

К. И. ИВАНОВ

ИЗМЕНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ДИАМЕТРОВ ВЗВЕШЕННЫХ В ВОДЕ ЧАСТИЦ

(Представлено академиком В. В. Шулейкиным 15 VIII 1950)

Находящиеся в морской воде взвешенные вещества оказывают большое влияние на физико-химические, биологические и геологические процессы, происходящие в толще вод морей и океанов. Вследствие своей большой поверхности раздела взвешенные и коллоидные вещества обладают громадной сорбционной способностью. На поверхности этих частиц сорбируются большие количества многих элементов. Так например, обнаруженная связь между минимумом фосфатов и максимумом мутности в глубоководных частях Северной Атлантики объясняется в последнее время абсорбцией фосфатов на поверхности взвешенных частиц. Также большую роль играют взвешенные вещества в круговороте биогенных элементов и в процессах осадкообразования.

Как показано работами В. В. Шулейкина (1, 2), оптические свойства морских вод, как, например, прозрачность и цвет, в сильной степени связаны с наличием в воде взвешенных частиц. Им же разработаны теоретические основы рассеяния света взвешенными в морской воде частицами (2, 3). По его мнению, коэффициент рассеяния света в морях изменяется в очень широких пределах в зависимости от содержания взвешенных частиц (1). Зависимость между коэффициентом ослабления света и концентрацией взвешенных веществ также получена А. В. Трофимовым (4).

Наши предыдущие исследования показали, что между содержанием взвешенных веществ и прозрачностью по диску Секки существует гиперболическая зависимость (7), а между коэффициентом ослабления света и содержанием взвешенных веществ — линейная зависимость (8). Естественно возникает вопрос о влиянии размера частиц при одинаковой весовой концентрации взвешенных веществ на величину коэффициента ослабления света, так как по работам В. В. Шулейкина (2) известно, что энергия рассеяния света по мере увеличения диаметра частиц изменяется обратно пропорционально от λ^4 (для самых малых частиц порядка молекул) до λ^0 (для крупных частиц, диаметр которых во много раз превышает длину волны света). С целью выяснения зависимости между содержанием взвешенных веществ и коэффициентом ослабления света, составной частью которого в основном является коэффициент рассеяния, нами были поставлены опыты с каолином и глинистым илом, которые разводились в дистиллированной воде. Разделение на серии с одинаковым диаметром частиц производилось по принципу механического анализа (5). Дополнительный контроль размеров частиц производился при помощи микроскопа с окулярмикрометром.

Таблица 1

Изменение величины коэффициента ослабления света в зависимости от изменения весовой концентрации взвешенных веществ при разных диаметрах частиц

№№ сери	К а о л н и н				Г л н н и с т ы и л									
	Диаметры частиц		№№ проб	Взвешен. вещества, мг/л	Коэф. ослабления света K		Диаметры частиц	№№ проб	Взвешен. вещества, мг/л	Коэф. ослабления света K				
	2	3			4	5				6	7	8	9	10
			$K/B = a$	$K/B = a$										
1	$\leq 0,5 \mu$	1	36,8	3,98	10,49	0,44	0,28	$\leq 0,5 \mu$	{ 1 2 3 }	15,8 7,6 4,4	2,22 1,14 0,61	4,98 2,61 1,39	0,14 0,15 0,14	0,32 0,34 0,30
2	$\leq 1 \mu$	{ 1 2 3 4 }	60,8 29,6 15,2 7,9	7,83 3,98 2,01 1,02	17,74 9,37 4,87 2,54	0,43 0,43 0,43 0,43	0,29 0,32 0,32 0,32	$\leq 1 \mu$	{ 1 2 3 4 }	32,4 16,8 8,6 3,8	6,84 3,37 1,85 0,92	12,15 6,36 3,35 1,79	0,21 0,20 0,21 0,24	0,38 0,38 0,39 0,47
3	$\begin{matrix} < 1 \mu = 14\% \\ \text{от } 1 \text{ до } 2 \mu = 75\% \\ \text{от } 2 \text{ до } 3 \mu = 41\% \\ > 3 \mu = 2\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	30,0 14,4 7,6 3,7	7,75 3,98 2,01 1,02	12,79 6,77 3,55 1,86	0,43 0,28 0,26 0,28	0,43 0,47 0,47 0,50	$\begin{matrix} < 1 \mu = 22\% \\ \text{от } 1 \text{ до } 2 \mu = 67\% \\ > 2 \mu = 11\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	26,0 13,2 6,7 3,4	6,68 3,47 1,67 0,81	8,57 4,47 2,30 1,09	0,25 0,26 0,25 0,24	0,33 0,34 0,34 0,32
4	$\begin{matrix} < 2 \mu = 16\% \\ \text{от } 2 \text{ до } 5 \mu = 82\% \\ > 5 \mu = 2\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	41,6 21,0 9,9 5,7	10,00 5,23 2,64 1,31	10,00 5,16 2,62 1,27	0,24 0,25 0,27 0,23	0,24 0,25 0,26 0,22	$\begin{matrix} < 2 \mu = 17\% \\ \text{от } 2 \text{ до } 5 \mu = 65\% \\ > 5 \mu = 18\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	84,8 42,0 21,0 10,6	10,81 5,38 2,76 1,49	11,65 5,98 2,97 1,65	0,13 0,13 0,13 0,14	0,44 0,14 0,14 0,16
5	$\begin{matrix} < 5 \mu = 47\% \\ \text{от } 5 \text{ до } 10 \mu = 49\% \\ > 10 \mu = 4\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	83,0 41,5 20,7 11,0	6,99 3,67 2,01 0,92	6,36 3,55 2,00 0,86	0,084 0,088 0,097 0,084	0,077 0,086 0,097 0,078	$\begin{matrix} < 5 \mu = 17\% \\ \text{от } 5 \text{ до } 10 \mu = 63\% \\ > 10 \mu = 20\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	134,0 68,0 34,4 16,7	10,71 5,69 2,68 1,25	11,33 5,98 2,79 1,33	0,080 0,084 0,078 0,075	0,084 0,088 0,081 0,080
6	$\begin{matrix} < 10 \mu = 11\% \\ \text{от } 10 \text{ до } 25 \mu = 74\% \\ > 25 \mu = 15\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 4 }	222,8 116,5 58,8 28,4	8,24 4,20 2,08 0,97	8,02 3,98 1,93 0,80	0,037 0,036 0,035 0,034	0,036 0,034 0,033 0,028	$\begin{matrix} < 10 \mu = 84\% \\ \text{от } 10 \text{ до } 20 \mu = 84\% \\ > 20 \mu = 16\% \end{matrix}$	{ 1 2 3 }	277,0 145,2 68,4	13,98 7,45 3,67	14,73 8,02 3,87	0,050 0,051 0,054	0,053 0,055 0,056
7	$\begin{matrix} < 20 \mu = 20\% \\ \text{от } 20 \text{ до } 50 \mu = 70\% \\ > 50 \mu = 10\% \end{matrix}$	{ 1 2 }	164,0 78,0	2,76 1,37	2,79 1,39	0,017 0,018	0,017 0,018	$\begin{matrix} < 20 \mu = 15\% \\ \text{от } 20 \text{ до } 50 \mu = 84\% \\ > 50 \mu = 1\% \end{matrix}$	{ 1 2 }	259 103	6,38 3,19	6,46 3,25	0,025 0,031	0,025 0,032

В каждой выделенной серии посредством разбавления получались пробы с разным содержанием взвешенных веществ, в которых одновременно определялись весовая концентрация взвеси и светопропускающая способность в двух частях спектра $\lambda = 726 \text{ м}\mu$ и $\lambda = 436 \text{ м}\mu$ посредством фотометра типа Пульфриха. При определении последней стандартом служила дистиллированная вода, в силу чего поглощение и рассеяние света дисперсной средой автоматически исключались. Коэффициент ослабления света вычислялся по показательному закону при основании 10 и выражался в обратных метрах, как это принято в океанографической практике ⁽⁶⁾. Данные исследования (см. табл. 1) показывают, что между коэффициентом ослабления света K и весовой концентрацией взвешенных веществ B , при одинаковых диаметрах частиц, существует линейная зависимость, выражаемая уравнением:

$$K = aB,$$

где a — постоянная этой зависимости, характерная только для определенных размеров частиц.

Это положение справедливо как для каолина, так и для глинистого ила. При одной и той же весовой концентрации с изменением диаметра частиц изменяется и коэффициент ослабления света, но пропорционально последнему изменяется также величина a . В красной части спектра с увеличением диаметра частиц свыше $300 \text{ м}\mu$ величина a повышается, достигая максимума при частицах с диаметрами в $1,5 \text{ м}\mu$ (см. рис. 1). С дальнейшим увеличением диаметра частиц происходит уменьшение величины a сначала резко, а затем плавно и кривая асимптотически приближается к оси абсцисс, на которой нанесены величины диаметра

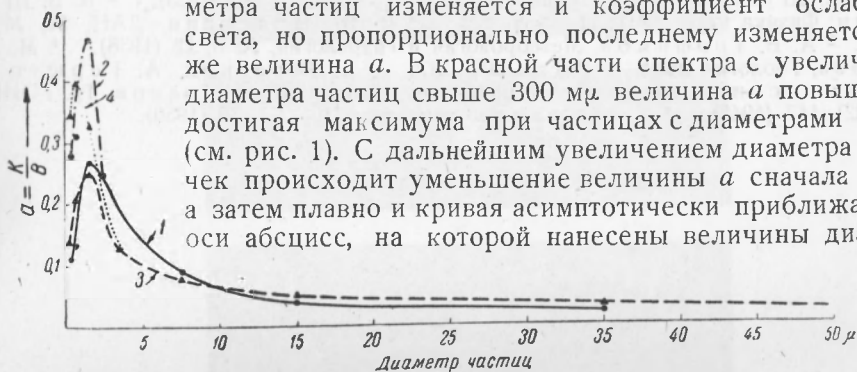


Рис. 1. Изменение величины $a = K/B$ в зависимости от изменения диаметров частиц. 1 — каолин, $\lambda = 726 \text{ м}\mu$; 2 — каолин, $\lambda = 436 \text{ м}\mu$; 3 — глинистый ил, $\lambda = 726 \text{ м}\mu$; 4 — глинистый ил, $\lambda = 436 \text{ м}\mu$

частиц. Максимум величины a в указанной части спектра наблюдается, когда диаметр частиц примерно равен двум длинам волн: $D \approx 2\lambda$.

Такая же закономерность наблюдается и в фиолетовой части спектра ($\lambda = 436 \text{ м}\mu$), где a в случае глинистого ила достигает максимума при диаметре частиц около $800 \text{ м}\mu$, т. е. при $D \approx 2\lambda$. Некоторое отклонение от этого положения в случае каолина можно объяснить тем, что выделение частиц с одинаковыми диаметрами с точностью до $0,5 \text{ м}\mu$ чрезвычайно затруднительно.

Характерно, что при малых диаметрах частиц ослабление света происходит сильнее всего в фиолетовой части спектра. С увеличением диаметра частиц разница в ослаблении света между фиолетовой и красной частями спектра уменьшается, и при $D \approx 3 \text{ м}\mu$ эта разница исчезает. Специально поставленные исследования с длинами волн $726, 665, 574, 550, 496, 465$ и $436 \text{ м}\mu$ показали, что частицы с диаметром выше $3 \text{ м}\mu$ ослабляют свет одинаково во всех частях видимого спектра. Это может быть только в том случае, когда ослабление света пропорционально λ^0 . Ослабление же света с диаметрами частиц $500 \text{ м}\mu < D < 3 \text{ м}\mu$ изменяется обратно пропорционально от λ^2 до λ^0 .

В морских водах с большой прозрачностью концентрация взвешенных веществ ничтожна и находится примерно в пределах от 0,2 до

2 мг/л. Прямое определение таких ничтожных количеств взвеси чрезвычайно затруднительно. Поэтому, несмотря на большой интерес, предъявляемый к взвешенным веществам со стороны всех отраслей океанографии, они не могли изучаться до самого последнего времени. На основе выявленной выше закономерности можно будет иметь представление о весовой концентрации взвешенных веществ путем определения коэффициента ослабления света сравнительно простым и точным способом при помощи фотометра типа Пульфриха. При этом необходимо провести микроскопический анализ размеров частиц. Ценность этого метода заключается также и в том, что изучение ослабления света можно провести на любых пробах, взятых с любых глубин, куда невозможно опустить обычные гидрофотометры с фотоэлементами.

Государственный океанографический институт
Главного управления
гидрометеорологической службы

Поступило
15 VIII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Шулейкин, Тр. Плов. мор. научн. ин-та, в. 10 (1925). ² В. В. Шулейкин, Физика моря, 1941, стр. 458—524. ³ В. В. Шулейкин, ДАН, 57, № 3 (1947). ⁴ А. В. Трофимов, Метеорология и гидрология, № 6, 12 (1938). ⁵ М. В. Кленова, Геология моря, 1948, стр. 200—218. ⁶ В. Березкин, А. Гершун и Ю. Янишевский, Прозрачность и цвет моря, 1940. ⁷ К. И. Иванов, Тр. ГОИН, в. 10 (22), 117 (1948). ⁸ К. И. Иванов, там же, в. 15 (27), 39 (1950).

К статье Б. Е. Гордон, стр. 913

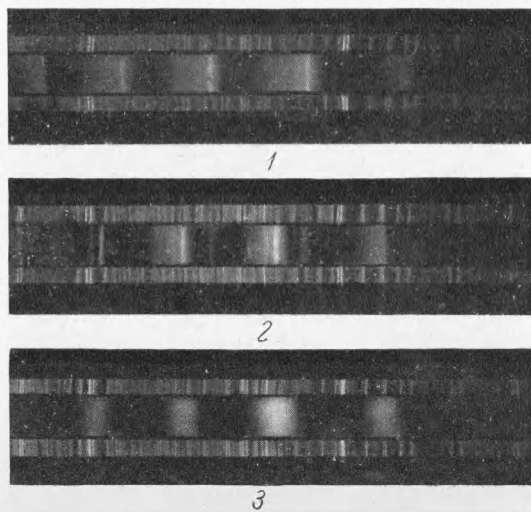


Рис. 1. Спектры люминесценции: 1— $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (I) при температуре жидкого воздуха; 2— $\text{UO}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (II) при температуре жидкого воздуха; 3—замороженного водного 3,6 M раствора UO_2SO_4 при температуре жидкого воздуха

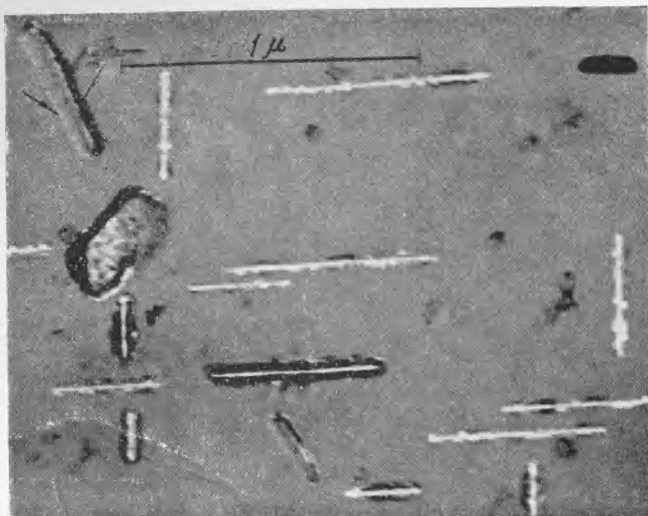


Рис. 1. Сплав Al — Si. Искусственное старение. 350°, 2,5 часа, электролитическая полировка

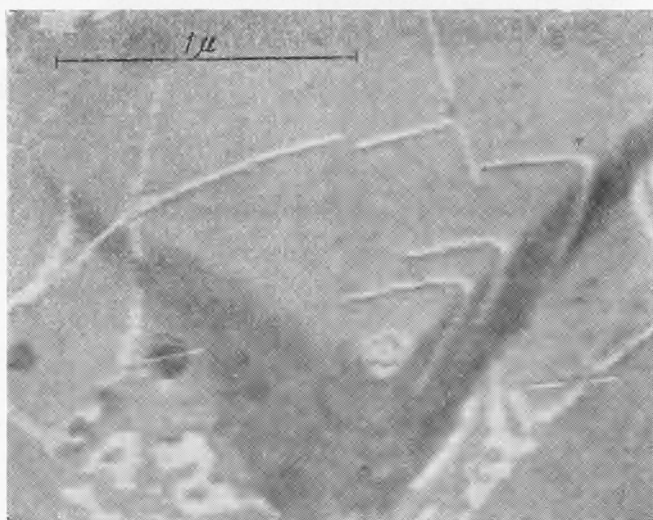


Рис. 2. Сплав Al — Ag. Искусственное старение. 210°, 40 мин., глубокое травление до термической обработки

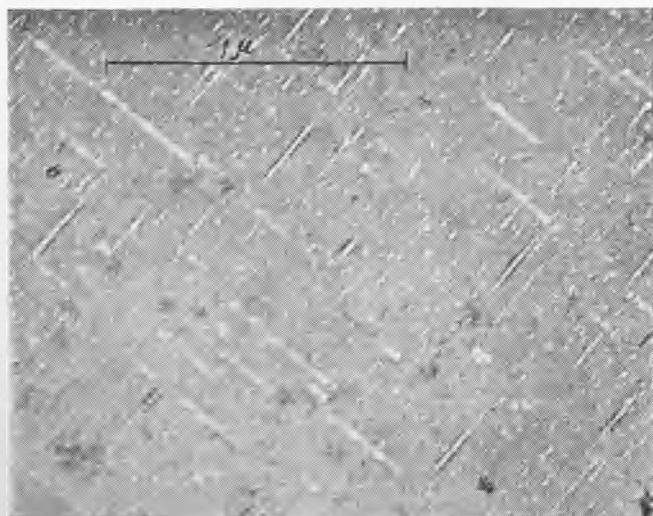


Рис. 4. Сплав Al — Mg — Si. Искусственное старение. 200°, 5,5 часа, электролитическая полировка