видно из приведенных примеров, при длине пути света более 7 м. красные лучи спектра почти не доходят до объектива, поэтому снимать на цветную пленку на расстояниях более 4 м от фотокамеры не рекомендуется.

Подсчитанные значения экспозиций для определенных расстояний крупными цифрами записываются темным стирающимся карандашом на светлой таблице. Это делается для того, чтобы под водой было удобнее пользоваться полученными результатами в каждом конкретном случае.

Приведем несколько примеров по определению экспозиций при съемках под водой с искусственным освещением.

Пример 1. Фотосъемка производится в чистой прибрежной воде. Источники освещения — две импульсные лампы с энергией вспышки каждой по 100 дж. Пленка чувствительностью 180 ед. ГОСТ. Применен светофильтр ЖС-18. Расстояние A до снимаемого объекта от фотокамеры равно 1,5 м.

По схеме (рис. 8) находим B — расстояние от источника освещения до объекта. $B = 0,7$ м (при удалении объекта от фотокамеры на расстоянии $A = 1,5$ м).

Общий путь света $S = 2,2$ м ($1,5 + 0,7$). Ведущее число в этом случае будет для одной лампы равно 50. Для двух ламп — 70 ($50 \cdot 1,4$).

Угол между осью рефлектора и оптической осью объектива (см. рис. 8) равен 60° . Уменьшив ведущее число на 30%, получим 50. Диафрагма приблизительно будет равна 23 ($50:2,2$). Возьмем ближайшее (по табл. 3) значение, равное 22. Прозрачность воды 50%, следовательно, экспозицию необходимо увеличить в данном случае в 2 раза. По табл. 3 получаем диафрагму 11. Кратность светофильтра ЖС-18 (по табл. 4) равна 2. Таким образом, необходимо увеличить экспозицию в 2 раза. Окончательно (по табл. 3) получаем для данного случая значение диафрагмы, равное 8.

Пример 2. Условия съемки остаются неизменными, за исключением расстояния от фотокамеры до снимаемого объекта. $A = 3,5$ м, $B = 3,1$ м. Общий путь света S равен 6,6 м.

Угол между осью рефлектора и оптической осью объектива 30° . Ведущее число в этом случае уменьшится на 7% и будет равно 65 ($70:1,07$).

Диафрагма для условий съемки на воздухе, подсчитанная таким способом, приблизительно равна 10. Берем се ближайшее значение, равное 11. Однако прозрачность воды такова, что до объекта доходят 50% света. Поэтому полученную экспозицию для подводной съемки необходимо увеличить в 2 раза. По табл. 3 получаем диафрагму 8. Применяя корректирующий светофильтр ЖС-18 с кратностью 2, получаем значение диафрагмы, равное 5,6.

Второй пример показывает, что для получения большей глубины резкости необходимо применить более чувствительную пленку. Уменьшая экспозицию (в данном случае диафрагмируя объектив), можно получить большую глубину резко изображаемого пространства, а это, в свою очередь, увеличит надежность съемки. Чувствительность пленки для этого случая может быть взята 250 ед. ГОСТ.

Приведенные примеры рассмотрены для источников освещения — импульсных ламп — с автономным питанием электроэнергией.

Снимаемый объект в момент экспонирования освещается импульсной лампой, однако наводка на резкость и кадрирование в сильно затемненных условиях под водой будут либо невозможны, либо сильно затруднены. В этом случае для целей подсветки при кадрировании может быть использован вспомогательный светильник.

Светильник с автономным питанием может быть помещен вместе с импульсной лампой-вспышкой. Питаться энергией такой светильник (мощностью в 70—100 Вт) может от аккумуляторных батарей, смонтированных совместно с блоком питания для лампы-вспышки. Для экономии энергии на внешнюю панель управления светильником выводится выключатель. Если окружающая освещенность позволяет пловцу перемещаться в воде без светильника, то запаса энергии аккумуляторов хватит и на питание лампы-вспышки и на питание светильника.

Работая в Рижском порту осенью 1962 г. в воде очень низкой прозрачности, фотографы группы подводных исследований «Союзморниипроекта» пользовались двумя вспомогательными источниками освещения: подводными светильниками ППС-1000, снабженными лампами накаливания в 1000 Вт, и подводными фонариками с лампами накаливания в 6 Вт. Съемка велась через контейнер, наполненный дистиллированной водой, освещение объекта для съемки было автономным.

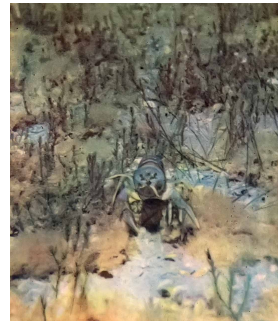
Эффект освещения получился неожиданный. Подводный светильник, имеющий мощность почти в двести раз большую, чем фонарь, засвечивая фон между объектом и фотокамерой, создавал световой конус с телесным углом в 120° . Высота конуса в этом случае не превышала 100—150 см, а освещенные предметы из-за сильного рассеяния света плохо просматривались. Луч же света от фонарика, с углом рассеяния не более 5° , освещал на таком же расстоянии предметы довольно хорошо. В отличие от светильника, световой поток фонаря не слепил и не мешал наблюдать снимаемые предметы.

Дальность фотографирования

Дальность фотографирования зависит от дальности видимости предметов в воде, которая, в свою очередь, обуславливается: уменьшением освещенности предметов по мере их удаления от источника света; ослаблением водой видимой яркости предмета; размытием контуров предмета, вызванным процессом рассеяния света; световой дымкой.

Значительное повышение силы света светильника не намного (как мы видели из примера) увеличивает дальность видимости. Повышение силы света светильника в 10 раз увеличивает дальность видимости всего на 15%.

Дальность видимости предметов (может быть в несколько раз больше, чем дальность фотографирования, которая еще во многом зависит и от контрастности. Величину истинного контраста предмета можно рассчитать по формуле:



Рак (астакус) среди морской травы — хары. Снимок сделан с помощью объектива «Мир-1» на дне Красноводского залива в Каспийском море, на фотопленке ДС-2, при экспозиции 1:100 и диафрагме 1:8. Малая глубина подводной съемки (около 1 м) почти не исказила цветопередачу. Фото автора.

где e — основание натуральных логарифмов ($e = 2,718$).

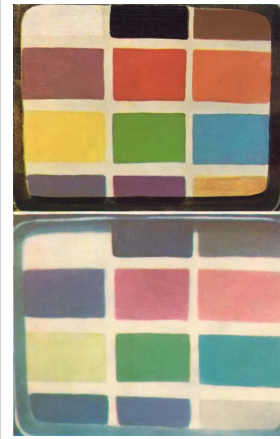
Как считают некоторые специалисты, между дальностью видимости и дальностью фотографирования существует зависимость, выражающаяся формулой

$$L = 0,5z, \quad (9)$$

где L — дальность фотографирования;

z — горизонтальная дальность видимости стандартного белого диска.

Опыты подводных съемок показали, что приведенная зависимость оправдывает себя в 80 из 100 случаев. Подводные исследователи часто убеждались, что предметы, отчетливо видимые под водой невооруженным глазом, затем зафиксированные на пленке, получались на негативе не контрастными.



Цветная таблица (вверху) сфотографирована на поверхности при солнечном освещении. Та же таблица (внизу) сфотографирована под водой. Снимок сделан в Черном море на глубине 3-х метров. При сравнении изображений таблиц хорошо видно изменение цветопередачи: под водой значительно ослаблена яркость красных и оранжевых тонов. В обоих случаях съемка произведена на фотопленку ДС-2. Фото автора.

$$U_{\text{абс}} = (B_s - B_d) / B_d \quad (7)$$

где $U_{\text{абс}}$ — контраст;
 B_s — абсолютное значение яркости предмета;
 B_d — абсолютное значение яркости фона.
Видимый контраст $U_{\text{вид}}$ определяется по формуле:

$$U_{\text{абс}} = U_{\text{вид}} \cdot e^{\sigma}, \quad (8)$$

