

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕТА С МОРСКОЙ ВОДОЙ

В.И. Маньковский

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
e-mail: Lee@alpha.mhi.uf.net

Даются критические комментарии по статье Ю. А. Прохоренко "К вопросу о взаимодействии света с морской водой", опубликованной в сборнике "Системы контроля окружающей среды" за 2006 г. Ряд формулировок, содержащихся в данной статье, противоречит современным теоретическим и накопленным экспериментальным данным о взаимодействии света с морской водой.

Введение. В сборнике "Системы контроля окружающей среды" за 2006 г. опубликована статья Ю. А. Прохоренко "К вопросу о взаимодействии света с морской водой" [1], в которой рассматриваются вопросы соответствия реально измеряемых гидрооптических характеристик их стандартным определениям. Статья содержит ряд формулировок о взаимодействии света с морской водой, противоречащих современным теоретическим и накопленным экспериментальным данным. Чтобы у читателей, интересующихся закономерностями оптических явлений в морских водах, не сложилось неправильное представление в некоторых вопросах взаимодействия света с морской водой, далее даются критические комментарии по основным положениям, затронутым в рецензируемой статье (цитаты из нее приводятся курсивом).

1. Взаимодействие света с морской водой. Взаимодействие света с морской водой характеризуется двумя основными процессами: поглощением и рассеянием светового луча [2, Гл. 1]. При поглощении часть энергии светового луча переходит в другие формы энергии: тепловую, химическую, флуоресценцию и др. Рассеяние света выражается в изменении направления распространения световых лучей. Происходит оно лишь при наличии в воде оптических неоднородностей. Такими неоднородностями являются находящиеся в воде частицы с отличными от воды показателями преломления (рассеяние на частицах), а также неоднородности в распределении молекул

воды и примесей. При взаимодействии с оптическими неоднородностями часть энергии световой волны рассеивается в разные стороны; при этом не происходит превращения лучистой энергии первичной волны в другие формы энергии [3, Гл. 29].

Результат взаимодействия света с находящимися в морской воде частицами теоретически выражается в виде коэффициентов поглощения и рассеяния, а также индикаторы рассеяния излучения частицами [4, Гл. 2].

Для практических целей в гидрооптике используются феноменологические характеристики взаимодействия излучения с морской водой: показатели поглощения и рассеяния и индикаторы рассеяния элементарным объемом воды направленного (практически параллельного) пучка света [2, Гл. 1].

В [1] постулируется, что при взаимодействии света с морской водой происходит лишь его поглощение и переизлучение в виде флуоресценции. "Взаимодействие излучения и вещества проявляется как перераспределение энергии между двумя основными процессами: или с излучением электромагнитного излучения, или с поглощением его энергии. Излучение света в морской воде связывают с процессами флуоресценции – переизлучения, происходящего после поглощения коротковолнового излучения".

О рассеянии света в [1] упоминается лишь как о каком-то условном процессе, сопровождающем поглощение излучения: "Поглощение света в гидрооптике условно подразделяют еще на рассеяние и поглощение".

Доказательств таких постулатов, противоречащих современным теоретическим положениям оптики мутных сред, к которым относится морская вода, не приводится.

Насчет флуоресценции некорректна формулировка, что этот процесс "...происходит после поглощения коротковолнового излучения". Суть в другом – длина волны излучения флуоресценции всегда больше, чем длина волны возбуждающего ее излучения (правило Стокса) [3, Гл. 38].

В [1] говорится о якобы существующем в гидрооптике условном разделении поглощения и рассеяния света при его взаимодействии с морской водой. Например:

- "...разделение рассеяния и поглощения, физически обоснованными критериями затруднительно";
- "Условное разделение взаимодействия света в чистой или морской водах на поглощение и рассеяние позволило подробно изучать эти явления".

Такого условного разделения на поглощение и рассеяние в гидрооптике не существует, так как это реально существующие в природе физические процессы, происходящие при взаимодействии света с морской водой. Теория поглощения и рассеяния света в морской воде изложена в [2, Гл. 2].

Некоторую условность можно усмотреть лишь в используемой в гидрооптике системе определения оптических характеристик морской воды, которая строится в рамках феноменологической теории, то есть отвлекаясь от физической природы локального взаимодействия света с неоднородностями среды. В рамках этой теории для описания оптических свойств морской воды вводится понятие элементарного объема среды, в котором происходит поглощение и рассеяние света. Величина этого объема берется настолько малой, чтобы в его пределах интенсивность излучения можно было считать постоянной, а рассеяние света однократным. С другой стороны, величина элементарного объема должна быть такой, чтобы число оптических неоднородностей, имеющихся в нем, было достаточно велико, позволяя использовать осредненные оптические характеристики среды. [2, Гл. 1].

2. Прохождение света через границу воздух-вода. "...с преодолением границы световое излучение "сортируется" и поляризуется ею (разделяется на отраженный и преломленный свет, то есть рассеивается)".

Термин "*рассеяние*" в данном случае не уместен. В теории прохождения света через границу двух сред такой термин не употребляется [3, Гл. 23]. Рассеяние света это совсем другой физический процесс, связанный с наличием в среде оптических неоднородностей [4, Гл. 1].

3. Цвет излучения в воде. Согласно законам распространения электромагнитного излучения скорость света, и соответственно длина волны световых волн, в воде уменьшаются по сравнению с воздухом. В связи с этим в [1] утверждается, что при этом изменяется цвет излучения: "...в морской воде,

как в более плотной среде, преломленный луч замедляет скорость своего распространения, а значит, и длину волны, т. е. цвет".

Это заблуждение. Оно связано с тем, что спектральный состав излучения, определяющий его цвет, часто связывают с длиной электромагнитных волн его составляющих в воздухе. Так как длина электромагнитных волн в воде изменяется, из этого делается ложный вывод об изменении цвета излучения.

В вопросе о цвете спектральный состав излучения следует характеризовать частотой электромагнитных волн ν . Частота излучения определяет энергию фотонов $E_\delta = \nu h$ (h – постоянная Планка), воздействующих на фоторецепторы глаза, способного определять цвет. При переходе из одной среды в другую частота излучения не изменяется [3, Гл. 23,]. То есть, если луч света в воздухе воспринимается глазом как красный, то такого же цвета он будет виден и в воде.

4. Распространение света в морской воде. При распространении в морской воде "...свет испытывает разный уровень противодействия. Самый слабый – свет не меняет своего "прямого" направления. Затем, рост сопротивления среды выражается величиной угла отклонения направления распространения от прямого, до обратного. Затем – поглощением излучения".

Подобная терминология: "противодействие", "сопротивление" и т. п. использовалась на ранних стадиях развития физической оптики (времена Декарта и до того), а в современной оптике таких терминов нет. Кроме того, непонятно какие физические процессы, противодействующие распространению света в морской воде, имеются в виду за этими терминами.

5. Энергетические соотношения при рассеянии света. "Некоторые исследователи считают, что рассеяние света в средах вообще происходит "без потери энергии". С этим трудно соглашаться. Кроме того, этому противоречит факт существования светового давления. Определения затрат энергии на рассеяние или поглощение, зависящих от конкретных агентов взаимодействия морской воды, не делались".

Во-первых, теоретические исследования показывают, что рассеяние света непоглощающей частицей происходит без потери энергии. В [4, Гл. 2, гл. 6] приводятся формулы для расчета коэффициентов поглощения и рассеяния электромагнитных волн частицами в зависимости от их оптических характеристик.

Во-вторых, световое давление к рассеянию излучения в мутных средах не имеет отношения. Оно связано с поглощением и отражением излучения от тела, на которое излучение падает. Взаимодействие между светом и отражающим или поглощающим его телом (с размерами намного больше длины волны светового излучения), согласно электромагнитной теории световых волн, приводит к возникновению давления света на тело. При этом для тела с коэффициентом отражения $R = 1$ давление света на него в два раза больше, чем на абсолютно черное тело $R = 0$ [3, Гл. 34].

6. Оптические характеристики морских вод. "Среди практически измеряемых оптических свойств морских вод показатель ослабления более универсален, так как его величина в большей степени зависит от поглощения света водой".

Если речь идет о влиянии на показатель ослабления света (ПОС) поглощения чистой водой, то оно, хотя и существенно (в

красной области спектра), но сами показатели поглощения света являются величинами постоянными. Поэтому они не влияют на изменчивость ПОС морской воды и их вклад в его дисперсию нулевой. Согласно [2, Гл. 8] основной вклад в дисперсию ПОС в области 430–670 нм вносит рассеяние взвесью (58–99%) с максимумом в области 590–670 нм (93–99%). При длинах волн менее 430 нм, особенно в ближнем ультрафиолете 350–400 нм, большой вклад в дисперсию ПОС вносит поглощение света желтым веществом, который может при 350 нм составлять 87%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. А. Прохоренко К вопросу о взаимодействии света с морской водой. / Ю. А. Прохоренко // Сб. науч. трудов / Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2006. – С. 70–72.
2. Оптика океана. Т. 1. Физическая оптика океана / Под ред. А. С. Монина – М.: Наука, 1983. – 371 с.
3. Г. С. Ландсберг. Оптика. – М.: Наука, 1976. – 928 с.
4. К. С. Шифрин. Рассеяние света в мутной среде. – М. – Л.: Госуд. изд. техн.-теор. лит-ры, 1951. – 288 с.