

ГЕОФИЗИКА

В. А. ТИМОФЕЕВА

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЯРКОСТИ В СИЛЬНО РАССЕИВАЮЩИХ СРЕДАХ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 19 XII 1950)

Явление сложного рассеяния света послужило предметом теоретических исследований ряда авторов (¹⁻⁴). Учет многократно рассеянного света приводит к большим математическим трудностям, и лишь при тех или иных упрощениях задачи решение ее может быть доведено до конца, с неизбежными и неизвестными погрешностями. Экспериментально полная картина распределения яркости в рассеивающих средах также до сих пор не была получена.

Настоящая экспериментальная работа ставит перед собой задачу изучения распределения яркости в сильно рассеивающих средах, коэффициент поглощения которых ничтожно мал по сравнению с коэффициентом рассеяния, при различных условиях освещения среды.

В первой (основной) части работы исследуемая среда помещалась в бак достаточно больших размеров и освещалась вертикальным широким потоком солнечных лучей, направляемых с помощью двух плоских зеркал через люк в помещение, защищенное от проникновения постороннего света. Применялись мутные среды (молочная, канифольная), в которых коэффициент поглощения ничтожно мал по сравнению с коэффициентом рассеяния. Для исследования яркости в среде на различных глубинах и в различных направлениях применялся специально сконструированный нами линзовый фотометр с селеновым фотоэлементом. С помощью такого фотометра измерялся световой поток в достаточно малом телесном угле (до 0°,39). Фотометр присоединялся непосредственно к гальванометру. В результате нами получена полная картина (рис. 1) распределения яркости в мутных средах. На рис. 1 по оси абсцисс отложена глубина погружения фотометра, а по оси ординат — относительная величина яркости на логарифмической шкале. Верхняя кривая дает изменение яркости с глубиной в направлении, для которого угол φ между главной оптической осью фотометра и направлением освещавшего среду потока лучей равен нулю, другими словами, измерялась яркость в направлении на источник света. Как видим, яркость в данном направлении убывает до некоторой глубины по экспоненциальному закону вида

$$I = I_0 e^{-kl}, \quad (1)$$

где I — яркость падающего пучка на глубине l , I_0 — яркость падающего пучка непосредственно под поверхностью среды, k — коэффициент рассеяния. Убывание яркости по закону вида (1) происходит до глубины порядка 6—8 рэлеев *. На больших глубинах убывание

* Рэлей — глубина, проходя которую свет ослабляется в e раз.

яркости все более замедляется до тех пор, пока свет не рассеется полностью. Дальнейшее убывание яркости в направлении $\varphi = 0^\circ$ происходит по экспоненциальному закону вида

$$I' = I_0 e^{-k'(l-l_0)}, \quad (2)$$

где I_0 — яркость на глубине l_0 , на которой свет уже предельно рассеян, I' — яркость на глубине l , k' — коэффициент ослабления предельно рассеянного света. Так как исследование ведется в сильно рассеивающих средах, то за счет убывания яркости в основном направлении (для $\varphi = 0^\circ$) должна возрастиать яркость в других направлениях. Действительно, яркость в направлениях $0^\circ < \varphi \leq 120^\circ$ с увеличением глубины вначале растет, достигает некоторого максимума и затем начинает уменьшаться. Наличие подобных максимумов теоретически было предсказано В. В. Шулейкиным (2).

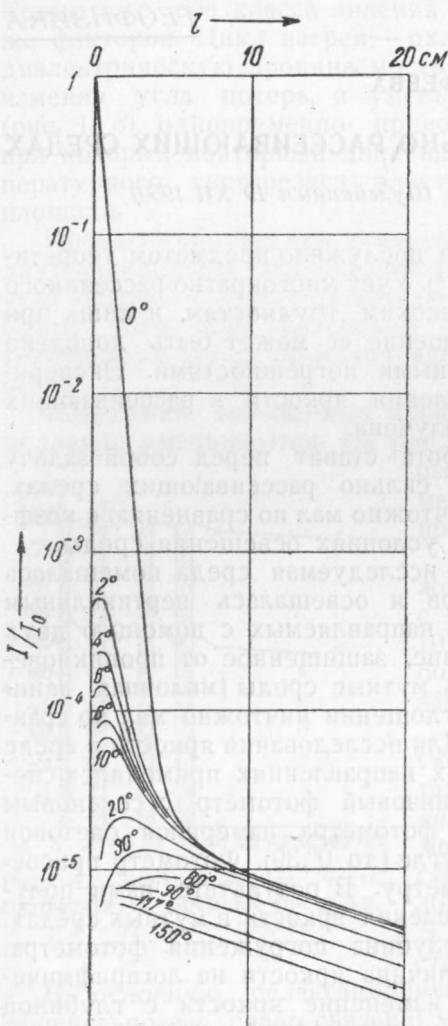


Рис. 1

Из рис. 1 следует, что начиная с глубины, на которой падающий свет становится предельно рассеянным, убывание яркости в любом постоянном направлении следует экспоненциальному закону вида (2), что вполне согласуется с теоретическим выводом В. А. Амбарцумяна (3). Для уяснения физического смысла кривых рис. 1 удобно рассмотреть изменение с глубиной тела распределения яркости, характеризующего световое поле для данной точки среды. Тело распределения яркости по различным направлениям для точки на поверхности среды складывается из двух тел: тела, характеризующего поле источника света в данной точке, и тела, характеризующего световое поле, создаваемое средой. В нашем случае освещения среды солнцем первое тело будет представлять собой резко очерченный конус с углом при вершине $\sim 0^\circ,5$. Если считать, что тело распределения яркости, характери-

зующее световое поле среды для точки непосредственно под ее поверхностью, будет представлять собой полусферу, то суммарное тело для указанной точки будет иметь грибообразную форму. С увеличением глубины эта грибообразная форма распределения яркости видоизменяется, проходя последовательно все стадии рис. 2, на котором каждая из полярных диаграмм представляет собой сечение тела распределения яркости в некоторой точке среды плоскостью, проходящей через ось симметрии.

На рис. 1 и 2 видно, что яркость, убывая с глубиной после максимума, не проявляет тенденции к полному выравниванию по различ-

ным направлениям: она стремится лишь к некоторому стационарному распределению по различным направлениям. Плоскостная полярная диаграмма такого стационарного распределения яркости по различным направлениям близка к окружности (рис. 2), причем полюс диаграммы сдвинут относительно центра окружности в сторону поверхности среды. Существование стационарного распределения яркости по различным направлениям для предельно рассеянного света впервые теоретически предсказано В. В. Шулейкиным (2). Рис. 1 или 2 вполне разрешили бы поставленную задачу о нахождении распределения яркости в сильно рассеивающих средах, если бы кривые, изображенные на них, не зависели от ряда факторов, как то: концентрация среды, коэффициент поглощения, состояние поверхности и т. д. Остановимся вкратце на результатах исследования некоторых из этих зависимостей.

Из рис. 1 видно, что коэффициент ослабления предельно рассеянного света значительно меньше коэффициента рассеяния среды, пропорционального тангенсу угла наклона первого прямолинейного участка верхней кривой. На рис. 3 в логарифмических координатах построен график зависимости между коэффициентом ослабления k' предельно рассеянного света и коэффициентом k рассеяния среды.

Рис. 2

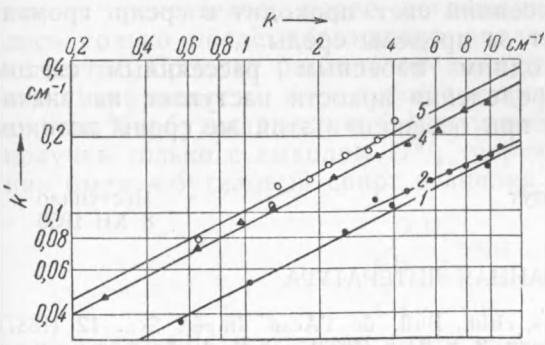
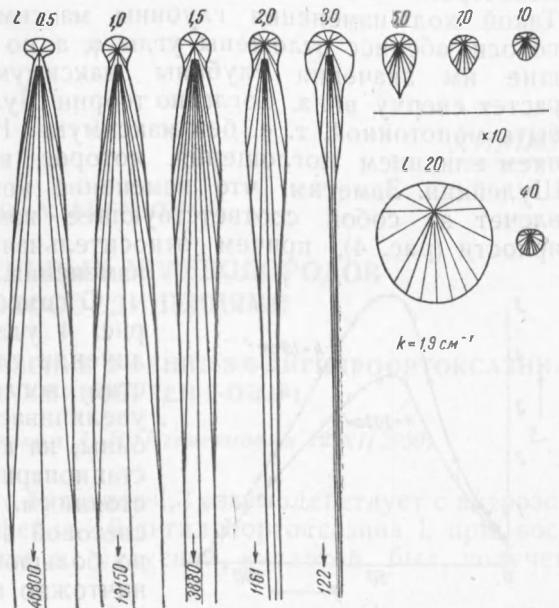


Рис. 3

$$k' = \sqrt{Ak}, \quad (3)$$

причем параметр A параболы растет при уменьшении размера рассеивающих частиц, т. е. от молочной среды к мыльной (коэффициент поглощения в указанных выше средах практически одинаков). Параметр A зависит также и от коэффициента поглощения среды. Соотношение (3), найденное опытным путем и справедливое для всей области исследованных концентраций (от $k = 0,3 \text{ см}^{-1}$ до $k = 12 \text{ см}^{-1}$), нигде в литературе не встречается, однако оно вытекает как след-

ствие из теоретических работ В. А. Амбарцумяна⁽³⁾ и Б. В. Овчинского⁽⁵⁾.

Далее, из рис. 1 видно, что глубина максимума при увеличении угла φ не остается постоянной, а именно: вначале растет, достигает некоторого наибольшего значения и затем начинает уменьшаться. Такой ход изменения глубины максимума приведен на рис. 4, где по оси абсцисс отложены углы φ , а по оси ординат — соответствующие им значения глубины максимума. Коэффициент рассеяния растет сверху вниз. Согласно теории Шулейкина, кривая рис. 4 должна быть монотонной, т. е. без максимума. Наличие максимума мы объясняем влиянием поглощения, которое не учитывал в своей теории Шулейкин. Заметим, что изменение коэффициента рассеяния среды влечет за собой соответствующее изменение глубины максимума яркости (рис. 4), причем относительная величина его остается без изменения.

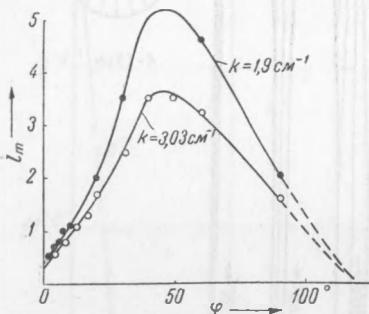


Рис. 4

вающих средах с большим коэффициентом поглощения ослабление с глубиной направлена светового потока происходит, главным образом, за счет рассеяния. Ослабление же с глубиной предельно рассеянного света в этих же средах происходит, главным образом, за счет поглощения (и в меньшей степени за счет отбрасывания света вверх), так как при многократном рассеянии свет проходит в среде громадного пути, прежде чем выйдет за пределы среды.

При освещении среды одним небесным рассеянным светом стационарная диаграмма распределения яркости наступает на значительно меньшей глубине, чем при освещении этой же среды потоком направленных лучей.

Морской гидрофизический институт
Академии наук СССР

Поступило
8 XII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ О. Д. Хвольсон, *Mel. phys. chim. Bull. de l'Acad. Impér. Sci.*, **12** (1887).
² В. В. Шулейкин, *Журн. геофизики*, **3**, в. 3—5 (1933). ³ В. А. Амбарцумян.
Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., № 3 (1942). ⁴ А. А. Гершун, *ДАН*, **49**, № 8 (1945). ⁵ Б. В. Овчинский, *ДАН*, **39**, № 3 (1943).