

ГЕОФИЗИКА

УДК 551.463

ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ИОНОВ
В МОРСКИХ АЭРОЗОЛЯХ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСПАРЕНИЯ
С ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

М. Р. Кузнецова, Е. В. Караваева, В. А. Твердислов

(кафедра физики атмосферы и математической геофизики)

Показано, что отличие химического состава морских аэрозолей от состава морской воды может быть обусловлено необратимыми процессами теплообмена между океаном и атмосферой, приводящими к изменению химического состава поверхностного микрослоя моря, из которого образуются аэрозоли.

Соотношения химических элементов в морских аэрозолях отличаются от соотношения этих же элементов в морской воде [1]. Исследование процессов образования аэрозолей показало, что аэрозоли образуются из воды тонкого поверхностного слоя моря толщиной до 20 мкм, а специфический состав морских аэрозолей связан с селективным обогащением различными ионами поверхностного микрослоя (ПМС) морской воды [2, 3].

В настоящее время показано, что перераспределение ионов в тонком поверхностном слое моря носит неравновесный характер и обусловлено необратимыми процессами тепло- и массообмена на границе контакта океан—атмосфера [4]. Насколько нам известно, прямых наблюдений зависимости химического состава аэрозолей от интенсивности теплообмена океана с атмосферой нет.

Цель настоящей работы — исследование химического состава образующегося в приводном слое атмосферы аэрозоля при различных значениях суммарного потока тепла из океана в атмосферу, обуславливающего термическую и химическую структуру холодной пленки океана. Основная трудность проведения подобных исследований заключается в том, что отобранные пробы морского аэрозоля могут включать не только вновь образующийся, но и уже содержащийся в воздухе аэрозоль, условия формирования которого проконтролировать невозможно. Мы полагаем, что влияние этого фактора можно свести к минимуму, отбирая пробы аэрозоля непосредственно над поверхностью моря, вблизи от источника генерации аэрозоля.

Во время экспедиции на Черном море (Кацивели) проводились натурные исследования может служить пространственно фиксированный процесс обрушения вали у морского пирса. Немаловажной представляется также возможность в той же точке отбирать пробы ПМС моря.

Во время экспедиции на Черном море (Кацивели) проводились натурные исследования химического состава морского аэрозоля при различных значениях суммарного потока тепла из океана в атмосферу. Аэрозоль собирали на фильтр Петрянова в течение 3 ч. Скорость протекания воздуха через фильтр — 0,85 м³/ч. Сбор аэрозоля проводили с пирса в 25 м от берега на высоте 1,5 м от поверхности моря. Параллельно отбирали пробы воды ПМС моря (300 мкм) при помощи сетки Гаррета и пробы подповерхностной морской воды с глубины 0,5 м. Стандартными метеорологическими методами измеряли скорость ветра V , температуры воды t_w и воздуха t_a , относительную влажность воздуха ϕ . Для химического анализа вещества, отобранного на фильтры, их подвергали мокрому озонению с концентрированной H_2NO_3 , золь растворяли в бидистиллированной воде. Анализ концентраций ионов проводили методом пламенной фотометрии (ошибка измерения концентраций 5% с доверительной вероятностью 0,95). Анализ проб воды, отобранных сеткой Гаррета, и подповерхностной воды проводили потенциометрическим методом (ошибка 0,4% при доверительной вероятности 0,95) [5]. Поток тепла E из океана в атмосферу на испарение рассчитали по методике, предложенной в [6].

По полученным данным были рассчитаны коэффициенты фракционирования ионов K^+ по ионам Na^+ в морском аэрозоле и в ПМС относительно морской воды с глубины 0,5 м:

$$F_{Na}^a(K) = \frac{(K^+/Na^+)_{\text{аэрозоль}}}{(K^+/Na^+)_{\text{глубина}}}; F_{Na}^{\text{ПМС}}(K) = \frac{(K^+/Na^+)_{\text{ПМС}}}{(K^+/Na^+)_{\text{глубина}}},$$

где K^+ и Na^+ — концентрации ионов калия и натрия соответственно. Для выявления взаимосвязей между полученными величинами ($x_1 \dots x_n$; $y_1 \dots y_n$) вычислены коэффициенты парной линейной корреляции:

$$R(X, Y) = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

Результаты натурных наблюдений приведены в таблице. Значения

$F_{Na}^{ПМС}$ (К), ϕ , t_w , t_a , V , E

здесь осреднены по пяти независимым измерениям на протяжении 3 ч.

Коэффициенты фракционирования F_{Na}^a (К) и $F_{Na}^{ПМС}$ (К), относительная влажность воздуха ϕ , температуры воды t_w и воздуха t_a , скорость ветра V , поток тепла на испарение из моря в атмосферу E ; погрешности измерений

№ пробы	F_{Na}^a (К)	$F_{Na}^{ПМС}$ (К)	ϕ , %	t_w , °С	t_a , °С	V , м/с	E , Вт/м ²
1	1,00	0,98	56	18	19	0,5	95
2	1,62	1,00	59	17	14,8	2	235
3	1,78	1,04	49	17,5	17,6	1,5	310
4	2,06	1,00	53	17	17	2,5	246
5	2,48	1,02	57	17	17	3	264
6	3,08	1,02	67	17,5	19,2	5	476
7	3,74	1,02	54	17,5	15,6	3,5	413
8	3,85	1,05	70	17,2	16,4	4	430
9	1,20	0,99	57	17	15	6	778
10	1,57	1,00	70	17	15,2	8	796
11	1,30	—	61	17	15,2	8	927
12	1,17	—	46	17	15	7	1156
Относительная ошибка измерения, % (доверительная вероятность 0,95)							
	10,8	1,5	2	5	5	20	22

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы.

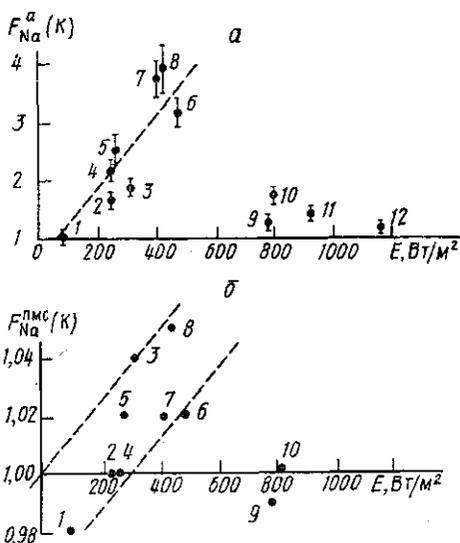
1. F_{Na}^a (К) в среднем равен $2,1 \pm 0,1$, $F_{Na}^{ПМС}$ (К) — $1,012 \pm 0,008$.

2. Между F_{Na}^a (К) и $F_{Na}^{ПМС}$ (К) существует линейная корреляция с вероятностью 0,9 (коэффициент $R(F_{Na}^a$ (К), $F_{Na}^{ПМС}$ (К)) = 0,7), что находится в соответствии с представлениями о происхождении аэрозоля.

3. На рисунке представлена зависимость коэффициентов фракционирования ионов в аэрозоле (а) и в ПМС моря (б) от различных значений потока тепла из моря в атмосферу на испарение. Отметим, что в области значений потока тепла до 600 Вт/м² между коэффициентами фракционирования и потоком тепла наблюдается линейная корреляция с вероятностью 0,9 ($R(F_{Na}^a$ (К), E) = 0,8 и $R(F_{Na}^{ПМС}$ (К), E) = 0,7). При больших значениях потоков тепла линейная зависимость нарушается, величины коэффициентов фракционирования ионов для аэрозоля уменьшаются в среднем до $1,31 \pm 0,06$, для ПМС отклонения коэффициента фракционирования ионов от единицы лежат в пределах ошибки определения. По-видимому, этот факт может быть объяснен тем, что значения потоков тепла, превышающие 600 Вт/м², в наших экспериментах наблюдались при скоростях ветра, больших 6 м/с, когда значительно усиливается процесс разрушения холодной пленки при обрушении волн в прибойной зоне и, кроме того, резко меняется термодинамическая структура поверхностного слоя моря.

[7]. В результате этого заметные эффекты перераспределения ионов в ПМС не успевают накапливаться, поскольку, как было показано в работе [8], формирование ионного состава поверхностного слоя моря происходит за время, существенно большее, чем характерные времена диффузионных процессов.

Зависимость коэффициентов фракционирования ионов от потоков тепла на испарение E в естественном морском аэрозоле (а) и в ПМС моря (300 мкм) (б). Одинаковые цифры соответствуют одновременно отобраным пробам ПМС моря и аэрозоля



Таким образом, отличие химического состава морских аэрозолей от состава морской воды может определяться необратимыми процессами тепломассообмена между океаном и атмосферой, обуславливающими химический состав поверхностного микрослоя моря, из воды которого формируются аэрозоли.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Безбородов А. А., Еремеев В. Н. Физико-химические аспекты взаимодействия океана и атмосферы. Киев, 1984. [2] Blanchard D. C. // Progr. in Oceanogr. 1963. 1. P. 71. [3] Cirriano R. G., Blanchard D. C. // J. Geophys. Res. 1981. 86, NC9. P. 8085. [4] Караваева Е. В., Исламова М. Р., Твердислов В. А., Хунджуа Г. Г. // Океанология. 1990. 30, № 2. С. 228. [5] Савенко В. С. Введение в ионметрию природных вод (применение ионоселективных электродов в геохимии). Л., 1986. [6] Будыко М. И. Испарение в естественных условиях. Л., 1948. [7] Лебедев В. Л. Граничные поверхности в океане. М., 1986. [8] Караваева Е. В., Кузнецова М. Р., Недашковский А. П. и др. // ДАН СССР. 1991. 319, № 1. С. 231.

Поступила в редакцию
28.01.92