

К ВОПРОСУ О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СВЕТА С МОРСКОЙ ВОДОЙ

Ю.А. Прохоренко

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
Г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

В связи с физическими явлениями, сопутствующими распространению света в морской воде, рассматривается степень соответствия определений стандартных гидрооптических характеристик результатам их измерений реальными измерителями.

Введение. Влияние морской воды на световое излучение выражается в заметных изменениях его энергетических характеристик. Солнечная радиация в длинноволновом (красном и инфракрасном свете) поглощается водой, являясь источником прогрева поверхностных вод. Поглощение видимого света значительно меньше. С распространением в глубинах моря, на энергетическом состоянии света отражаются многие неоднородности состояния и структуры вод. При этом, на физическое состояние воды видимый свет не оказывает заметного влияния. Это индикаторное свойство видимого света эффективно используют для исследования природных водных масс.

Основная часть. В случае взаимодействия видимого света с морской водой, наиболее важно исследование влияния на свет объектов в размерном диапазоне от молекул до «крупных» частиц взвеси, продолжительное время остающихся во взвешенном состоянии. 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. Поглощение света в гидрооптике, условно подразделяют еще на рассеяние и поглощение.

Пересекая границу среды, из воздуха в воду, световой луч испытывает отражение и

преломление. Такие изменения направления следования на границе сред всего естественного луча света указывает на то, что из-за собственной неоднородности, он целиком, но различным образом, испытывает влияние упорядоченной поверхностью структуры границы среды. Следовательно, с преодолением границы световое излучение «сортируется» и поляризуется ею (разделяется на отраженный и преломленный свет, т.е. рассеивается) [3,4,5,6]. Далее, в морской воде, как в более плотной среде, преломленный луч замедляет скорость своего распространения, по отношению к исходному, а значит, и длину волны, т.е. цвет. Неоднородности морской воды продолжают видоизменять его, в соответствии с размерными соотношениями между собственными энергетическими возможностями, зависящими от частоты колебаний, длины волны света и локально изменяющимися физическими свойствами агентов среды (молекул воды, их разновидностей и структурных особенностей, атомов, ионов примесей, а также более крупных взвешенных частиц).

При этом, 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. С одной стороны, естественный свет сам неоднороден – не монохроматичен и не когерентен. С другой – и морская вода неоднородна, дисперсна. При широком диапазоне изменчивости свойств излучения и среды, их сочетаний, обозначение границ уровня взаимодействия, например разделение рассеяния и поглощения, физически обоснованными критериями затруднительно.

Некоторые исследователи считают, что рассеяние света в средах вообще происходит «без потери энергии» [1]. 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.

В пользу правомерности проведенного выше ранжирования явлений по уровню энергетического взаимодействия естествен-

ного света с морской водой можно привести спектр ослабления света морской водой (рисунок). В максимуме пропускания, «окне прозрачности» воды, при снижении поглощения, выявлено увеличение доли рассеяния света. В чистых водах, на синевозелёном участке спектра баланс взаимодействия вещества со светом наиболее смешён в сторону рассеяния [8]. На этом фоне в «окне прозрачности» могут выделяться полосы поглощения определёнными примесями, что может использоваться для контроля концентрации этих примесей в морской воде.

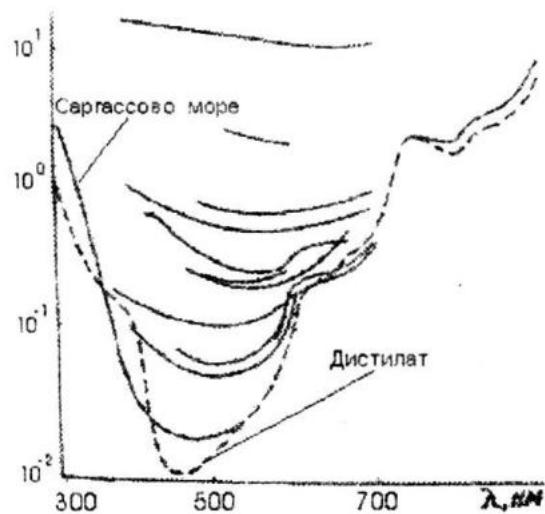


Рисунок – Спектры с в различных естественных и искусственно очищенных водах

Рассеянию присущи определённые закономерности распределения по углам, зависящие от плотности и размеров рассеивающих агентов. Угловая зависимость интенсивности рассеяния, вид индикатора рассеяния, отражает размерный спектр рассеивающих частиц и их коэффициент преломления, относительно воды.

Условное разделение взаимодействия света в чистой или морской водах на поглощение и рассеяние позволило подробно изучать эти явления. Физически обоснованно рассмотрение этих явлений возможно лишь для единичных актов взаимодействия. Однако, именно это подразумевается в стандартных дефинициях показателей рассеяния и поглощения [2]. В них требуется, чтобы измерения оптических показателей выполнялись в бесконечно малых слоях или объемах среды распространения. На практике, при измерении этих показателей, вы-

полнение названных условий не обеспечивается полностью. Это приводит к дополнительным погрешностям оценок и нарушению соотношения между различными измеренными и косвенно определяемыми по ним, вычисляемыми гидрооптическими характеристиками.

Так, например, измерения показателя ослабления – с широко распространены в практике океанологических исследований. Считается, что показатель ослабления света должен выражаться суммой:

$$c = a + b$$

Показатель рассеяния – b тоже доступен для практических измерений. Прямое измерение показателя поглощения – a технически затруднено. Из этого следует, казалось бы, простой и универсальный путь для косвенного, но надёжного определения показателя поглощения – как разность оценок показателей ослабления и рассеяния. Однако,

Таблица – Отношение светового потока, рассеянного в диапазоне углов $0-\gamma_{\text{упr}}$, к полному рассеянному потоку (%) [8]

$\gamma_{\text{упr}}$	ИНДИКАТРИСА				
	Тихий океан, «Витязь»	Чёрное море «Витязь»	По Морелю	Тупая, по Маньковскому	Острия, по Маньковскому
1	41	27	7.4	3.4	31
2	56	46	24	9.4	59
3	63	55	37	–	–
4	67	61	47	–	–
5	70	64	54	25	84
10	78	74	73	39	87
20	86	84	86	61	91
30	90	91	92	71	93
50	94	97	–	83	95

на самом деле существующие измерители показателя ослабления измеряют величины больше отвечающие коэффициенту пропускания. Это происходит из-за того, что в измерительном пучке фотометра в прямом направлении хода луча неизбежно следует и рассеянный свет. Его невозможно выделить из общего потока или оценить как постоянную, систематическую ошибку. Доля рассеянного света, зависит от рассеивающих свойств вод, характеризующихся в ес-

тественных водоёмах значительной про- странственно-временной изменчивостью.

Доля молекулярного рассеянного света на малых углах пренебрежимо мала [3,4,8]. Основное рассеяние вносится взвешенными частицами. Исследование вклада рассеянного на малых углах света в общее рассеяние [3,8] по оценкам различных авторов может достигать 70-80%, в диапазоне углов рассеяния 0-5° и - 80-90%, в пределах углов 0-20° (таблица, часть таблицы 3.5 из [8]). Измерители показателя ослабления регистрируют свет только при небольших углах расхождения, не более 0,5-1°. Однако, именно здесь зависимость величины рассеяния от угла наибольшая, а доля рассеяния чаще оценивается путём вычисления, а не измерений. Считается, что соотношение прямого и рассеянного света в таком случае не превышает нескольких процентов. Такие прозрачномеры всё же дают заниженные оценки ослабления излучения. Отличия невелики в чистых водах большей части открытого моря, всего на несколько процентов [8]. С ними можно примириться только в том случае, если не использовать оценки показателя ослабления для дальнейшего расчёта других гидрооптических характеристик, соотношений между ними. Погрешности оценок в мутных прибрежных водах моря, особенно в местах смешения морских вод и речных стоков, становятся более заметными.

Обратная проблема возникает в измерителях показателя рассеяния. На малых углах рассеяния здесь уже преобладающий прямой свет – существенная, трудно устранимая помеха. Значения рассеяния для них приходится только рассчитывать, экстраполируя близкие значения рассеяния с использованием различных подходящих математических функций. Поэтому использовать на практике приведенное выше основное уравнение практически не всегда достижимо.

По используемым в практике исследованиям, в отечественной и зарубежной литературе, определениям гидрооптических характеристик [например в 2], в измерителях предлагается использовать монохроматический свет. Чтобы выполнить это, в измерителях применяют лазерные источники света или лампы накаливания, в сочетании со сканирующими в пределах видимого спектра дифракционными решётками. Приме-

нение их в измерителях «*in situ*» затрудняется их громоздкостью, а набор частот лазерного излучения ограничен. Поэтому в фотометрах в качестве источников света в большинстве случаев всё же применяются лампы накаливания и используют наборы цветных светофильтров. Измерителями определяются только средние показатели для определённой полосы частот, а не для конкретных длин волн. Следовательно, исследование тонких эффектов взаимодействий в таких измерителях исключено.

Заключение. Условия гидрооптических измерений не полностью соответствуют установленным стандартам. Это ограничивает применение результатов измерений для установления количественного соотношения между составляющими процесса взаимодействия света и вещества. С максимальным приближением к требованиям стандарта может оцениваться показатель ослабления излучения.

Среди практически измеряемых оптических свойств морских вод, показатель ослабления, более универсален, так как его величина в большей степени зависит от поглощения света водой. Для большей части морских акваторий незначительное занижение оценок показателя ослабления света не мешает эффективному применению контактных, достаточно простых в изготовлении и удобных в эксплуатации измерителей для большинства океанологических и экологических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Иванов. Введение в океанографию. «Мир», Москва, 1978, – 574 с.
2. ГОСТ 19210-73 Гидрооптические характеристики, 1980.
3. В.В. Шулейкин. Физика моря. «Наука», Москва, 1968, – 1083 с.
4. Нильс Г. Ерлов. Оптика моря. «Гидрометиздат», Ленинград, 1980, – 247 с.
5. Г.С. Ландсберг. Оптика. «Наука», Москва, 1976, – 928 с.
6. И. Д. Жевандров. Поляризация света. «Наука», Москва, 1969, – 192 с.
7. В.Ф. Дергольц. Вода во вселенной. «Недра», Ленинградское отделение, Ленинград. 1971, – 223 с.
8. А. П. Иванов. Физические основы гидрооптики. Минск. «Наука и техника», 1972, – 504 с.