

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГЛАВНАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ им. А. И. ВОЕЙКОВА

Т Р У Д Ы

ВЫПУСК 343

РАСПРОСТРАНЕНИЕ
МОРСКИХ АЭРОЗОЛЕЙ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ

Под редакцией
д-ра геогр. наук Е. С. СЕЛЕЗНЕВОЙ
канд. физ.-мат. наук О. П. ПЕТРЕНЧУК



ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ

ЛЕНИНГРАД • 1974

Ленинградский
Гидрометеорологический ин-т

545135

Обсуждаются результаты экспериментальных исследований аэрозолей на побережье Черного моря. Приводятся характеристики химического состава аэрозолей, их размеры и счетная концентрация на разном удалении от берега (до 2 км). По данным о химическом составе атмосферных осадков рассматривается распространение морских хлоридов на побережье до расстояний в несколько километров. Рассматривается химический состав дождевой воды на акватории Тихого океана. Приводятся характеристики дисперсного и химического состава континентальных аэрозолей и рассматривается их отличие от морских.

The results of experimental aerosol investigations on the Black Sea coast are discussed in the first four papers of this volume. The characteristics of chemical composition of aerosol particles, their size distribution and number concentrations at different distances from the sea coast up to 2 km. are given. Basing on data about the chemical composition of precipitation the distribution of sea-origin chlorides is considered above the sea coast up to the distances of several kilometers.

The paper concerning the chemical composition of rain water over some areas of the Pacific Ocean is also included into the volume.

The latter, as distinct from the preceding ones, is devoted to continental aerosols. The characteristics of size distribution and chemical composition of these aerosols are given and their distinction from sea salt aerosols is considered.

О. П. ПЕТРЕНЧУК, В. А. ИОНИН

КОНЦЕНТРАЦИЯ И ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ АЭРОЗОЛЕЙ НА МОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ КРЫМА

Изучение выноса солевых аэрозолей на континент с поверхности морей и океанов важно для решения широкого круга проблем, связанных с засолением почв и водоемов, выяснением происхождения активных ядер конденсации в атмосфере и процессами облако- и осадкообразования, коррозией металлов и железобетонных сооружений в прибрежных районах.

Разбрызгивание капель морской воды при волнении моря, сопровождающееся пенообразованием, и последующее их диспергирование наряду с процессом молекулярного испарения при относительно спокойной морской поверхности приводит к образованию большого количества гигроскопических аэрозолей, переносимых воздушными течениями в атмосфере. Морские аэрозоли по особенностям своего образования являются полидисперсными, и их стабильность в атмосфере определяется их дисперсностью и метеорологическими условиями.

В исследованиях по выносу морских солей на континент с акваторий Каспийского и Черного морей, проведенных к настоящему времени [2, 3, 5], для определения плотности потока частиц и их дисперсного состава применялся метод вертикальных экранов, экспонируемых в атмосфере в течение определенного промежутка времени. Однако в силу обтекания экрана воздушным потоком и невозможности точного учета объема воздуха, из которого частицы попадают на экран, этот метод является относительным. Он дает представление лишь о размерах крупных аэрозолей, оседающих на экране, и совершенно недостаточен для характеристики мелкодисперсной фракции, которая может переноситься воздушными течениями на значительные расстояния, создавая фон аэрозолей в атмосфере от естественных источников.

Более надежные сведения о концентрации и дисперсном составе аэрозолей дают методы, основанные на аспирации фиксируемого объема воздуха через прибор, на приемной поверхности которого

происходит инерционное осаждение аэрозолей, подвергающихся затем микроскопическому анализу. Такими приборами, получившими в последнее время широкое распространение, являются импакторы, имеющие различное число каскадов, обеспечивающих разделение частиц при их сборе по размерам, что облегчает их подсчет и определение дисперсности.

В связи с этим при исследовании распространения аэрозолей в прибрежном районе Крыма (пос. Качивели) для определения их концентрации и дисперсного состава нами использовался трехкаскадный импактор, сконструированный Н. Н. Александровым [1].

С помощью этого импактора в период с 21 сентября по 6 октября 1971 г. и с 17 мая по 7 июня 1972 г. отбирались пробы воздуха в двух пунктах, один из которых располагался непосредственно у берега моря (15 м), а другой находился на расстоянии 2023 м от моря. В некоторых случаях отбор проб проводился также на промежуточных пунктах. Схема расположения пунктов приводится в табл. 1.

Таблица 1

Расположение пунктов наблюдений

Номер пункта	1	2	3	4
Расстояние от моря, м	15	213	690	2023
Высота над уровнем моря, м	7,0	41,0	111,3	377,7

Всего за рассматриваемый период было отобрано 56 проб аэрозолей, которые с учетом трех каскадов импактора охватывали 164 приемные пластинки импактора. В этих пробах было сосчитано около $2 \cdot 10^5$ аэрозольных частиц, которые затем подразделялись на 5 групп в соответствии с их размерами. В среднем на каждую пробу приходилось около 4000 частиц.

Пробы аэрозолей отбирались в течение 20—30 мин на стеклянные пластинки импактора, покрытые маслом, при скорости аспирации 15—20 л/мин. Необходимый напор воздуха создавался переносным ротационным устройством ПРУ-4 с общей производительностью 50 л/мин. Непосредственно после отбора пробы подвергались микроскопическому исследованию.

При помощи микрофотонасадки МФН-3 с пленочной фотокамерой «Зоркий-С», установленной на микроскопе МБР-1 с разрешающей способностью от 0,5 мкм и выше, проводилось фотографирование аэрозолей в 15—20 квадратах аэрозольного следа в направлении его радиуса. Последующее определение числа и размеров частиц осуществлялось полуавтоматически посредством установки П. В. Дьяченко [6].

Концентрация частиц вычислялась по формуле

$$N = \frac{nS}{VS_1}, \quad (1)$$

где n — среднее число частиц на одном квадрате; S — площадь аэрозольного следа; S_1 — площадь одного квадрата; V — объем пропущенного воздуха.

Относительная предельная ошибка в определении концентрации аэрозольных частиц выражается следующим образом:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta n}{n} + \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta S_1}{S_1}. \quad (2)$$

Очевидно, что при $S = \pi r^2$, $\frac{\Delta S}{S} = \frac{2\Delta r}{r}$, где r — радиус аэрозольного следа, который определялся из 6 измерений в разных направлениях. Относительная ошибка в определении радиуса, подсчитанная из 50 измерений радиуса аэрозольного следа (50 проб), составляет 0,03, т. е. 3%, отсюда $\frac{\Delta S}{S} = 6\%$.

Относительная ошибка в определении объема пропущенного воздуха выражается как $\frac{\Delta V}{V}$. Здесь $V = vt$, где v — объемная скорость аспирации воздуха, t — время аспирации. Величина v определялась по тарировочным графикам, которые строились для каждого ротаметра воздуходувки в начале и по окончании всего периода наблюдений. Как показали данные тарировки, при скорости аспирации 15—20 л/мин ошибкой в определении скорости можно пренебречь. И, следовательно, точность определения V обуславливается точностью определения времени аспирации. Принимая ошибку в определении t , равной 0,5 мин, при длительности аспирации 30 мин, получаем, что $\frac{\Delta V}{V} = \frac{0,5}{30} \approx 0,02$, т. е. 2%.

Член $\frac{\Delta S_1}{S_1}$ в (2) выражает относительную ошибку в определении площади фотографируемого квадрата аэрозольного следа S_1 , выражающуюся как $S_1 = \frac{a'b'}{M^2}$, где a' и b' — ширина и длина кадра, равные соответственно 24 и 36 мм, M — масштаб изображения на пленке камеры, равный 200 (согласно паспортным данным микрофотонасадки МФН-3). Линейные размеры кадра можно определить с точностью 0,25 мм, тогда $\frac{\Delta S_1}{S_1} = \frac{0,25}{24} + \frac{0,25}{36} = 0,017$, т. е. 1,7%.

Ошибка $\frac{\Delta n}{n}$ имеет статистический характер. Она обусловлена тем, что концентрация аэрозольных частиц в пробе определяется числом частиц, осевших не на всю площадь аэрозольного следа, а лишь на несколько ее квадратов. Вероятность осаждения n частиц на некоторый счетный квадрат при среднем их числе на этом квадрате \bar{n} выражается законом Пуассона [4]

$$P_n = \frac{\bar{n}^n e^{-\bar{n}}}{n!}. \quad (3)$$

При достаточно большом числе оседающих частиц распределение Пуассона переходит в такое распределение Гаусса

$$P_n = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{n-\bar{n}}{\sigma}\right)^2}, \quad (4)$$

для которого дисперсия равна среднему, т. е. $\overline{\sigma_n^2} = \bar{n}$ и $\sigma = \sqrt{\bar{n}}$.

Выражение для относительной ошибки измерений имеет вид [9]

$$\delta' = \frac{k\sigma}{\bar{n}} = \frac{k}{\sqrt{\bar{n}}}, \quad (5)$$

где k — величина, выражающая интервал погрешностей в единицах σ (т. е. количество среднеквадратичных отклонений).

Вычисленные значения δ' при k , равные 1,65 и 2, что соответствует доверительной вероятности 0,90 и 0,95, приводятся в табл. 2.

Таблица 2

\bar{n}	10	30	50	70	100	200	500	1000	2000	3000	4000
$\delta'_{0\%}$ $k=1,65$	52	30	23	20	16,5	11,7	7,4	5,2	3,7	3,0	2,6
$k=2$	63	36,5	28	24	20	14	8,9	6,3	4,5	3,6	3,2

Из приведенной таблицы видно, что для получения надежных результатов с ошибкой не больше 7—9% \bar{n} должно быть не менее 500 частиц.

В формуле (1) для определения концентрации аэрозолей n — среднее число аэрозолей на одном квадрате. Оно получается из измерений в 15—20 квадратах, взятых по радиусу аэрозольного пятна.

Если рассматривать \bar{n} как $\sum_{i=1}^{15-20} n_i$, где n_i — число частиц на i -том квадрате, и учесть, что в каждой пробе на всех этих квадратах подсчитывалось до 4000 частиц, то видно, что относительная ошибка измерений составляет около 3%. Таким образом, величину $\frac{\Delta n}{n}$ в формуле (2) можно принять равной 3% и, следовательно, общая относительная ошибка определения числа частиц в единице объема воздуха составляет $\frac{\Delta N}{N} = 13\%$.

Проведенный анализ полученных данных по дисперсному составу аэрозолей показывает, что распределение числа аэрозолей в зависимости от их радиуса, взятое в логарифмическом масштабе, подчиняется распределению Х. Юнге для крупных и гигантских частиц [10]

$$\frac{dN}{d(\lg r)} = Cr^{-\beta}, \quad (6)$$

где N — концентрация аэрозольных частиц в единице объема воздуха; C — постоянная величина.

Как показали работы ряда авторов [11, 12, 13], показатель степени β может изменяться в отдельных измерениях от 2 до 5 в зависимости от места исследования, метеорологических условий и концентрации аэрозолей. При этом для континентальных аэрозолей вследствие самосохранения их спектра под влиянием процессов коагуляции мелких и седиментации крупных частиц, а также под влиянием процессов конденсации и испарения дождевых и облачных капель в среднем $\beta = 3$.

В случае морских аэрозолей, согласно исследованиям Метникса [14], выполненным на побережье Ирландии, значения β колебались от 0,97 до 3,71 при средней величине 2,30.

Результаты, полученные нами при изучении распределения по размерам и концентрации крупных и гигантских аэрозолей на Черноморском побережье, содержатся в табл. 3. Область размеров аэрозолей, улавливаемых импактором, составляла в среднем $1 \text{ мкм} \leq r \leq 12 \text{ мкм}$, однако, в некоторых случаях максимальный радиус частиц достигал 75 мкм.

Из табл. 3 видно, что в среднем суммарная концентрация аэрозолей убывает с удалением от берега моря. Проведенный нами анализ результатов одновременных измерений числа аэрозолей в 1-м и 4-м пунктах (рис. 1), позволил установить существование линей-

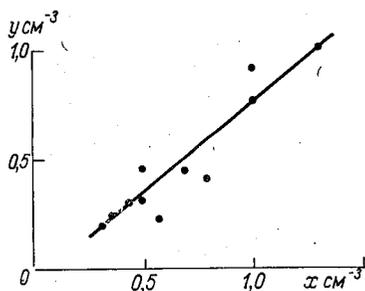


Рис. 1. Корреляционная зависимость между счетной концентрацией аэрозолей в 1-м и 4-м пунктах.

Таблица 3

Концентрация аэрозолей в воздухе

Пункт	Число аэрозолей в 1 см ³ воздуха			β			Число проб
	максимальное	минимальное	среднее	максимальное	минимальное	среднее	
1	1,93	0,23	0,84	4,0	1,4	2,4	26
4	1,55	0,21	0,66	4,2	2,2	2,6	18

ной зависимости между этими величинами, которая представляется как $y = a + bx$, где x, y — счетная концентрация аэрозолей в единице объема воздуха для пунктов 1 и 4 соответственно; a и b — параметры. Соответствующее уравнение регрессии, полученное методом наименьших квадратов, имеет следующий вид:

$$y = 0,84x - 0,07. \quad (7)$$

Из табл. 3 видно, что все значения показателя β несколько увеличиваются с расстоянием от берега моря. Это, очевидно, обусловлено уменьшением содержания крупнодисперсной фракции морских аэрозолей, за счет их выпадения при распространении в глубь полуострова. Действительно, из анализа конкретных случаев обнаруживается, что при скорости ветра 9—11 м/с вклад мелкодисперсной фракции с расстоянием увеличивается, и это находит свое отражение в увеличении β .

На рис. 2 представлены распределения числа аэрозолей в различных пунктах, которые показывают, что при сильном ветре в более отдаленных от моря пунктах кривые имеют больший наклон. Соответствующие этим распределениям значения β содержатся в табл. 4, где приводятся также величины, характеризующие вклад мелко- и крупнодисперсной фракции исследуемых аэрозолей в суммарную счетную и массовую концентрацию.

Таблица 4

Дата	Пункт	Число частиц в 1 см ³	β	Число частиц, %		Масса частиц, %		Скорость ветра, м/с
				1 5 мкм	5 12,5 мкм	1 5 мкм	5 12,5 мкм	
24 IX 1971 г.	1	0,53	1,85	96	4	31	69	11
6 VI 1972 г.	1	0,59	1,70	86	14	33	67	9
	4	0,58	2,24	92	3	51	49	
7 VI	1	0,63	1,41	85	15	32	68	10
	2	0,32	2,12	92	8	69	31	
2 X	1	0,48	2,30	97	3	51	49	3,5
	4	0,31	2,20	98	2	58	42	
25 V	1	0,56	3,10	98	2	64	36	Штиль, 1,5
	4	0,32	2,90	95	5	61	39	

Массовая концентрация аэрозолей определялась на основании рассчитанного распределения числа частиц в зависимости от логарифма радиуса по формуле

$$M = \rho \int_{r_1}^{r_2} \frac{dV}{d(\lg r)} d(\lg r), \quad (8)$$

где $\frac{dV}{d(\lg r)} = \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{dN}{d(\lg r)}$; ρ — плотность частиц, которая для частиц морской соли принимается равной 2,2 г/см³ [14].

Анализ конкретных примеров в табл. 4 показывает, что при сильном ветре с удалением от моря происходит изменение аэрозольного спектра, приводящее к увеличению вклада частиц с радиусом $1 \text{ мкм} \leq r \leq 5 \text{ мкм}$ как в счетную, так и массовую концентрацию.

При небольших скоростях ветра и слабом волнении моря, когда процесс брызгообразования отсутствует, распределения концентрации аэрозолей в разных пунктах являются более устойчивыми. При этих условиях в некоторых случаях в 4-м пункте может иметь место

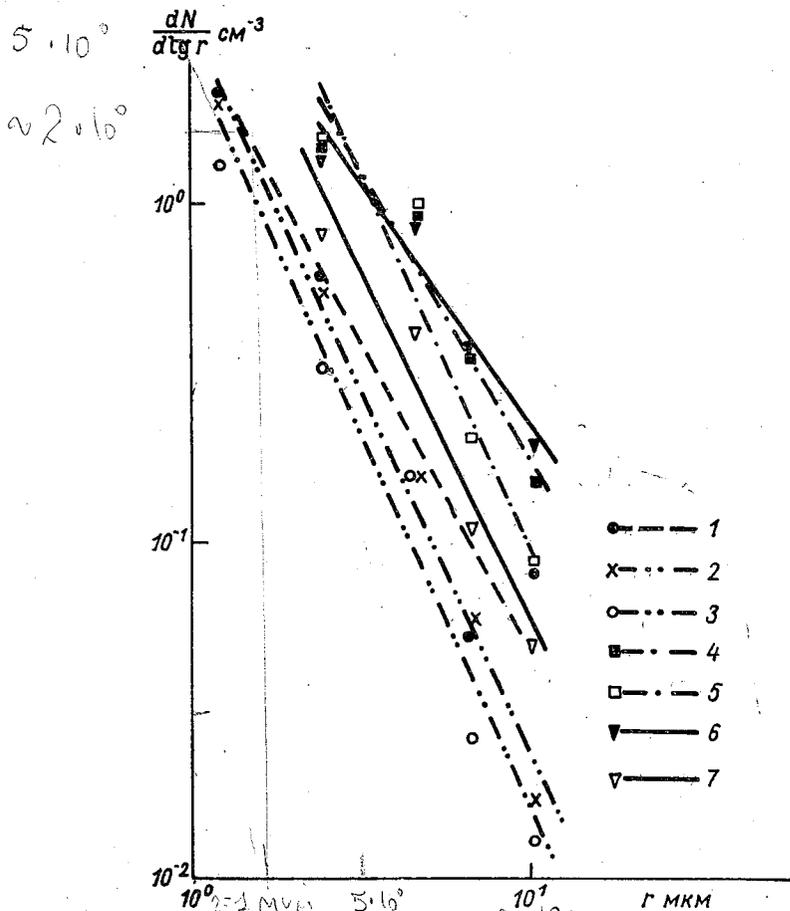


Рис. 2. Распределение числа аэрозолей в зависимости от логарифма их радиуса.

1 — 24 IX 1971 г., 1-й пункт; 2 — 2 X 1971 г., 1-й пункт; 3 — 2 X 1971 г., 4-й пункт; 4 — 6 VI 1972 г., 1-й пункт; 5 — 6 VI 1972 г., 4-й пункт; 6 — 7 VI 1972 г., 1-й пункт; 7 — 7 VI 1972 г., 2-й пункт.

даже слабое увеличение крупнодисперсной фракции, что, очевидно, объясняется влиянием континентальных источников.

Для оценки вклада растворимых морских солей NaCl в общую концентрацию аэрозолей нами проводилось сопоставление массовой концентрации аэрозолей, рассчитанной по известному распределению их числа в зависимости от радиуса, с содержанием ионов Cl⁻ в воздухе, определяемым в то же самое время независимым

образом химическим методом [8]. Учитывая, что ионы Cl^- в рассматриваемом районе имеют морское происхождение и присутствуют в основном в виде соединения NaCl , можно найти концентрацию ионов Na^+ умножением концентрации ионов Cl^- на 0,66 и путем суммирования полученных значений концентраций ионов Cl^- и Na^+ определить концентрацию частиц NaCl . В табл. 5 приводится вклад частиц NaCl , имеющих морское происхождение, в массовую концентрацию аэрозолей.

Таблица 5

Оценка вклада морских солей в расчетную массовую концентрацию аэрозолей

Дата	Пункт	Число частиц в 1 см ³	Расчетная массовая концентрация, мкг/м ³	Аналитическая концентрация Cl^- , мкг/м ³	Доля морских солей NaCl , %	Скорость ветра, м/с
24 IX 1971 г.	1	0,53	246	606		11
6 VI 1972 г.	1	0,59	740	945		9
	3	0,53	525	7	3	
	4	0,58	542	4	1,5	
	1	0,63	800	1950		10
7 VI	2	0,32	285	35	24,6	
	3	0,26	238	12	10	
	1	1,93	926	39	8,4	7,5
18 V	4	1,55	632	0,7	0,2	
	1	1,64	583	32	11	6,4
22 V	1	0,58	256	3	1,6	Штиль 2,0
19 V	4	0,50	173	1,8	2,1	
25 V	1	0,56	185	1,1	1,2	Штиль 1,5
	4	0,32	213	0	0	
27 V	1	0,39	166	1,6	2	Штиль 2,0
29 V	1	0,64	225	3,3	3	Штиль 1,5
	4	0,39	350	1,6	1	

Полученные данные показывают, что при сильном ветре с моря ($v=9-11$ м/с) количество растворимых солей в 1-м пункте превосходит массовую концентрацию аэрозолей, собранных посредством импактора. Это можно объяснить поступлением в атмосферу крупных солевых частиц в результате процесса брызгообразования при сильном ветре и волнении моря. Их концентрация по сравнению с более мелкой фракцией невелика (см. табл. 4), хотя именно они обеспечивают основной вклад в массовую концентрацию аэрозолей. Распределение крупных частиц в пространстве и времени имеет случайный характер. Вероятность их попадания на приемную поверхность забортного устройства в случае, если линейная скорость прохождения воздуха через него сравнима или меньше скорости набегающего потока (в нашем случае линейная скорость для импактора составляла 3,0, а для фильтра 0,3 м/с), определяется площадью приемной поверхности S и временем отбора пробы t . Поскольку отношение площадей и времени отбора проб для фильтровентиляционной установки и импактора равны соответственно

$$\frac{S_{\Phi}}{S_{\text{ИМП}}} = 16,4, \quad \frac{t_{\Phi}}{t_{\text{ИМП}}} = 5,0, \quad \text{то становится очевидным, что при силь-}$$

ном ветре на фильтр попадает значительно больше крупных частиц, чем в импактор. Это в свою очередь и приводит к тому, что концентрация растворимых морских солей в 1-м пункте, уловленных фильтром, превосходит массовую концентрацию аэрозолей, собранных импактором.

При удалении от берега моря, а также при ослаблении скорости ветра вклад растворимых морских солей в массовую концентрацию уменьшается. При штилевых условиях он мало меняется в различных пунктах, составляя около 2—3%.

Таким образом, на основании полученных результатов можно заключить, что основная масса солей поступает в атмосферу при сильных морских ветрах. Однако дальность распространения их в исследуемом районе сравнительно невелика, и уже на расстоянии 700 м становится ощутимым влияние континентальных источников аэрозолей.

При слабом ветре и штилевых условиях заметную роль приобретают континентальные источники аэрозолей, которые являются определяющими даже в непосредственной близости к морскому побережью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Н. Н., Петренчук О. П., Хусанов Г. Х. Исследование аэрозолей посредством импактора.— «Труды ГГО», 1973, вып. 293.
2. Беляев Л. И. К вопросу о выносе морских солей в атмосферу и о ходе его.— «Труды МГИ АН СССР», 1955, вып. 7.
3. Блинов Л. К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря.— «Труды ГОИН», 1950, вып. 15 (27).
4. Гольдманский В. И., Куценко А. В., Подгорецкий М. И. Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц. М., Физматгиз, 1959.
5. Доброклонский С. В., Вавилов П. Б. К вопросу о выносе солей на сушу с брызгами морской воды.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геоф.», 1938, № 1.
6. Дьяченко П. В. Установка для обработки микрофотографий капель облаков и туманов.— «Труды ГГО», 1968, вып. 224.
7. Петренчук О. П. О закономерности распределения концентрации хлоридов в воздухе и коррозии металла в прибрежных районах.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.
8. Петренчук О. П., Лавриненко Р. Ф. Химический состав аэрозолей на морском побережье Крыма.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.
9. Худсон Д. Статистика для физиков. М., «Мир», 1970.
10. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., «Мир», 1965.
11. Blifford I. H., and Ringer L. D. The size and number distribution of aerosol in the continental troposphere.— *J. Atm. Sci.* 1969, v. 26, No. 4, pp. 716—726.
12. Blifford I. H., Jillette D. A. Application of the log-normal frequency distribution to the chemical composition and size distribution of naturally occurring atmospheric aerosols.— *Water, Air, and Soil Pollution*, 1971, No. 1, pp. 106—114.
13. Friedlander S. K., and Pasceri R. E. Measurements of the particle size distribution of the atmospheric aerosol. I Introduction and experimental methods.— *J. Atm. Sci.*, 1965, v. 22, pp. 571—576.
14. Metnieks A. L. The size spectrum of large and giant sea-salt nuclei under maritime conditions.— *Geophysical Bull.*, 1958, v. 1, No. 15.

О. П. ПЕТРЕНЧУК, В. А. ИОНИН,
Р. Ф. ЛАВРИНЕНКО

О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ПОБЕРЕЖЬЯХ ЧЕРНОГО И АЗОВСКОГО МОРЕЙ

Изучению физико-химических свойств атмосферных аэрозолей уделяется большое внимание в связи с важной ролью, которую они играют в процессах образования облаков и осадков, атмосферного электричества, распространения радиации. В приморских районах их роль чрезвычайно возрастает, так как наряду с перечисленными явлениями они могут участвовать в процессах засоления и генезиса почв, а также значительно повышают коррозионную агрессивность атмосферы.

Учитывая, что данные о содержании и составе аэрозолей в атмосфере прибрежных районов имеют непосредственное практическое значение для строительства и эксплуатации различных конструкций вследствие их сильного корродирующего действия, нами были приняты работы в 1971—1972 гг. по определению количественного содержания и химического состава аэрозолей в приземном слое атмосферы на побережьях Черного и Азовского морей.

На берегу Черного моря исследования выполнялись на экспериментальной базе Морского гидрофизического института АН УССР в пос. Кацивели, расположенном на мысе Кикинеиз южного побережья Крымского полуострова, которое характеризуется чрезвычайным разнообразием рельефа. Прибрежная зона в Кацивели отличается значительной неровностью и изрезанностью, имеет сложную конфигурацию и обрывистый, скалистый берег. Достаточно большие глубина и акватория Черного моря, а также его «приглубые» берега благоприятствуют развитию волн, высота которых может достигать 7 м, а длина 150 м и созданию зоны прибоя при разрушении волн вблизи уреза воды [7].

В противоположность этому рельеф пространства, окружающего Азовское море, равнинный, характерный ландшафт представляют степи. Главной особенностью берегов Азовского моря является серия кос, выходящих узкими песчано-ракушечными полосами на десятки километров в открытое море. Ограниченные размеры и мелководность Азовского моря препятствуют развитию больших волн даже при сильном ветре. Такая специфика физико-географических условий на побережьях Черного и Азовского морей не могла не сказаться на химическом составе атмосферных аэрозолей в этих районах, особенности которого рассматриваются ниже.

Отбор проб аэрозолей для определения их химического состава в местах исследования осуществлялся аспирационным методом. Сущность метода заключается в том, что воздух, содержащий аэрозольные частицы просасывался при помощи аспирационного устройства через фильтр марки АФА-ХП-18, который закреплялся в фильтродержателе. Необходимый объем аспирируемого воздуха составлял около 5 м³. После экспонирования фильтр с пробой аэрозолей помещался в дистиллированную воду. Полученный раствор подвергался затем химическому анализу на определение содержания ионов Cl⁻, SO₄²⁻ и величины электропроводности, а в некоторых случаях ионов Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, по методам, используемым в ГГО для химического анализа атмосферных осадков [5].

Концентрация хлоридов определялась объемным меркуриметрическим методом, основанным на титровании ионов хлора раствором азотнокислой ртути со смешанным индикатором дифенил—карбазон + бромфеноловый синий. Чувствительность метода составляет 0,2 мг/л. Сульфаты определялись турбидиметрическим методом, чувствительность которого составляет 0,5 мг/л.

На основании рассмотрения результатов исследований, выполненных на побережье Черного моря в Кацивели, установлена большая роль ветрового выноса аэрозолей с моря на полуостров, становящегося значительным при скорости ветра $v > 7$ м/с и волнении моря более 3—4 балла [8]. Основной вклад в химический состав аэрозолей при ветре с моря, который преобладал в период проведения экспериментальных работ в этом районе, вносят частицы NaCl и CaSO₄. Концентрация ионов хлора в береговой зоне в сильной степени зависит от скорости ветра, увеличиваясь непосредственно у береговой черты (на расстоянии 15 м от линии уреза воды) от 2 до 2000 мкг/м³ при возрастании скорости ветра от 0 до 11 м/с. Наиболее заметное убывание концентрации хлоридов обнаруживается в береговой полосе шириной в несколько сотен метров при скорости ветра $v > 7$ м/с. Начиная с расстояния около 700 м и далее в глубь полуострова содержание хлоридов в воздухе мало меняется при любых скоростях ветра. В противоположность распределению хлоридов, каких-либо закономерностей в отношении изменения концентрации ионов SO₄²⁻ с удалением от берега не обнаруживается. В дни наблюдений во всех пунктах отмечалась довольно однородная концентрация сульфатов от 3 до 30 мкг/м³. Лишь в двух случаях при морском ветре со скоростью 10 м/с и волнении моря 3—4 балла концентрация SO₄²⁻ достигала в непосредственной близости к берегу 130 и 220 мкг/м³.

Полученные закономерности распространения хлоридов на побережье Черного моря от береговой черты на расстояние около 2000 м в глубь полуострова при различных скоростях ветра хорошо описываются найденными эмпирическими соотношениями [9]. Общий вид формулы, выражающей зависимость изменения концентрации хлоридов с расстоянием от берега в береговой зоне шириной

до 2000 м записывается следующим образом:

$$\lg C = \lg a + b \lg x,$$

где C — концентрация хлоридов в мкг/м^3 ; x — расстояние от берега моря в метрах; a и b — параметры. Величина a представляет собой концентрацию хлоридов при $\lg x = 0$, т. е. при $x = 1$ м, b характеризует скорость убывания концентрации хлоридов с удалением от берега. Параметры a и b определяются физико-географическими особенностями местности и метеорологическими условиями. Для Кацивели были получены следующие значения параметров a и b :

Скорость ветра, м/с	a	$\lg z$	b
0—3	3,91	0,592	—0,15
3—7	85,0	1,929	—0,52
7	11685,0	4,067	—1,135

Исследования химического состава атмосферных аэрозолей на побережье Азовского моря проводились в период с 12 сентября по 9 октября 1972 г. в трех пунктах, расположенных на восточном (Ейск, Должанская) и на северном (Геничеськ) берегу моря.

Места наблюдений выбирались на морском берегу вблизи метеостанций. Так, в Ейске наблюдения проводились на расстоянии 3 м от берега, рядом с будкой метеографа. Однако в связи с тем, что недалеко от метеостанции находился морской порт и на составе аэрозолей могло неизбежно отразиться влияние промышленных загрязнений, отбор проб аэрозолей в Ейске выполнялся лишь в течение трех дней. За это время наблюдались ветры восточного направления, т. е. со стороны континента.

Результаты определения химического состава проб аэрозолей в Ейске содержатся в табл. 1. Здесь, как и в последующих табли-

Химический состав растворимой фракции аэрозолей

Дата	Направление и скорость ветра, м/с	Температура воздуха $^{\circ}\text{C}$	Относительная влажность воздуха, %	Концентрация, мкг/м^3					
				Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
12 IX 1972	В-7	21,7	45	1,2	25,0	—	2,0	69,7	0
13 IX	В-5	20,3	59	4,4	34,0	123,0	—	59,0	1,2
14 IX	ЮЮВ-5	19,6	71	0	0	28,3	0,4	5,5	0,6

цах, приводятся значения концентрации растворимых ионов в микрограммах, содержащихся в 1 м^3 воздуха, полученные после проведения химического анализа растворов с фильтрами, на которые отбирались пробы аэрозолей, и учета объема пропущенного через

них воздуха, и концентрация этих же ионов, выраженная в мкг-экв/м³.

Из приведенных данных видно, что несмотря на близость расположения пункта к морю в составе аэрозолей преобладают ионы от континентальных источников, т. е. ионы SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} . Сопоставление концентрации отдельных ионов, выраженных в мг-эквивалентной форме, показывает, что аэрозоли состоят преимущественно из соединений CaSO_4 и CaCO_3 .

Ст. Должанская располагается на косе Долгой, которая омывается с запада Азовским морем, а с севера Таганрогским заливом. Поэтому ветры северного, западного и юго-юго-западного направлений принимались нами за морские. Отбор проб в Должанской проводился в течение 15 дней, из которых 11 дней наблюдался ветер со стороны моря. В период наблюдений отмечалось небольшое волнение моря с высотой волны менее 0,25 м, поэтому даже при скорости ветра 9 м/с, которая была зарегистрирована 26 сентября, разбрызгивания морской воды не наблюдалось. Песчано-ракушечный ровный берег и мелководье препятствовали образованию выраженной зоны прибоя в этом районе.

В табл. 2 и 3 приводятся данные химического анализа проб аэрозолей, собранных в Должанской при ветрах с моря и континента. Видно, что независимо от направления ветра преобладающими компонентами состава аэрозолей во всех случаях являются ионы HCO_3^- , Ca^{2+} , SO_4^{2-} . Лишь в двух случаях при морском ветре со скоростью 7—9 м/с в пробах аэрозолей были обнаружены хлориды. Однако их концентрация была низка и составляла 1,8 мкг/м³. Столь низкие значения, а также нулевое содержание хлоридов в остальные дни можно объяснить слабым волнением моря, при котором процесс разбрызгивания морской воды не имел места.

При ветрах, дующих со стороны континента, в аэрозолях резко повышается содержание ионов Ca^{2+} и HCO_3^- . Результаты анализа,

Таблица 1
и метеорологические характеристики в Ейске

Концентрация, мкг-экв/м ³						Примечание
Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
0,034	0,521	—	0,087	3,490	0	Моросьящий дождь
0,126	0,709	2,020	—	2,950	0,100	
0	0	0,464	0,017	0,275	0,050	

выраженные в мг-эквивалентной форме, показывают, что эти ионы присутствуют в виде соединений $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Следует отметить, что данные В. А. Егоровой [6], изучавшей влияние ветрового режима на состав атмосферных осадков на

Химический состав растворимой фракции аэрозолей и метеорологические характеристики
в ст. Должанская при морском берегу

Дата	Направление и скорость ветра, м/с	Высота волны, м	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воз- духа, %	Концентрация, мкг/м ³					Концентрация, мкг-экв/дм ³					Примеча- ние		
					Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺		Ca ²⁺	Mg ²⁺
16 IX 1972 г.	BCB-2	0,25	20,0	73	0	0	—	0,5	1,7	—	0	0	—	0,022	0,085	—	—
18 IX	CCB-1	0,25	22,5	67	0	0	17,5	0	6,5	—	0	0	0,287	0	0,325	—	—
19 IX	CCB-3	0,25	22,1	71	0	11,5	15,6	—	10,1	—	0	0,240	0,256	—	0,505	—	—
20 IX	C-4	0,25	18,6	57	0	15,0	20,0	—	12,8	—	0	0,313	0,328	—	0,640	—	—
21 IX	3-3	0,25	19,4	50	0	17,7	26,0	—	15,4	—	0	0,368	0,426	—	0,770	—	Дождь
25 IX	3-7	0,50	17,5	60	1,8	23,4	24,0	—	14,7	—	0,051	0,487	0,394	—	0,735	—	—
26 IX	C3-9	0,50	14,6	67	1,8	9,4	4,7	—	4,1	—	0,051	0,196	0,077	—	0,205	—	—
27 IX	C3-2	0,25	15,9	60	0	4,7	6,7	—	2,4	—	0	0,098	0,110	—	0,120	—	—
29 IX	CB-5	0,25	11,3	59	0	—	—	—	2,7	—	0	—	—	—	0,135	—	—
30 IX	3-6	0,25	12,3	58	0	0	—	2,2	1,0	—	0	0	—	0,096	0,050	—	—
2 X	CCB-3	0,25	12,9	77	0	0	—	1,0	15,3	3,4	0	0	—	0,044	0,765	6,284	—
					—	11,3	16,4	—	7,9	—	—	0,236	0,269	—	0,396	—	—
					Среднее												

Химический состав растворимой фракции аэрозолей и метеорологические характеристики в ст. Должанская при ветре с континента

Дата	Направление и скорость ветра, м/с	Высота волн, м	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Концентрация, мкг/м³					Концентрация, мкг-экв/м³					Примечание		
					Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺		Ca ²⁺	Mg ²⁺
22 IX 1972 г.	ВСВ-7	<0,25	18,3	60	0	—	129,0	55,0	0	0	0	0	0	2,750	0	Моросящий дождь	
23 IX	ВЮВ-14	<0,25	16,6	52	1,8	70,5	176,0	76,6	1,5	0,051	1,469	2,115	—	3,830	0,125		
28 IX	ЮВ-7	<0,25	19,1	82	0	—	5,5	8,8	—	0	—	0,091	—	0,440	—		
1 X	В-4	<0,25	11,4	66	0	0	79,5	27,6	2,9	0	0	1,302	0	1,380	0,242	Среднее	
					—	—	97,5	41,0	—	—	—	1,600	—	2,050	—		

Химический состав растворимой фракции аэрозолей и метеорологические характеристики в Геническе

Дата	Направление и скорость ветра, м/с	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Концентрация, мкг/м³					Концентрация, мкг-экв/м³					Примечание		
				Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺		Ca ²⁺	Mg ²⁺
5 X 1972 г.	В-2	14,9	85	0	0	1,1	3,3	—	0	0	0	0,048	0,165	—	Ветер с моря То же	
7 X	ВЮВ-4	13,9	64	0	—	0,8	0,8	—	0	0	—	0,035	0,040	—		
8 X	В-4	11,9	61	0	0	1,1	4,3	—	0	0	—	0,048	0,215	—	Ветер с континента То же	
6 X	С-2	14,1	67	0	—	55,0	22,0	1,9	0	0	0,901	0,061	1,100	0,158		
9 X	С-2	8,1	67	0	37,6	1,0	15,3	3,4	0	0	0,783	0,044	0,765	0,283		

Ленинградский
Гидрометеорологический институт
ЛЕНИНГРАД

побережье Черного моря, находятся в хорошем соответствии с полученными результатами для состава аэрозолей. Согласно [6], в осадках, выпадающих при континентальных ветрах, отмечалось значительное изменение химического состава с преобладанием в них ионов гидрокарбонатов и кальция.

Как видно из табл. 1 и 3, содержание всех примесей заметно убывает при выпадении осадков. Так, 28 сентября в Должанской перед отбором пробы аэрозолей наблюдался моросящий дождь, который продолжался с перерывами в течение 3 ч. 14 сентября в Ейске также наблюдались моросящие осадки с перерывами как до, так и в период отбора проб аэрозолей. Приводимые случаи наглядно иллюстрируют вымывающее действие атмосферных осадков.

Измерения в Геническе проводились в течение пяти дней. Пункт наблюдений располагался у основания песчаной косы с отмытыми берегами, на территории рыбцеха на расстоянии 15 м от берега моря. Результаты анализа химического состава проб аэрозолей приводятся в табл. 4.

Здесь так же, как и в большинстве остальных случаев, отмечается нулевое содержание ионов хлора. Во всех пробах были обнаружены ионы Na^+ с концентрацией 1—1,5 мкг/м^3 , которые, очевидно, имеют морское происхождение. Как известно, поступление ионов Na^+ с моря на континент происходит в виде солевых частиц NaCl . Так как чувствительность метода, используемого для определения ионов натрия, равная 0,01 мг/л , выше, чем для хлор-иона, для которого она составляет 0,2 мг/л , то, по-видимому, присутствующие в пробах следы хлора остались за порогом чувствительности их определения.

При ветрах с суши в Геническе, так же как и в Должанской, заметно увеличивается концентрация ионов SO_4^{2-} , HCO_3^- и Ca^{2+} , обусловленных континентальными источниками.

Проведенные нами исследования химического состава аэрозолей на побережьях Черного и Азовского морей свидетельствуют о большой изменчивости концентрации ионов Cl^- , которая в значительной мере связана с изменением скорости и направления ветра, а также состоянием морской поверхности и особенностями развития волнового режима у берегов. Немногочисленные литературные данные о концентрации хлоридов в атмосфере прибрежных районов Черного и Каспийского морей [1, 2, 4] совпадают с результатами, полученными нами для побережья Черного моря.

Что касается побережья Азовского моря, то имеющиеся результаты большого исследования, выполненного Е. С. Бурксером и др. [3], очевидно, отражают не только влияние морских условий. Действительно, в работе [3] приводятся данные по концентрации хлоридов в Бердянске, расположенном на расстоянии 25 м от уреза воды. Так, летом 1936 г. среднее содержание хлор-иона составляло 306 мкг/м^3 при минимальном значении 89 мкг/м^3 и максимальном — 540 мкг/м^3 . С октября 1940 г. по март 1941 г. при штилевых условиях концентрация иона Cl^- составляла 1470 мкг/м^3 .

При проведении маршрутных аэрохимических исследований на побережье Азовского моря Е. С. Бурксер обнаружил в пункте, удаленном от Геническа на 7 км, при скорости ветра 7 м/с концентрацию ионов Cl^- , равную 908 мкг/м³, и концентрацию сульфат-ионов — 269 мкг/м³. На следующий день в самом Геническе на берегу пролива Тонкого концентрация ионов Cl^- составляла 908 мкг/м³, а сульфат-ионов — 343 мкг/м³ при скорости ветра 4,5 м/с.

Столь высокие значения концентрации хлоридов в этих пунктах трудно объяснить одним лишь влиянием моря. Учитывая, что пункт наблюдений в Бердянске был расположен у основания узкой песчано-ракушечной косы, к которой примыкали соляные озера, а маршрут аэрохимических исследований проходил по территории с многочисленными солончаками, нам представляется, что это отразилось на результатах Е. С. Бурксера [3]. При этом не исключается также возможное влияние промышленных источников загрязнения атмосферы, на что указывает высокая концентрация ионов SO_4^{2-} .

Полученные нами данные о химическом составе аэрозолей на побережье Азовского моря отражают несомненное влияние континента как источника аэрозолей, роль которого при определенных метеорологических условиях становится не только довольно заметной, но и преобладающей даже в непосредственной близости к морю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Л. И. О выносе морских солей в атмосфере и о ходе его.— «Труды МГИ АН СССР», 1950, т. 111, с. 49—64.
2. Блинов Л. К. О поступлении морских солей в атмосферу и о значении ветра в солевом балансе Каспийского моря.— «Труды ГОИН», 1950, вып. 15(27).
3. Бурксер Е. С., Бурксер В. В. Аэрохимические исследования на Украине.— «Труды Ин-та геолог. наук, сер. петрографии, минералогии и геохимии», 1951, вып. 1, изд. АН УССР.
4. Доброклонский С. В. и Вавилов П. Б. К вопросу о выносе солей на сушу с брызгами морской воды.— «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геоф.», 1938, № 1, с. 3—23.
5. Дроздова В. М., Петренчук О. П., Селезнева Е. С., Свистов П. Ф. Химический состав атмосферных осадков над Европейской территорией СССР. Л., Гидрометеиздат, 1964, с. 39—83.
6. Егорова В. А. Влияние ветрового режима на солевой состав атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря.— «Труды Ин-та океанологии АН СССР», 1961, т. 111, с. 95—111.
7. Зенкович В. П. Берега Черного и Азовского морей. М., Географгиз, 1958, с. 52—57, с. 163—165.
8. Петренчук О. П., Лавриненко Р. Ф. Химический состав аэрозолей на морском побережье Крыма.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.
9. Петренчук О. П. О закономерности распределения концентрации хлоридов в воздухе и коррозии металла в прибрежных районах.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.

СОДЕРЖАНИЕ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ (ЯДЕР АЙТКЕНА) НА ПОБЕРЕЖЬЯХ БАРЕНЦЕВА И ЧЕРНОГО МОРЕЙ

При изучении распространения морских аэрозолей в прибрежных районах особое значение представляют исследования мелкодисперсных аэрозолей с радиусами частиц от 10^{-4} до 10^{-7} см, так называемых ядер Айткена. Их роль велика, так как именно они оказывают непосредственное влияние на оптические, радиационные и электрические свойства атмосферы. Особо важное значение этим частицам придается в физике облаков и осадков.

Для выяснения закономерностей распределения этих частиц были организованы наблюдения за концентрацией ядер на берегах Баренцева и Черного морей. Наблюдения на берегу Баренцева моря проводились летом (июль—август) 1966 г. на Кольском полуострове; их результаты частично изложены в [4]. На берегу Черного моря экспедиционные наблюдения были организованы в весенне-летний (май—июнь) и осенний (сентябрь—октябрь) периоды 1971—1972 гг. Пункты наблюдений и их расстояние от берега моря указаны в табл. I.

Район исследований на Кольском полуострове холмистый, высота отдельных холмов местами достигает 200 м. Берега скалистые, сильно изрезаны, в силу чего даже при отсутствии штормов там постоянно есть зона прибоя, способствующая поступлению в атмосферу громадного количества морских брызг, которые и являются источниками ядер конденсации.

Берег в районе наблюдений на Крымском полуострове гористый, крутизна склонов составляет угол 10 — 12° .

Счетная концентрация частиц Айткена измерялась счетчиком Шольца малой модели. Методика наблюдений и теория ошибок, возникающих при работе с данным прибором, достаточно хорошо изложены в работах [1, 16, 22]. Работая со счетчиком, мы стремились, насколько было возможно, уменьшить статистические ошибки измерений путем введения соответствующего объема исследуемой пробы воздуха, подбором площади счетного поля и регулированием числа отбираемых проб воздуха во время серийных отсчетов.

Полученные результаты исследований на побережьях Баренцева и Черного морей, в первом приближении, можно отнести к теплomu полугодью и произвести их сравнения.

Распределение концентрации ядер Айткена на побережьях и ошибки измерений

Полуостров	Номер пункта	Расстояние от моря (высота надур. м.), м	Скорость ветра, м/с	N	n	N _{max}	N _{min}	Ошибка		δ	N _p	V _T	V _э
								стандартная ошибка	вероятная				
Кольский	1	5 (0)	Все скорости ≥ 5,1 ≤ 5,0	1920	68	6690	420	330	220	0,097	2080	0,71	0,84
				1990	26	4350	320	170	115	0,089			0,60
	2	200—300 (100)	Все скорости ≥ 5,1 ≤ 5,0	1670	74	5300	240	290	195	0,086	1770	0,70	0,80
				2150	36	2870	80	130	87	0,120			0,62
3	7000 (140) Холм	Все скорости ≥ 5,1 ≤ 5,0	510	41	970	50	70	47	0,157	680	0,73	0,65	
			460	20	1680	40	90	54	0,151			0,75	
4	7000 (80) Низина	Все скорости ≥ 5,1 ≤ 5,0	490	82	1770	70	100	67	0,132	580	0,74	0,82	
			610	24	2230	30	50	34	0,124			0,89	
Крамский	1	15 (7)	0,1—7,0 ≥ 7,1	2880	23	5850	490	360	240	0,093	3550	0,43	0,60
				9750	14	25420	1770	1850	1250	0,080	13200	0,94	0,70
2	213 (41)	0,1—7,0 ≥ 7,1	3120	17	9590	1120	380	220	0,099	4070	0,48	0,76	
			8510	9	19890	3930	2090	1410	0,090	12900	0,97	0,73	

Ветер с моря

Статистические характеристики распределения концентрации ядер Айткена

На берегу Черного моря было выполнено 99 серийных наблюдений, при которых взято около 1000 проб воздуха. На берегу Баренцева моря число наблюдений составило 493, а количество взятых проб воздуха приближалось соответственно к 5000 (см. табл. 1), т. е. при каждом наблюдении отбиралось около 10 проб.

Представляет интерес рассмотреть характер распределения концентрации частиц, определить их дисперсию и выяснить функцию распределения.

Существует целый ряд эмпирических формул для функций распределения частиц аэрозолей. Обзор и анализ этих функций рассматривается в монографии Н. А. Фукса [19].

Теоретическое распределение твердых частиц при их последовательном дроблении предложено Колмогоровым, который показал, что чем дальше идет процесс дробления частиц, тем функция их распределения ближе подходит к логарифмически-нормальному распределению [8].

Закон логарифмически-нормального распределения был применен в ряде работ для анализа экспериментальных данных по микрофизике облаков и осадков [9, 10], атмосферной пыли и частиц дыма [11, 18].

За последнее время функция логарифмически-нормального распределения широко используется при анализе данных в области изучения загрязнения атмосферы такими ингредиентами, как окислы азота, сажа, сернистый газ и др. [2, 3, 21, 23].

Закон логарифмически-нормального распределения применительно к распределению концентрации ядер конденсации можно записать в виде

$$f(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma N} \exp\left[-\frac{(\ln N - \ln N_g)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (1)$$

где $f(N)$ — плотность распределения; $\ln N_g = \overline{\ln N}$ — среднее арифметическое из логарифмов концентрации ядер; N_g — среднее геометрическое концентраций или медиана распределения; σ — среднее квадратическое отклонение; σ^2 — дисперсия $\ln N$.

Для определения σ и N_g конкретно для каждого пункта наблюдений взято распределение накопленных частот $F(z_h = P)$.

Разбивка данных измерений на градации и определение накопленной частоты производились с учетом эмпирического правила — упятеренного логарифма числа наблюдений, т. е. число градаций не должно превышать $5 \ln n$, где n — число наблюдений [13].

Значения интеграла нормального распределения вероятности (P) определялись из таблиц [5].

Интегральные кривые распределения ядер на побережьях Баренцева и Черного морей для отдельных пунктов наблюдений представлены на рис. 1. Как видно из рис. 1, все точки ложатся на прямую или близко к ней. Это означает, что распределение концентрации

частиц подчиняется лог-нормальному закону. Точки пересечения прямых с осью абсцисс дают медианные значения $\ln N_g$, а тангенсы углов наклона прямой к оси абсцисс соответствуют σ .

Для Кольского полуострова значения вероятности распределения ядер определены независимо от ветра, так как все наблюдения

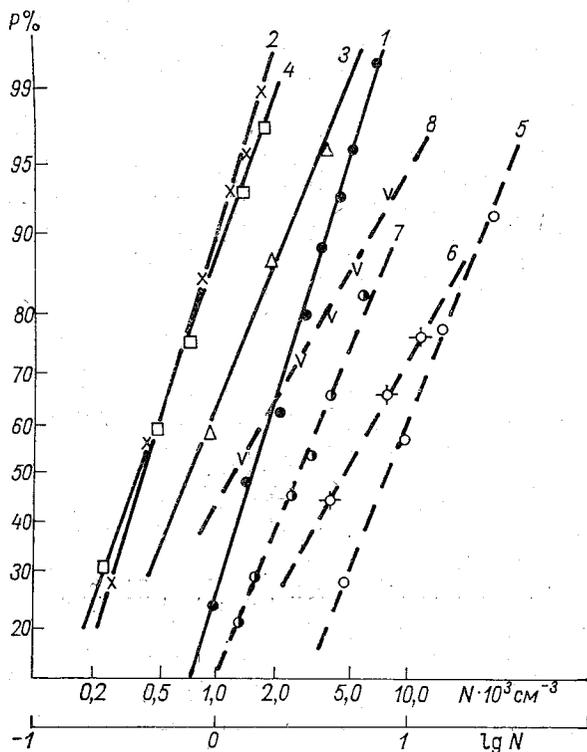


Рис. 1. Диаграмма плотности распределения концентрации ядер Айткена на побережьях.

Сплошные линии — Кольский полуостров; вынос с моря: 1 — берег моря, 2 — расстояние 7 км от моря; вынос с суши: 3 — берег моря, 4 — расстояние 7 км от моря. Штриховые линии — Крымский полуостров; $v \geq 7$ м/с: 5 — берег моря, 6 — 3-й пункт; $v \leq 7$ м/с: 7 — берег моря, 8 — 3-й пункт.

были выполнены при спокойном состоянии моря или умеренном волнении. На Крымском полуострове удалось собрать некоторые данные во время штормов.

Как видно из данных, представленных в табл. 1 и на рис. 1, концентрация частиц на побережье Баренцева моря в 1,5—2 раза меньше концентраций на Черноморском побережье, а при сильных ветрах средняя концентрация ядер конденсации на берегу Черного моря в 5 раз больше средних значений концентраций на Баренцевом море.

Так, на Кольском полуострове при выносе воздушных масс с моря на сушу и отсутствии штормов, но при наличии зоны прилива вероятность появления концентрации $\geq 7 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ составляет 1—2%, а концентрации от $7 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ до $3,5 \cdot 10^3$ только 10%. Вероятность появления концентрации ядер Айткена от $2,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ до $1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ составит 10—20%, а концентрация $< 1,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ имеет $P \approx 70\%$.

На южном берегу Крыма во время штормов 20% концентрации частиц составляют величину $\geq 15,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Концентрации частиц $\leq 10,0 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ встречаются наиболее часто ($P > 70\%$).

Из формулы (1), как было показано в [7], можно получить средние значения концентрации ядер \bar{N} , определить их дисперсию σ^2 , а также вычислить коэффициент вариации.

Средние значения концентрации N_p и коэффициенты вариации V были рассчитаны по формулам:

$$\bar{N}_p = N_g e^{\frac{\sigma^2}{2}}, \quad (2)$$

$$V = \sqrt{e^{\sigma^2} - 1}. \quad (3)$$

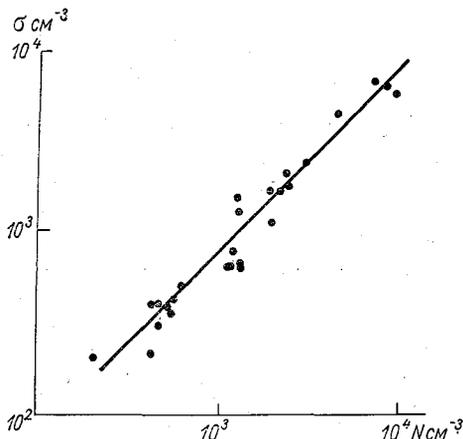


Рис. 2. Зависимость между средними концентрациями ядер ($\ln \bar{N}$) и их средними квадратическими отклонениями ($\ln \sigma$).

Расчетные данные N_p (см. табл. 1) отличаются от эмпирических \bar{N} на величину стандартной ошибки σ_m и только в отдельных случаях немного превышает $2\sigma_m$.

Коэффициенты вариации V_p , вычисленные по формуле (3), хорошо согласуются с эмпирическими коэффициентами вариации V_g и изменяются от 0,43 до 0,97 и от 0,50 до 1,00 соответственно.

Наибольший размах колебаний в значениях концентрации ядер конденсации наблюдался на Крымском полуострове при скоростях ветра более 7 м/с.

Стандартные ошибки измерений или средние квадратические отклонения σ_m определены по формуле

$$\sigma_m = \sqrt{\frac{\sum (\ln N - \ln N_g)^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Значения σ_m в соответствии с \bar{N} изменялись от 2270 до 30 ядер/см³ (см. табл. 1).

Вероятная ошибка составляет $0,6745 \sigma_m$ и изменяется в соответствии с изменением \bar{N} от 20 до 1530 ядер/см³.

Погрешности измерений δ , включая приборную ошибку, изменялись от 8 до 16%.

Определенный интерес представляет рассмотреть дисперсию концентрации ядер Айткена в зависимости от средних концентраций, полученных на различном удалении от берегов Баренцева и Черного морей.

На рис. 2 представлена такая зависимость. Квадратические отклонения по своей величине соответствуют значениям концентрации ядер.

Изменения концентрации частиц с удалением от берега моря

Крымское побережье. В периоды исследований наблюдалась теплая погода с ветрами от слабых до умеренных и сильных, дующих преимущественно со стороны моря.

Средняя концентрация частиц в исследуемом районе при любых скоростях ветра, имела общую тенденцию уменьшения по мере перемещения от пункта 1 к пункту 4. Однако на 4-м пункте происходит некоторое увеличение концентрации ядер. Если средние характеристики концентрации частиц на 1-м пункте измерений N_1 принять за 1, то на 2-м пункте ядер будет только $N_2 = 0,94N_1$, а на 3-м пункте $N_3 = 0,67N_1$, на 4-м — $0,84N_1$.

Средние значения N на побережье Крымского полуострова примерно в 3—4 раза меньше средних наземных концентраций на отдельных пунктах ЕТС [16].

Единичные измерения указывают на существенные колебания ядер Айткена. Так, на 1-м пункте минимальные значения ядер были отмечены 24 мая 1972 г.: в 9 ч 30 мин при слабом юго-западном ветре скоростью 1 м/с ($N \sim 0,5 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$), а максимальные ($N \sim 25 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$) — 7 июня 1972 г. с 12 ч 30 мин до 13 ч 30 мин при штормящем море — волнение 5 баллов, высота волны 2 м, скорость ветра 10—11 м/с.

Поскольку вынос солей с морских акваторий тесно связан с появлением «белых барашков» на поверхности моря, а состояние последнего обусловлено скоростью ветра, то целесообразно распределение концентрации частиц рассматривать также в зависимости от скорости ветра.

Все наблюдения были разбиты на две группы: I — при скорости ветра от 0 до 7 м/с; II — при скорости ветра ≥ 7 м/с. Такая градация скорости выбрана не случайно, так как «забурунивание» морской поверхности с появлением брызг начинается со скорости ветра больше 7 м/с [14].

Среднее распределение ядер Айткена (рис. 3) с удалением от берега моря при штормящем море (II группа) резко отличается от соответствующего распределения при спокойной поверхности моря или слабом волнении (I группа).

В обоих случаях изменение концентрации частиц N в приземном слое с удалением от берега моря x в первом приближении

можно аппроксимировать уравнением

$$\lg N = a \lg x + b, \quad (5)$$

где a и b параметры, которые можно определить из графика или вычислить, применив метод наименьших квадратов.

В нашем случае прямые вида (5) построены по значениям средних характеристик табл. 1.

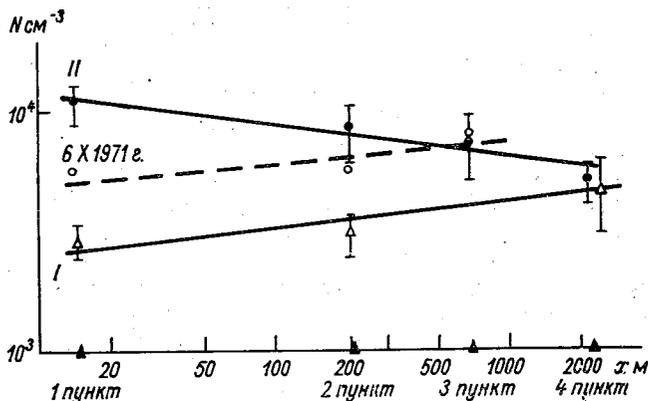


Рис. 3. Изменение концентрации ядер Айткена с удалением от берега моря на побережье Крымского полуострова.

I — при скорости ветра ≤ 7 м/с; II — при скорости ветра $\geq 7,1$ м/с.

Параметры a и b определены из графика. При условии спокойного состояния моря (I группа) параметры a и b равны 0,101 и 0,3297 соответственно. Уравнение (5) примет вид

$$\lg N_I = 0,101 \lg x + 0,330 \quad (5')$$

или

$$N_I = 2,14x^{0,101}.$$

Для II группы распространения аэрозолей мелкой фракции коэффициенты a и b равны $-0,141$ и $1,243$ соответственно, тогда

$$\lg N_{II} = -0,141 \lg x + 1,243 \quad (5'')$$

или

$$N_{II} = 17,5x^{-0,141},$$

где N_I, N_{II} — в 10^3 см^{-3} , x — в метрах.

Значения коэффициентов a для групп распределений противоположны по знаку, т. е. при больших скоростях ветра происходит убывание частиц с изменением расстояния от берега моря, а при слабых скоростях ветра — медленное увеличение. Это означает, что во время штормов на море и при переносе воздушных масс с моря на сушу основным источником ядер является море, и потому концентрация их с удалением от берега уменьшается.

Однако следует заметить, что в отдельных случаях во время шторма с поступлением морских брызг на первый пункт наблюдений, значения концентраций частиц Айткена были ниже средних значений. Так, например, 6 июня 1972 г. с 8 ч 30 мин до 12 ч 00 мин в двух сериях отсчетов в счетчике ядер наблюдались очень крупные капли, концентрация которых была $(1,8 \div 2,6) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. К 13 ч число частиц увеличилось до $11,7 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, т. е. примерно на целый порядок величины. Это по-видимому, можно объяснить пониженной относительной влажностью окружающего воздуха (52—57%), которая способствует испарению капель растворов. Так, одна крупная капля может давать несколько сотен мельчайших кристаллов солей, которые и являются эффективными ядрами конденсации [20].

Формулы (5) справедливы только для расчета распределения ядер конденсации в теплое полугодие в узкой прибрежной полосе при условии отсутствия крупных континентальных источников загрязнений.

Подобная степенная зависимость для хлоридов и сульфатов на Черноморском побережье при параллельных измерениях концентрации ядер конденсации и химического состава были получены О. П. Петренчук [12].

Подобие связей распределения концентрации частиц с концентрацией хлоридов и сульфатов лишней раз подтверждает морское происхождение ядер Айткена в исследуемом районе.

Особый интерес представляет сопоставление данных распределения ядер с удалением от берега моря для II группы с изменением концентраций при континентальном ветре. Такими данными мы располагаем только за один день. Так, 6 октября 1971 г. при северном ветре с гор со скоростью 10—15 м/с с 17 ч 30 мин до 18 ч было сделано три серии отсчетов, результаты которых в виде штриховой линии представлены на рис. 3. Пересечение этой линии с прямой происходит на расстоянии от берега моря ~ 600 м. Это означает, что если бы в течение длительного времени на побережье преобладали сильные морские ветры со штормами, то при внезапной смене ветра на противоположное (со стороны континента) влияние моря еще сказывалось бы на некоторое время в узкой прибрежной полосе шириной около 600 м за счет диффузионного эффекта.

3 октября 1971 г. выполнены две серии измерений концентрации ядер непосредственно над поверхностью моря в 300 м от берега на плоту: 1-я в 9 ч (13 отсчетов); 2-я в 11 ч (8 отсчетов). При этом наблюдался юго-западный ветер со скоростью 6—7 м/с, высота волны не превышала 0,5 м. Соответствующие значения концентраций были $1,47 \cdot 10^3$ и $1,82 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. На высоте 10 м от поверхности воды в 50 м от берега (наблюдения производились на узкой площадке пирса) число ядер уменьшилось до $0,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$, а на этой же высоте на границе море—скалистый берег концентрации частиц снова увеличились до $2,13 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$. Очевидно, на границе перехода море—берег содержание частиц пополнилось

в основном за счет двух факторов: выветривания почвы береговой полосы и наличия прибоа.

Побережье Кольского полуострова. Характер распределения ядер Айткена на побережье Кольского полуострова наиболее детально изложен в [4]. В качестве сравнения приведем только общую картину их распространения с удалением от берега при выносе воздушных масс с моря на сушу.

На побережье было организовано три пункта наблюдений, расположенных у моря и на расстояниях 200 и 7000 м от него. Поскольку основным источником ядер конденсации в исследуемом районе Кольского полуострова является море и формирование химического состава атмосферных осадков обусловлено морским влиянием, то распространение концентрации ядер конденсации с удалением от берега аналогично [15] можно представить эмпирической зависимостью вида

$$N = Ae^{ax} + B(e^{bx} + 1), \quad (6)$$

где N — концентрация частиц в точке x ; x — расстояние от берега моря; A , B , a , b — параметры, зависящие от состояния морской поверхности и от общего фона загрязнений в прибрежной зоне. Параметры A и B определены из средних характеристик с учетом общего фона загрязнений воздуха мелкими частицами.

Для Кольского полуострова в летний период фоновое значение концентрации ядер конденсации $N_{\text{ф}} = 0,4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ [4], для Крымского полуострова $N_{\text{ф}} = (2,5 \div 2,9) \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$.

Параметры a и b определены из данных наблюдений методом наименьших квадратов [6 и др.].

Наилучшее приближение к экспериментальным данным формула (6) приобретает вид при следующих значениях коэффициентов:

$$N = 1,12e^{-1,035x} + 0,4e^{-0,188x} + 0,4,$$

где N — в 10^3 см^{-3} ; x — в километрах.

Первый член уравнения (6) характеризует убывание морских аэрозолей в узкой береговой полосе. Второй член уравнения характеризует убывание аэрозолей на расстоянии более 2—3 км от берега моря. Третий член представляет характеристику фоновой концентрации.

Кривая функции (6), полученная по экспериментальным и расчетным данным, представлена на рис. 4. На этом же рисунке помещены результаты исследований на Крымском полуострове. Как видно из рис. 4, экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными. Тенденция убывания ядер конденсации в узкой прибрежной зоне на обоих побережьях одинакова. Поэтому, возможно, и для Кольского полуострова распространение аэрозолей в узкой прибрежной зоне можно характеризовать степенной зависимостью вида (5), но с другими коэффициентами.

Основной спад концентрации частиц на побережье Баренцева моря происходит в зоне 2 км; с расстояния от 2 до 3 км идет более замедленное убывание ядер Айткена и в среднем оно составляет около 10%; с увеличением расстояния от 3 до 7 км — 8%.

На расстоянии 10 км от берега моря убывание морских аэрозолей так значительно, что счет концентрации следовало бы вести

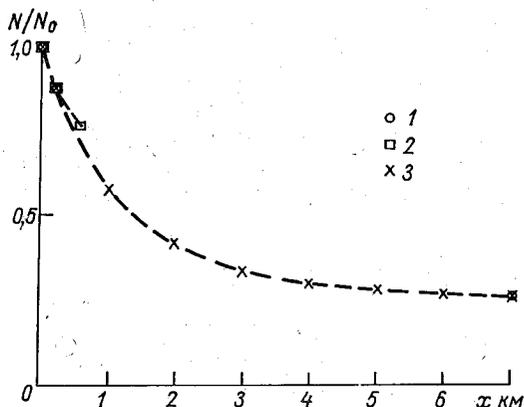


Рис. 4. Изменение концентрации ядер Айткена с удалением от берега на побережье Кольского полуострова.

1 — экспериментальные данные Крымского полуострова; 2 — экспериментальные данные Кольского полуострова; 3 — расчетные данные.

на m^3 . На расстоянии 100 км влияние моря настолько ослабевает, что на $1 m^3$ приходится лишь несколько частиц. На этом расстоянии концентрации ядер становятся фоновыми.

Характер распределения ядер Айткена на побережье Кольского полуострова хорошо подтверждается характером изменения хлоридов в атмосферных осадках; а также характером изменения химического состава аэрозолей в озерной воде с удалением от берега моря [15, 16, 17].

Влияние скорости ветра на распределение ядер Айткена

Остановимся на рассмотрении результатов измерений на побережье Крымского полуострова.

Зависимость распределения концентрации частиц от скорости ветра на отдельных пунктах наблюдений представлена на рис. 5.

Точки, нанесенные на график, соответствуют \bar{N} при следующих скоростях ветра: 0—3, 3—7, 7—11 и >11 м/с. Повторяемость наблюдений для различных скоростей ветра представлена в табл. 2, где n — количество наблюдений, m — число отсчетов.

Распределение повторяемости наблюдений по пунктам при различных скоростях ветра

Номер пункта	Скорость ветра, м/с													
	0		1,0—3,0		3,1—5,0		5,1—7,0		7,1—9,0		9,1—11,0		≥11	
	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
1	5	71	12	120	2	17	2	14	7	73	4	40	3	33
2	6	71	8	98	2	19	2	26	5	50	1	10	3	34
3	7	70	7	88					4	40	1	7	3	26
4	4	46	2	26	1	12			2	20				

Распределение частиц мелкой фракции в зависимости от скорости ветра на самом берегу моря можно представить квадратической зависимостью вида

$$N = av^2 + bv + C. \quad (7)$$

Параметры параболы второго порядка формулы (7) вычислены методом наименьших квадратов [6]: $a = 0,095$; $b = -0,175$; $C = 2,898$. При таких значениях коэффициентов $N = f(v)$ примет вид

$$N = 0,095v^2 - 0,175v + 2,898,$$

где N — в 10^3 см^{-3} ; v — в м/с.

Кривая для пункта 1, изображенная на рис. 5, вычислена по формуле (7). Как следует из анализа рис. 5 экспериментальные данные хорошо согласуются с расчетными.

Штилевые условия погоды и слабые скорости ветра мало влияют на изменения в содержании ядер Айткена; на участке кривой от 3 до 5 м/с происходит замедленное нарастание концентрации аэрозолей. При скоростях ветра 7 м/с и более идет быстрое увеличение ядер конденсации. Тангенс угла наклона, образованный отдельными участками кривой и осью абсцисс изменяется от 0 до 1.

Изменение концентрации частиц по характеру их происхождения можно выразить следующим образом:

$$N_1 = N_{\phi} + N_{\text{в}} + N_{\text{м}}, \quad (8)$$

где N_{ϕ} — фоновая концентрация; $N_{\text{в}}$ — концентрация частиц, связанная с происхождением воздушной массы; $N_{\text{м}}$ — концентрация

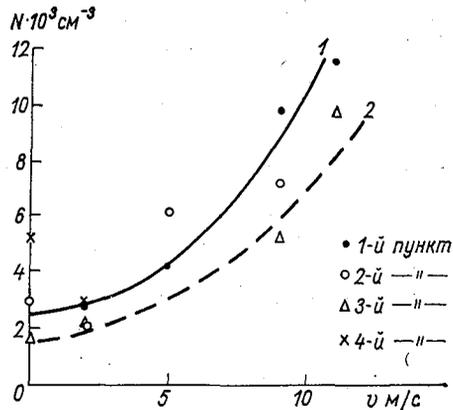


Рис. 5. Зависимость концентрации ядер Айткена от скорости ветра.

1 — для пункта 1; 2 — для пункта 3.

ядер чисто морского происхождения, зависящая от скорости ветра (v), высоты волны (h) и относительной влажности (u).

В наших исследованиях во время штормов на берегу преобладающие значения относительной влажности были меньше значения U_k , т. е. той влажности, при которой наступает кристаллизация солей и поэтому в нашем случае $N_m = f(v, h)$.

Итак, при

$$0 < v \leq 3 \text{ м/с} \quad N_1 = N_\phi,$$

$$3 \leq v \leq 7 \text{ м/с} \quad N_1 = N_\phi + N_v,$$

$$v \geq 7 \text{ м/с} \quad N_1 = N_\phi + N_v + N_m.$$

Для пункта 2 имеется наибольший разброс точек, который, очевидно, зависит еще и от движения дорожного транспорта, ветровой эрозии подстилающей поверхности и других факторов, связанных с местными условиями.

Для 3-го пункта также не исключено влияние вышеуказанных факторов. Поэтому формула (7) справедлива только для 1-го пункта наблюдений, хотя ход кривой для пункта 3 подобен ходу кривой для пункта 1.

Несмотря на влияние дополнительных континентальных источников загрязнений атмосферы в исследуемом районе при скоростях ветра ≥ 7 м/с в 1-м пункте содержится значительно больше ядер, чем в пунктах 2 и 3.

В период морских штормов средние значения концентраций 1-го пункта были больше средних значений, соответствующих условиям безветрий или слабых ветров примерно на 75%; для 2-го пункта — на 52%; для 4-го — на 5–10%.

Выводы

1. Концентрации аэрозолей мелкой фракции на побережьях морей распределены по логарифмически-нормальному закону.

2. В распределении аэрозолей на побережьях морей, при отсутствии дополнительных источников загрязнений, намечается общая тенденция их убывания с расстоянием от берега моря в глубь континента.

3. На берегу Кольского полуострова распределение ядер Айткена с удалением от берега моря носит параболический характер, на берегу Крымского полуострова — степенной.

4. Степенная зависимость может быть применена и для Кольского полуострова только в очень узкой прибрежной зоне.

4. Содержание частиц мелкодисперсной фракции в приземном слое воздуха на берегу моря зависит от скорости ветра. Эта зависимость выражается квадратичной функцией — параболой второго порядка.

5. При переносе воздушных масс с моря на сушу в период штормов на берегу Черного моря в летний период происходит уве-

личение концентрации аэрозолей мелкой фракции по сравнению с фоновыми значениями примерно в 4—5 раз.

6. Ширина зоны распространения ядер за счет прибоя на берегу Кольского полуострова составляет 10 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Н. Н., Петренчук О. П. Метод измерения ядер конденсации в свободной атмосфере.— «Труды ГГО», 1959, вып. 93, с. 81—87.
2. Безуглая Э. Ю. Использование статистических методов для обработки данных наблюдений за загрязнением воздуха.— «Труды ГГО», 1969, вып. 238, с. 42—47.
3. Безуглая Э. Ю. К статистическому определению средних и максимальных значений концентрации примесей.— «Труды ГГО», 1971, вып. 254, с. 133—137.
4. Беляшова М. А. О распределении аэрозолей над морями.— «Труды ГГО», 1973, вып. 293, с. 138—154.
5. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1963, с. 44—50, с. 379—380.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятности. М., Физматгиз, 1962, с. 345—358.
7. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М., «Мир», 1965, с. 30—33.
8. Кольмогоров А. П. О логарифмически-нормальном законе распределения размеров частиц при дроблении.— «ДАН СССР», 1941, т. 31, № 2, с. 99—101.
9. Левин Л. М. О функциях распределения облачных капель по размерам, оптическая плотность облаков.— «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1958, № 10, с. 1211—1221.
10. Левин Л. М. Исследования по физике грубодисперсных аэрозолей. М., Изд. АН СССР, 1961, с. 186—202.
11. Махонько К. П. О спектре размеров частиц атмосферной пыли.— «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1959, № 8, с. 1235—1237.
12. Петренчук О. П. О закономерности распределения концентрации хлоридов в воздухе и коррозии металла в прибрежных районах.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.
13. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии. Изд. 2-е. Л., Гидрометеиздат, 1972, с. 9—18.
14. Ролль Г. У. Физика атмосферных процессов над морем. Пер. с англ. Л., Гидрометеиздат, 1968, с. 44—64.
15. Свистов П. Ф., Селезнева Е. С. Некоторые данные о химическом составе и распределении аэрозолей на побережье Кольского полуострова.— «Труды ГГО», 1966, вып. 185, с. 110—115.
16. Селезнева Е. С. Атмосферные аэрозоли. Л., Гидрометеиздат, 1966, с. 20—33, с. 78—134.
17. Селезнева Е. С. Распространение морских солей на побережье Черного моря по данным о химическом составе атмосферных осадков.— См. наст. сб., с. 34—45.
18. Федоров М. М. О распределении по размерам частиц пыли и дыма в воздухе индустриального города.— «ДАН СССР», т. 118, № 4, 1958, с. 691—693.
19. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М., Изд. АН СССР, 1955, с. 12—22.
20. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность. Пер. с англ. М., «Мир», 1965, с. 181—199.
21. Elshout A. J. Messungen Staub und gasförmiger Luftverunreinigungen in der Umgebung eines isoliert liegenden Kraftwerks.— Staube, 1965, Bd. 25, Nr. 11, Ss. 480—483.
22. Scrase F. J. The sampling errors of the Aitken nucleus counter.— Quart. J. Royal Met. Soc., 1935, v. 6, No. 261, pp. 367—379.
23. Zimmer C. E., and Larsen R. J. Calculating air quality and its control.— Air Poll. Contr. Assoc., 1965, v. 15, No. 12, pp. 565—571.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ МОРСКИХ СОЛЕЙ НА ПОБЕРЕЖЬЕ ЧЕРНОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ

Химический состав осадков определяется содержанием в воздухе аэрозолей и газообразных примесей, которые захватываются и растворяются в них. Именно поэтому, изучая распространение морских аэрозолей в прибрежной зоне, мы обращаемся к данным о составе осадков. Вполне понятно, что на морских берегах осадки вбирают хорошо растворимые частички солей и концентрация их в осадках, очевидно, должна быть пропорциональна концентрации аэрозолей в воздухе. Поэтому по составу осадков можно проследить относительное изменение содержания в воздухе морских аэрозолей.

Однако, рассматривая соотношение содержания солей в осадках и в воздухе, следует иметь в виду, что распространение в атмосферу морских аэрозолей весьма сложный, многоступенчатый процесс. Так, даже при действии только одного механизма выноса морских солей в атмосферу — механического разбрызгивания — образуется широкий спектр аэрозолей как вследствие дробления капель, так и вследствие выкристаллизации солей при их испарении.

В процессе распространения морских аэрозолей в атмосферу неизбежна их дифференциация по размерам. Очевидно более крупные фракции остаются главным образом в нижнем слое атмосферы и вблизи от источника, т. е. от морского берега, так как они сравнительно быстро оседают на поверхность земли и встречающихся препятствиях. Наиболее мелкие солевые частички переносятся воздушными течениями до значительной высоты и на большие расстояния, претерпевая при этом видоизменение вследствие взаимодействия с другими аэрозолями и атмосферной влагой.

В результате повсеместного распространения морских аэрозолей создается некоторая фоновая концентрация их в атмосфере, что определяет присутствие морской компоненты в осадках. За основную морскую компоненту принимаем, как обычно, хлориды.

Как показали исследования состава осадков на территории СССР, в глубинных континентальных районах хлориды составляют 15—20% от общей минерализации осадков, а концентрация ионов хлора в осадках при этом 1,5—2,0 мг/л [2, 11]. Эти значения можно рассматривать как фоновые характеристики, превышение этого уровня на побережьях и определяется непосредственным влиянием выноса солей с морской поверхности. На сколько повышается кон-

центрация в зависимости от близости моря показывают приводимые ниже данные.

Для характеристики состава осадков в прибрежных районах Черного моря можно воспользоваться имеющимися данными по нескольким станциям. Прежде всего это четыре станции, входящие в сеть химии осадков, которая работает под методическим руководством Главной геофизической обсерватории. Эти станции следующие: Одесса (обсерватория), Никитский сад, Сухуми (агрометеостанция) и Кобулет.

Большое число суммарных месячных проб на этих станциях (по 90—100 проб), регулярно собираемых в течение 8—9 лет, обеспечивает получение наиболее надежных средних характеристик состава осадков. Поэтому эти станции будем рассматривать ниже как опорные.

В дополнение к ним из литературных источников можно привлечь данные по ряду пунктов: Евпатория [5], Новороссийск (точнее район Новороссийска) [3] и группа станций—Сочи, Воронцовка, Красная Поляна из работы [4]. Все это, к сожалению, случайный набор пунктов, различающихся по топографическим условиям, по защищенности от морских ветров, а также по числу проанализированных проб и периодам наблюдений. Тем не менее совокупность данных по перечисленным пунктам позволяет сделать оценку изменения морской компоненты в составе осадков в прибрежной зоне, и проследить связь с выносом морских аэрозолей.

В табл. 1 приведены осредненные по всем имеющимся на каждой станции пробам значения концентрации хлора и натрия как основных ингредиентов морского происхождения. Здесь же указаны высоты станций (над уровнем моря) и удаление от моря. Станции перечислены в последовательности увеличения расстояния от моря.

Таблица 1

Средняя концентрация хлоридов в атмосферных осадках на Черноморском побережье

Станция	Расстояние от моря, км	Высота станции над уровнем моря, м	Число и вид проб	Концентрация, мг/л	
				Cl ⁻	Na ⁺
Кобулет	0,10	7	98 суммарных	33,2	18,3
Евпатория	0,07	5	24 единичных	24,4	11,2
Новороссийск	0,32	13,6	52 „	11,2	7,1
Одесса, обсерватория	0,50	42	103 суммарных	5,5	3,0
Сочи, опытная станция	1,0	57	12 „	4,7	5,8
Никитский сад	1,5	200	89 „	3,0	1,6
Сухуми, агрометеостанция	3,0	110	91 „	2,4	1,0
Воронцовка	15,0		12 „	2,8	5,3
Красная Поляна	35,0	566	12 „	1,6	3,9

Несмотря на неоднородность данных все же вполне определенно выражена закономерность убывания концентрации хлора с удалением от берега (рис. 1). Такого рода экспоненциальный характер убывания содержания хлоридов в осадках отмечался в ряде работ [6, 7, 8, 10], однако, параметры этой зависимости авторы получили неодинаковые. Очевидно, значение параметров зависит от физико-географических и комплекса метеорологических условий. На этом остановимся более подробно ниже.

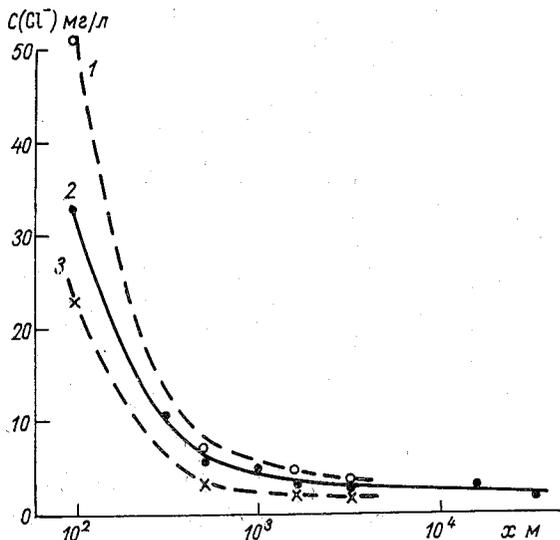


Рис. 1. Изменение концентрации ионов хлора в осадках с удалением от берега моря.

1 — зима, 2 — год, 3 — лето.

Для Черноморского побережья зависимость убывания концентрации хлора (Cl^-) можно аппроксимировать формулой

$$C(\text{Cl}^-) = 30e^{-\frac{x}{0,25}} + 2(e^{-0,02x} + 1), \quad (1)$$

где x — расстояние до моря в километрах.

Вид формулы (1) и определение входящих в нее параметров будут рассмотрены более подробно в дальнейшем. Пока заметим, что исходными значениями являются концентрация ионов хлора $C_0(\text{Cl}^-)$ при $x=0$ и $C_\phi(\text{Cl}^-)$ при $x=\infty$.

За начальное значение $C_0(\text{Cl}^-)$ принимаем значение ближайшей к урезу воды станции Кобулетти ($x=0,1$ км). Примерно на таком же (даже несколько меньшем) расстоянии до береговой линии собирались осадки в Евпатории, однако, число проб здесь недостаточно для того, чтобы принять за опорное значение среднее из них.

На основании анализа данных, приведенных на рис. 1, и формулы (1) можно отметить, что резкий спад концентрации хлоридов происходит на первом километре удаления от моря, а затем концентрации медленно приближаются к фоновым значениям. До расстояния 1—1,5 км убывание C (Cl^-) определяется первым экспоненциальным членом уравнения (1), при дальнейшем увеличении расстояния он утрачивает значение, а определяющим становится вторая экспонента. Свободный член уравнения соответствует фоновому значению концентрации хлора.

По-видимому, параметры уравнения (1) должны быть определены для разных метеорологических условий и для разного времени года. В этом отношении могут быть приведены некоторые предварительные характеристики.

Годовые изменения содержания хлоридов в осадках можно рассмотреть по данным названных опорных станций. На рис. 2 приводится годовой ход концентрации хлора в осадках по средним сезонным значениям. На всех станциях годовой максимум отмечается в зимний сезон, минимум летом или в начале осени. Амплитуда годовых колебаний очень велика в прибрежных станциях, а с удалением от моря уменьшается. Так, в Кобулети средняя концентрация хлора зимой 50 мг/л, летом и осенью 23—24 мг/л; в Одессе — зимой 7 мг/л, летом — 3 мг/л; в Никитском саду (на расстоянии 1,5 км от моря) зимой 4,3 мг/л, летом — 2,0 мг/л. Еще меньше средняя концентрация по данным сухумской агрометеостанции — 2,5 (зимой) и 1,8 (летом). Возможно, что годовые амплитуды концентрации хлора на последних двух станциях преуменьшены вследствие их закрытого положения относительно моря.

Однако вполне определенно можно заключить, что с удалением от берега годовые колебания хлоридов в осадках уменьшаются быстро, хотя, несомненно, морское влияние проявляется в 3-километровой зоне, а возможно, и несколько большей. На станциях, удаленных более 10 км (Воронцовка и Красная Поляна), согласно [4], зимние и летние значения концентрации хлора в осадках заметно не отличаются.

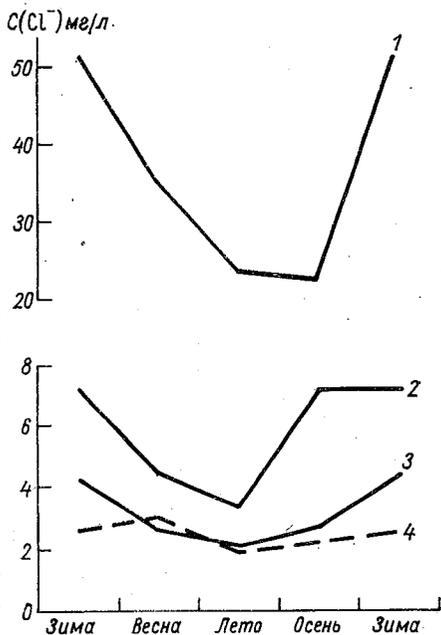


Рис. 2. Сезонные изменения концентрации ионов хлора в осадках для разных пунктов.

1 — Кобулети, 2 — Одесса, 3 — Никитский сад, 4 — Сухуми.

На основании этих данных о годовых изменениях можно сделать вывод об особенностях убывания концентрации хлора с удалением от берега в разные сезоны. Очевидно горизонтальные градиенты концентрации хлоридов в разные сезоны будут в основном определяться изменением концентраций в прибрежных условиях. Поэтому зимой эти градиенты будут значительно больше, чем летом, причем градиенты сильно изменяются в узкой береговой полосе (до 1—1,5 км). В аналитическом выражении зависимости концентрации хлора от расстояния изменяются коэффициенты первого члена, во втором практически можно сохранить указанные выше значения параметров для формулы (1). Так, для зимы зависимость $C(Cl^-)$ от расстояния x можно записать следующим образом:

$$C(Cl^-) = 46e^{-\frac{x}{0,25}} + 2(e^{-0,02x} + 1). \quad (2)$$

Вернемся к годовому ходу концентрации хлора в осадках. Очевидно характерные особенности этого хода связаны с изменением интенсивности выноса морских аэрозолей на побережье, что зависит от скорости ветра и волнения моря. Учитывая эту зависимость, была сделана попытка оценить общее поступление солей в атмосферу с поверхности мирового океана по повторяемости больших скоростей ветра [1]. Связь хлоридов в осадках со скоростью ветра в общем виде обнаруживается и по годовому ходу. Действительно, на рассматриваемых прибрежных станциях средние скорости ветра больше в зимние месяцы, чем в летние. Годовые изменения средней скорости ветра наиболее значительны в Одессе, где зимой они составляют 6,2 м/с; летом — 4,3 м/с; в Никитском саду различие между зимними и летними средними значениями меньше (3,5 и 2,5 м/с). Однако в Кобулету, где особенно велики годовые колебания концентрации хлора, средние скорости ветра в течение года изменяются мало и по величине они небольшие (2,8—2,4 м/с). Это показывает, что средние скорости ветра не могут быть приняты за определяющую характеристику. Более показательны данные о повторяемости сильных ветров.

Годовой ход вероятности скоростей ветра больше 10 м/с по станциям Одесса и Батуми (последняя вместо Кобулету) имеет максимум зимой, минимум — летом. Однако обращает на себя внимание как бы несоответствие высокого содержания хлоридов в осадках при незначительных вероятностях сильных ветров даже в зимнее время в районе Батуми — Кобулету. Было бы важно сопоставить данные равноудаленных от берега пунктов, но возможно, что и при этом мы не получили бы прямой пропорциональности средних характеристик. Очевидно недостаточно принимать во внимание только скорость ветра, должно быть учтено и направление ветра, а также состояние моря. По средним месячным пробам нельзя провести такое сопоставление, необходимы данные по отдельным дням. В качестве ориентировочных характеристик влияния направления ветра можно привести данные из работы [3]. Оказалось возможным уточнить некоторые выводы из этой работы,

поскольку в ней полностью приведены результаты анализа проб и данные разделены на группы в зависимости от направления ветра. Концентрации хлора по этим группам получаются следующие:

Ветер с моря	16,5 мг/л (27)
Ветер с континента	1,9 мг/л (14)
Штиль	11,0 мг/л (11)

Примечание. В скобках указано число проб.

Разность в содержании хлора в осадках, выпадающих при ветрах со стороны моря и с континента, весьма показательна для морских воздействий.

В той же работе [3] отмечается также влияние скорости морских ветров и волнения моря. Концентрация хлора в осадках особенно возрастает при скоростях ветра, больших 3 м/с. Однако корреляционная связь хлора со скоростью ветра не получается четкая. Воспользовавшись приведенными в таблицах данными о волнении были рассчитаны концентрации хлора для каждого балла волнения.

Результаты расчетов представлены на рис. 3 в полулогарифмических координатах. При волнении моря от 2 до 6 баллов зависимость $\lg C$ (Cl^-) от волнения (B) можно рассматривать как линейную (штриховая линия) и соответственно выразить аналитически

$$\lg C (Cl^-) = aB + b$$

или

$$C (Cl^-) = ke^{a_1 B}. \quad (3)$$

Коэффициенты a и b , определенные по графику (рис. 3), имеют значения: $a=0,31$; $a_1 = a \cdot 2,3 = 0,71$; $b = -0,08$; $k = e^{-2,3 b} = 0,83$, так что формулы (3) можно записать следующим образом:

$$\begin{aligned} \lg C (Cl^-) &= 0,31B - 0,08; \\ C (Cl^-) &= 0,83e^{0,71B}. \end{aligned} \quad (4)$$

При спокойной морской поверхности (волнение меньше 2 баллов) в осадках обнаруживается небольшое количество хлоридов (около 3 мг/л), близкое к фоновым значениям. При волнении более 2 баллов поступление морских солей на берег резко возрастает

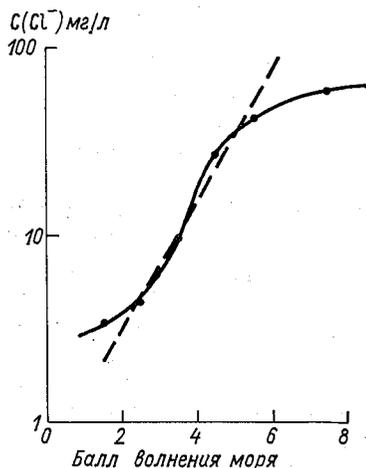


Рис. 3. Зависимость концентрации хлора в осадках от волнения моря (район Новороссийска).

и увеличивается в зависимости от балла волнения в геометрической прогрессии. Так, в соответствии с формулами (4), при трехбалльном волнении концентрация ионов хлора в осадках повышается до 7 мг/л, т. е. в 2 раза превышает фон, при волнении 5 баллов $C(Cl^-)$ увеличивается до 30 мг/л, а при 6 баллах — почти до 60 мг/л.

При штормовых условиях число проанализированных проб, приведенных в цитируемой работе, незначительно, и эти данные было бы желательно пополнить. Если же основываться на имеющихся данных, то можно отметить, что после 6—7 баллов кривая на рис. 3 загибается, а следовательно, дальнейшее нарастание концентрации хлоридов замедляется.

Пользуясь полученной зависимостью, по степени волнения можно оценить поступление солей на берег в дни с осадками.

Подобным же образом изменяется содержание в осадках натрия в зависимости от состояния моря и удаления от берега.

Данные по другим пунктам, помещенные в табл. 1, также показывают уменьшение содержания натрия в осадках с увеличением расстояния до моря, однако по величине и по соотношению с хлором эти значения отличаются от наших. Это объясняется отмеченной уже неоднородностью числа проб и методов их анализа. В частности, на натрий пробы анализировались не всегда или определялась суммарная концентрация натрия и калия. (Например, в работе [3] хлор определен в 56 пробах, а натрий только в 29). Вследствие этого средние характеристики химического состава осадков по пунктам эпизодических наблюдений приходится рассматривать лишь как ориентировочные, полагаясь в основном на систематические данные опорных станций.

Показательной характеристикой для морской компоненты осадков является отношение концентрации хлора и натрия. Для береговых станций — Кобулети, Одесса и Никитский сад — это отношение в среднем составляет 1,82—1,87 (табл. 2), что близко соответствует отношению этих ионов в воде Черного моря. Увеличение отношения до 2,4 в пробах агрометеостанции Сухуми, удаленной от моря на 3—3,5 км, трудно объяснить.

Таблица 2

Общая минерализация атмосферных осадков и суммарная концентрация в них морских солей (рассчитанная по хлору)

Станция	Отношение Cl^-/Na^+	Минерализация, мг/л	Концентрация морских солей		
			мг/л	% от общей минерализации	Относительные значения C_x/C_0
Кобулети	1,82	81,7	56,0	68,5	1
Одесса, обсерватория	1,83	35,0	10,0	28	0,18
Никитский сад	1,87	20,8	5,4	26	0,10
Сухуми, агрометеостанция	2,40	16,6	4,0	24	0,07

Принимая во внимание соотношение ингредиентов в морской воде и перенося их на осадки, можно по хлору рассчитать суммарную концентрацию морских солей. Результаты таких расчетов приведены в табл. 2. На ближайшей к морю станции Кобулети морские соли в осадках составляют около 70% их общей минерализации, на Сухумской агрометеостанции уже только 24%, а в Красной Поляне доля морских солей в работе [4] оценена в 12%, т. е. убывание происходит также быстро, как и основного иона Cl^- .

Рассматривая распространение на побережье морских солей следует, вообще говоря, учитывать их суммарную концентрацию, приведенную в табл. 2. Однако легко убедиться, что закономерность убывания с удалением от моря, установленная по хлору, сохраняется и для суммарной концентрации морских солей.

Для большей общности эту зависимость лучше выразить через относительные значения концентрации C_x/C_0 , приняв за C_0 концентрацию у самого берега (в нашем случае в Кобулети). Отношения C_x/C_0 , вычисленные как для хлора, так и для морских солей, одинаковы на всех опорных станциях (различие не превышает 1%).

В относительных величинах закономерность убывания морских солей с удалением от моря для Черноморского побережья можно записать в виде

$$C_x/C_0 = 0,9e^{-\frac{x}{0,25}} + 0,05e^{-\frac{x}{50}} + 0,05 \quad (5)$$

Существенный интерес представляет сравнивать эту зависимость с аналогичными формулами, полученными для береговых районов других морей. Предварительно остановимся на структуре и параметрах формулы.

В рассматриваемом виде формула предложена Леефлангом [10]. Для голландского побережья он записал зависимость следующим образом:

$$C_x = 11,7e^{-0,525x} + 3(e^{-0,023x} + 1). \quad (6)$$

Два экспоненциальных члена хорошо отражают особенности изменения концентрации морских примесей в осадках: первая экспонента определяет быстрое убывание концентрации при малых x , т. е. вблизи берега, вторая — при больших удалениях.

Из формул (1) — (6) следует, что при $x=0$ $C_x=C_0$ или в относительных значениях $C_x/C_0=1$; при $x=\infty$ C_∞ (или C_∞/C_0) равно свободному члену.

Эти значения являются важными граничными условиями, по которым определяются все параметры в формулах. Очевидно, C_∞ — это фоновое значение рассматриваемой концентрации (C_ϕ), устанавливающееся на значительном расстоянии от моря. За такое расстояние обычно можно принять 100—200 км. Необходимо подчеркнуть, что в пределах только такой береговой зоны и применима рассматриваемая зависимость, распространение ее на расстояния в тысячу и более километров не обосновано.

Коэффициент в первом члене уравнения равен $C_0 - C_\phi$ или для уравнения вида (3) — $(1 - C_\phi/C_0)$; коэффициент при втором экспоненциальном члене, как и свободный член, равен C_ϕ (или C_ϕ/C_0).

Для ближайшей к Черному морю территории, по имеющимся данным, $C_\phi(\text{Cl}^-) = 1,5 \div 2,0$ мг/л [2]. С этим значением согласуется и концентрация хлора в осадках Красной Поляны (см. табл. 1). Такая величина концентрации по отношению к прибрежным значениям составляет около 5%, соответственно с чем свободный член в формуле (3) берем равным 0,05.

Для Голландии [10] было принято $C_\phi(\text{Cl}^-) = 3$ мг/л. Такое же значение было взято в работе [7] для северо-восточного побережья Кольского полуострова, что составляет около 0,1 от $C_0(\text{Cl}^-) = 34$ мг/л.

Коэффициенты при x в показателях степени зависят от соотношения C_0 и C_ϕ и от расстояния, на котором $C_x = C_\phi$; они легко определяются по графику.

В соответствии с указанными значениями $C_\phi(\text{Cl}^-)$ и $C_0(\text{Cl}^-)$ для побережья Кольского полуострова формулу можно записать следующим образом:

$$C_x/C_0 = 0,8e^{-\alpha x} + 0,1e^{-\beta x} + 0,1. \quad (7)$$

Коэффициенты α и β в упомянутой работе были взяты по Леефлангу без достаточной проверки. Позже коэффициенты были уточнены, и в окончательном виде для Кольского полуострова формула имеет вид

$$C_x/C_0 = 0,8e^{-\frac{x}{0,30}} + 0,1e^{-\frac{x}{50}} + 0,1. \quad (8)$$

Формулы (5) и (8) довольно близки между собой, различие в основном определяется разными значениями фоновой концентрации. Однако можно отметить более медленное убывание концентрации хлоридов с удалением от Баренцева моря на Кольском полуострове, что иллюстрирует рис. 4. Это может быть связано и с более низкими берегами и особенно с более сильными ветрами и более бурным Баренцевым морем.

Интересно сопоставить полученные зависимости (5) и (8) с голландскими данными (6). Первое, что бросается в глаза, это отличие параметров. Для удобства сравнения формулу (6) следует записать в относительных единицах. Однако для перехода к относительным величинам необходимо уточнить значение $C_0(\text{Cl}^-)$. По формуле (6) при $x=0$ найдем $C_0(\text{Cl}^-) = 17,7$ мг/л. Это значение $C_0(\text{Cl}^-)$, безусловно, занижено, в чем можно убедиться по ходу кривой 4 (см. рис. 4), вычисленной по формуле (6) (фактические значения $C_x(\text{Cl}^-)$ взяты из работы [10]). При указанном значении $C_0(\text{Cl}^-)$, рассчитанном по формуле (6), кривая сильно смещена и резко ломается при $x < 400$ м.

Это является следствием того, что параметры формулы (6) определялись по изменению концентрации хлоридов на расстоянии от моря $x \geq 440$ м, непосредственно у береговой линии данные от-

сутствуют. Поэтому резкий спад концентрации C (Cl^-), который обычно наблюдается в пределах первых 300 или 400 м, не учтен формулой (6) и по ней нельзя экстраполировать на расстояния $x < 400$ м.

Непосредственно у морского берега ($x < 100$ м) концентрация хлора в осадках в среднем составляет обычно 30—40 мг/л, а иногда и больше [9]. Если продолжить кривую 4 до пересечения с осью ординат, то можно оценить значение $C_{x=0}$ (Cl^-). Оказалось,

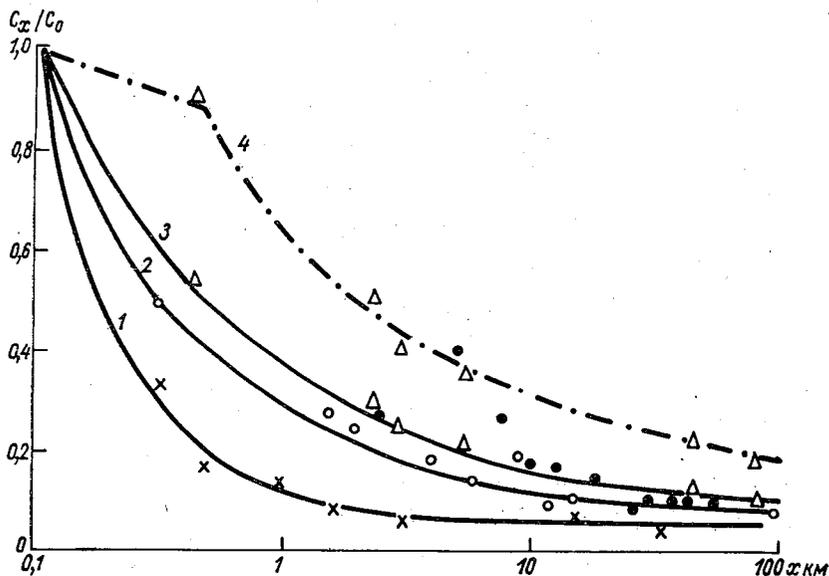


Рис. 4. Относительное изменение концентрации хлора в осадках на берегах разных морей.

1 — Черное море; 2 — Баренцево море (Кольский полуостров); 3 — Северное море (Голландия) и Ирландское море (западная Англия); 4 — Северное море (вычислено по формуле (6)).

что оно также должно составлять примерно 30 мг/л. Приняв это значение за C_0 , были пересчитаны величины C_x/C_0 (табл. 3) и построена кривая 3.

Концентрация хлора в осадках на побережьях Голландия

Расстояние до моря, км . . .	0	0,44	2,28	3,0	5,6	48,0	86,0
C_x мг/л	—	16,2	9,1	7,5	6,5	4,0	3,2 [10]
C_x/C_0 при $C_0 = 17,7$	1	0,91	0,51	0,42	0,37	0,23	0,18
C_x/C_0 при $C_0 = 30$	1	0,54	0,30	0,25	0,22	0,13	0,11

Англия

Расстояние до моря, км . . .	0,1	2,5	5,0	7,5	10	13	18	26	30	38	45	48	51
C_x мг/л	55,0	15,6	22,7	15,6	10,0	8,9	8,2	5,7	5,8	5,3	6,7	6,0	7,8 [9]
C_x/C_0	1	0,28	0,41	0,28	0,18	0,16	0,15	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11	0,14

По этой последней кривой можно написать уравнение, сходное с предыдущими,

$$C_x/C_0 = 0,8e^{-\frac{x}{0,55}} + 0,1e^{-\frac{x}{50}} + 0,1. \quad (9)$$

Как мы видим на рис. 4 и по формуле (9) убывание концентрации хлоридов в осадках с удалением от моря на голландском побережье еще более медленное, чем на Кольском полуострове. По-видимому, такое замедленное убывание характерно для сравнительно плоских берегов. Это подтверждается и данными по одному из прибрежных районов Англии [9]. Значение концентрации для этого района после пересчета на мг/л (в работе [9] мг-экв/л) и вычисления относительных величин C_x/C_0 приводятся в табл. 3. Нанесенные на график (см. рис. 4) эти значения хорошо легли на кривую 3, соответствующую голландским данным. Таким образом, формула (9) может быть принята и для побережья Англии.

Автор [9] представил зависимость C_x (Cl^-) от расстояния x в другом виде, а именно

$$C_x(\text{Cl}^-) = 0,71x^{-0,33}. \quad (10)$$

В этой формуле x в километрах, C_x (Cl^-) в мг-экв/л (при переходе к мг/л коэффициент перед x должен быть изменен).

В пределах рассматриваемых автором расстояний x (0,1—51,0 км) формула (10) примерно оправдывается, однако, это лишь формальное соответствие, так как такая зависимость не удовлетворяет граничным условиям. Так, из формулы следует, что при $x=0$ $C_0 = \infty$, а при $x=\infty$ $C_\infty(\text{Cl}^-) = 0$. Этот результат не соответствует физическим условиям: $C_0(\text{Cl}^-)$ — величина конечная (даже непосредственно над морями), а при $x \rightarrow \infty$ $C_\infty(\text{Cl}^-) \rightarrow C_\phi(\text{Cl}^-) > 0$ (тем более в условиях Англии).

Таким образом, несмотря на различие географического положения, во всех рассмотренных случаях изменение концентрации хлоридов с удалением от моря происходит одинаково. Поэтому полученную закономерность можно считать достаточно общей. Параметры в формулах варьируют не сильно. Все же для конкретных географических и метеорологических условий параметры должны быть уточнены, при этом основное значение имеет правильное определение C_0 и C_ϕ .

Изучение примесей в атмосферных осадках позволяет выяснить распространение морских солей в прибрежной зоне. Рассмотренные зависимости от ветра и состояния моря, приведенная закономерность убывания концентрации хлоридов в осадках с удалением от морского берега согласуются с результатами прямых исследований аэрозолей (см. статьи наст. сб.). По всем данным прибрежная зона с резко выраженными агрессивными свойствами приземного слоя атмосферы составляет 1—3 км от береговой линии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовский Р. И. Мировой океан как источник атмосферных ядер конденсации.— «Изв. АН СССР, сер. геофиз.», 1952, № 2.
2. Дроздова В. М., Петренчук О. П., Селезнева Е. С., Свистов П. Ф. Химический состав атмосферных осадков на Европейской территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1964.
3. Егорова В. А. Влияние ветрового режима на солевой состав атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря.— «Труды Ин-та океанологии», 1961, т. 53, с. 95—111.
4. Зверев В. П. Химический состав атмосферных осадков черноморского побережья Кавказа.— «ДАН СССР», 1962, т. 142, № 5, с. 1158—1161.
5. Ларионова Л. И. Исследование химического состава атмосферных осадков в районе г. Евпатории.— «Гидрохим. материалы», 1972, т. 53, с. 3—9.
6. Матвеев А. А. Химический состав снега в Антарктиде по наблюдениям на профиле Мирный — Восток.— «Гидрохим. материалы», 1961, т. 34, с. 3—11.
7. Свистов П. Ф., Селезнева Е. С. Некоторые данные о химическом составе и распределении аэрозолей на побережье Кольского полуострова.— «Труды ГГО», 1966, вып. 185.
8. Юнге Хр. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., «Мир», 1965.
9. G o r h a m E. The influence and importance of daily weather conditions in the supply of chloride, sulfate and other ions to fresh waters from atmospheric precipitation.— Phil. Trans. Roy. Soc., (London), 1958, B 241, 147.
10. L e e f l a n g K. W. H. De chemische Samenstelling van der Neerslag in Nederland.— Chem. Weekblad. 1938, v. 35, p. 658.
11. S e l e z n e v a E. S. Estimation of the background contamination of the atmosphere from the chemical composition of precipitation. Tellus, 1972, XXIV, No. 2, pp. 122—127.

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА АКВАТОРИИ ТИХОГО ОКЕАНА

Сведения о химическом составе и важнейших физико-химических параметрах атмосферных осадков, выпадающих на акватории мирового океана весьма скудны. Можно найти отрывочные данные по некоторым компонентам их состава, главным образом по ионам хлора, для береговых или островных пунктов [1, 2, 6, 7]. По открытым частям океанов данных почти нет. Поэтому большую ценность представляют пробы осадков, доставленные научно-исследовательскими судами Дальневосточного НИГМИ — «Шокальский», «Воейков», «Королев», «Ширшов», «Океан», «Прибой» и др. На этих судах в разных частях Тихого океана в период с 1965 по 1972 г. собрано около 200 проб, химический анализ которых выполнен в гидрохимической лаборатории ДВ НИГМИ (Владивосток) под руководством инженера-химика Н. Г. Рожковой. К сожалению, не во всем пробам удалось провести полный анализ из-за малого количества собранной воды, а иногда по техническим причинам. Поэтому в настоящей работе представилось возможным рассмотреть результаты анализа около 150 проб океанических осадков.

Большинство проб относится к открытым частям океана, в основном к приэкваториальной зоне ($0-30^\circ$ с. ш., $130-180^\circ$ в. д.) и к зоне $30-50^\circ$ с. ш., $150-180^\circ$ в. д. Часть проб собрана за пределами этих акваторий в областях, включающих крупные архипелаги ($115-130^\circ$ в. д.), или в морях, примыкающих к континентам. Данные по этим пробам следовало бы рассмотреть отдельно с целью выяснения распространения континентальных влияний. Однако небольшое число проб по отдельным районам не обеспечивает определенных результатов, по ним можно сделать лишь предварительные замечания.

Научные рейсы судов проходили в разные времена года, но пробы собраны в сравнительно низких широтах, поэтому во всех случаях осадки выпадали в виде дождей различной интенсивности, иногда это были тропические ливни.

Основной характеристикой химического состава атмосферных осадков над океанами является наряду с общей минерализацией концентрация в них хлоридов, т. е. морских солей. Средняя минерализация дождевой воды на основании всех имеющихся тихоокеанских проб оказалась 53 мг/л, а средняя концентрация хлора

27 мг/л. Приняв морские соотношения для хлоридов, найдем, что при данной концентрации ионов хлора суммарная концентрация морских солей в дождях (NaCl, KCl, MgCl₂ и др.) составит 49 мг/л, т. е. 92,5% общей суммы ионов. Некоторый избыток ингредиентов по отношению к концентрации ионов хлора возможно связан с наличием примесей другой природы. Все же рассматривая общую минерализацию проб дождевой воды, практически мы имеем дело с хлоридами, как это подтверждают приведенные средние значения.

Концентрация солей в пробах океанических дождей варьирует в широких пределах и указанные средние значения нельзя считать типичными характеристиками. В табл. 1 приводятся повторяемости (%) разных значений минерализации и концентрации основных ингредиентов. Легко видеть, что распределение всех величин не подчиняется нормальному закону, а имеет резко асимметричный характер. Максимум частот приходится на область небольших значений, а длинный шлейф тянется вправо до весьма высоких значений концентрации.

Таблица 1

Повторяемость разных значений концентрации основных ионов и общей суммы ионов в дождевой воде на акватории Тихого океана

Концентрация, мг/л	Сумма ионов		Ионы хлора		Ионы натрия		Сульфат-ионы	
	%	накопленная повторяе- мость	%	накопленная повторяе- мость	%	накопленная повторяе- мость	%	накопленная повторяе- мость
0—1	—	—	—	—	—	—	12,5	12,5
1—2,5	—	—	3,2	3,2	18,8	18,8	21,2	33,7
2,6—5,0	—	—	12,3	15,5	23,8	42,6	27,0	60,7
5—10	7,6	7,6	19,6	35,1	21,3	63,9	23,6	84,3
10—15	12,5	20,1	18,0	53,1	9,9	73,8	6,3	90,6
15—20	14,2	34,3	10,6	63,7	8,2	82,0	4,5	95,1
20—25	10,0	44,3	7,4	71,1	3,3	85,3	0,6	95,7
25—30	9,2	53,5	3,3	74,4	5,7	91,0	1,3	97,0
30—40	10,8	64,3	5,0	79,4	2,5	93,5	0,6	97,6
40—50	5,8	70,1	4,1	83,5	5,0	98,5	0,6	98,2
50—60	5,0	75,1	4,9	88,4	0,8	99,3	0,6	98,8
60—70	7,6	82,7	—	—	0,8	100,1	0,6	99,4
70—80	2,5	85,2	4,1	92,5	—	—	0,6	100,0
80—90	1,7	86,9	0,8	93,3	—	—	—	—
90—100	1,7	88,6	0,8	94,1	—	—	—	—
100—150	6,6	95,2	5,5	99,6	—	—	—	—
150—200	—	—	—	—	—	—	—	—
200—300	2,5	97,7	0,4	100,0	—	—	—	—
300—400	2,5	100,2	—	—	—	—	—	—
Число случаев	120		123		122		155	

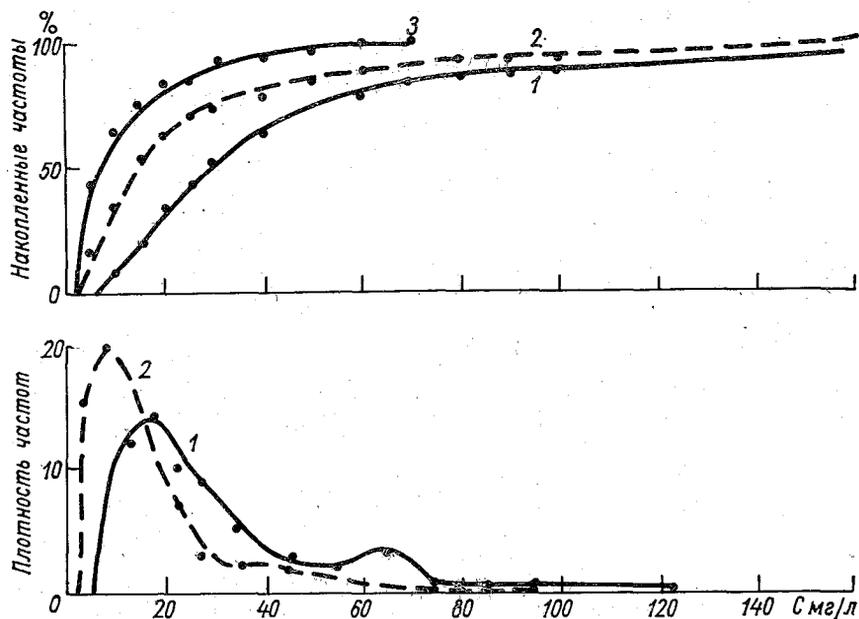


Рис. 1. Распределение повторяемостей концентраций суммы ионов (1), ионов хлора (2) и ионов натрия (3).

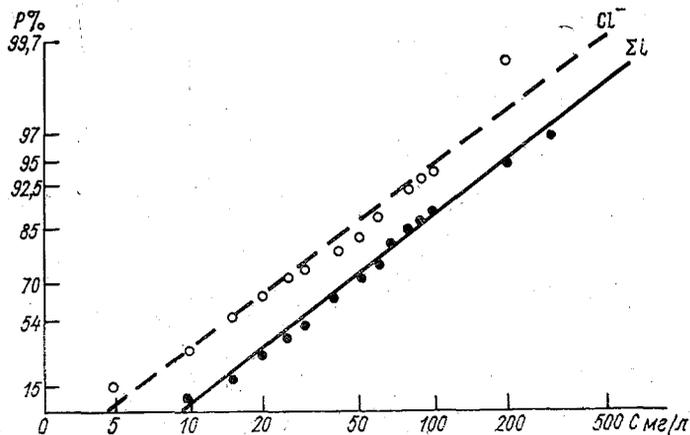


Рис. 2. Распределение повторяемостей концентраций суммы ионов (Σi) и ионов хлора (Cl^-) в вероятностно-логарифмических координатах.

На рис. 1 представлено распределение плотности частот и кривые накопленных частот. По этим кривым и по данным табл. 1 можно видеть, что сумма ионов (Σi) в 50% дождей меньше 30 мг/л, а концентрация ионов хлора $C (Cl^-)$ меньше 15 мг/л и в 75% случаев $\Sigma i < 60$ мг/л, $C (Cl^-) < 30$ мг/л.

Вид кривых распределения позволяет предположить, что оно относится к логарифмически-нормальному. Это подтверждается рис. 2, на котором данные, нанесенные в вероятностно-логарифмических координатах, легли на прямые.

В гидрогеологической литературе встречается указание, что рассеяние некоторых минералов и концентрация ионов в природных водах (главным образом сильно минерализованных) нередко подчинены логарифмически-нормальному закону [3, 5]. В согласии с этим находятся и приведенные данные по тихоокеанским дождям.

Непостоянство концентрации примесей в дождевой воде очевидно связано с изменением поступления в атмосферу солевых частиц или капелек морской воды.

Наиболее интенсивный вынос морских солей в атмосферу происходит при сильном волнении и при больших скоростях ветра. Поэтому рассмотрим корреляцию минерализации осадков со скоростью ветра (данными о волнении мы не располагаем). Средние значения минерализации ($\sum i$) по градациям скоростей ветра даны в табл. 2; эти же значения представлены графически на рис. 3.

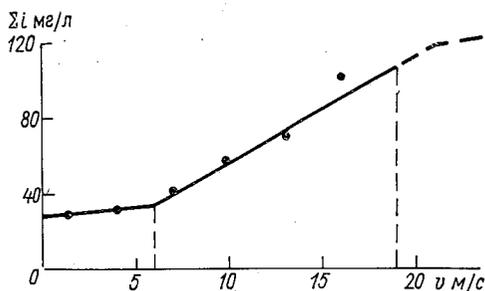


Рис. 3. Зависимость минерализации дождевой воды от скорости ветра.

Таблица 2

Градация скорости ветра, м/с	0—2	3—5	6—8	9—11	12—14	15—17
Средняя скорость v м/с	1,5	4	7	10	13	16
$\sum i$ мг/л	28	31	42	57	70	102
Число случаев	6	24	40	21	9	7

Зависимость $\sum i$ от v получилась достаточно определенная и физически вполне понятная. При малых скоростях ветра (<5 м/с) минерализация наименьшая и в пределах этих скоростей мало изменяющаяся. Вполне очевидно, что минерализация не снижается до нуля при штилях, так как в атмосфере над океанами всегда рассеяно значительное количество морских аэрозолей как следствие предшествующих процессов и горизонтального обмена. Кроме того, и при спокойном состоянии водной поверхности происходит образование пузырьков при выходе газов, при разрыве которых в атмосферу поступает большое количество мельчайших капелек [6]. Поэтому при штилевой погоде имеется свой аэрозольный уровень в атмосфере, в соответствии с которым в осадках сумма ионов составляет 25—30 мг/л.

Приблизительно с 6 м/с содержание солей в дождевой воде резко возрастает и продолжает увеличиваться с возрастанием

скорости ветра до 15—17 м/с. Эта градация скорости является наибольшей из имеющихся 107 наблюдений. Однако самые высокие значения минерализации не вошли в эти случаи, так как для них не отмечено при каком ветре собраны пробы. Экстраполировать ход кривой в сторону больших скоростей ветра трудно. Можно высказать предположение, что с некоторых значений скорости наступает «насыщение», и кривая перейдет на горизонтальный ход (штриховая линия на рис. 3).

В области скоростей от 6 до 17 м/с имеет место четкая линейная зависимость

$$\sum i = 5,7v, \quad (1)$$

так, что, например, при $v = 10$ м/с сумма ионов в осадках в среднем равна 57 мг/л, а при 20 м/с превышает 100 мг/л.

Приведенная эмпирическая зависимость нуждается в дальнейшем уточнении, тем более, что дисперсия средних значений минерализации (см. табл. 2) довольно велика. Кроме того, при сильном ветре пробы осадков могут быть дополнительно засолены брызгами морской воды, попадающими в осадкосборник.

Обычно при изучении химического состава атмосферных осадков рассматривается зависимость их общей минерализации от количества осадков. Была сделана попытка выяснить наличие такой зависимости на акватории океана. Однако связь с количеством осадков здесь не обнаружена. Более определенный результат получен при учете интенсивности осадков. Оказалось, что непродолжительные бурные ливни с интенсивностью осадков несколько миллиметров в минуту приносят наименее минерализованную воду (5—10 мг/л). Стремительные потоки воды тропических ливней несут, по-видимому, только те примеси, которые приобретены в слоях формирования облаков и осадков, влияние приводного слоя как бы исключается. Примерно такие же значения концентрации примесей в пробах получены при обильных осадках на континенте. Они были названы в [8] «фоновыми», поскольку определяются общим фоном рассеянных в атмосфере примесей. По однородности таких значений на океане и континенте можно предположить наличие единого глобального фона.

Важной физико-химической характеристикой природных вод является показатель pH . Для континентальных атмосферных осадков наиболее часто встречаются значения pH от 5 до 6, нередко случаи меньше 5 и больше 6, но, как правило, значения pH не превышают 7. Распределение повторяемостей разных значений pH в океанических дождях представлено на рис. 4. Нижний предел значений примерно такой же, как и для континентальных осадков (около 4,0), а верхний несколько выше (почти достигает 8,0). Можно напомнить, что показатель pH для морской воды больше 8 [1]. В целом распределение pH близко соответствует нормальному закону с максимумом повторяемостей вблизи среднего значения и небольшой дисперсией

$$\overline{pH} = 5,86; \quad \sigma = \pm 0,74.$$

В пределах $\pm\sigma$ вошли 67% случаев, что характерно для нормального распределения.

К важнейшим физико-химическим характеристикам атмосферных осадков принадлежит также удельная электропроводность (κ). Величина электропроводности раствора определяется подвижностью и концентрацией присутствующих в нем ионов. Поскольку в дождевой воде ионы одни и те же, то основное значение имеет их суммарная концентрация и величина pH , как показатель концентрации высокоподвижных ионов водорода. Действительно, получена довольно тесная линейная корреляция между суммой ио-

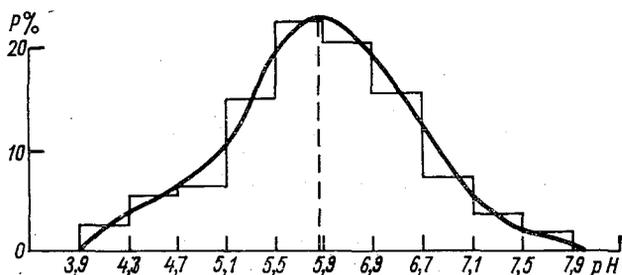


Рис. 4. Гистограмма повторяемостей значений pH в дождевой воде.

нов и удельной электропроводностью (с учетом значения pH) [4], которая может быть распространена и на океанические осадки.

Уравнение регрессии при значениях $pH > 5,0$ имеет вид

$$\sum i = 0,58\kappa - 2,0 \quad \text{или} \quad \kappa = 1,71 \sum i + 2,5. \quad (2)$$

Здесь κ в мкСм/см (т. е. $10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$), сумма ионов в мг/л .

Средняя электропроводность воды тихоокеанских дождей из 140 определений составила около 100 мкСм/см . Подставляя это значение в уравнение (2), получим $\sum i = 56 \text{ мг/л}$, что довольно близко к указанному выше среднему значению минерализации.

Подобно распределению суммы ионов и концентрации хлоридов, распределение κ подчиняется логарифмически-нормальному закону. Максимум повторяемостей имеют значения κ в области $20-40 \text{ мкСм/см}$, а шлейф вправо доходит до значений 500 мкСм/см и несколько больших, при этом в 50% случаев $\kappa < 60 \text{ мкСм/см}$, в 75% — $\kappa < 100 \text{ мкСм/см}$. Следовательно, в подавляющем числе случаев κ меньше среднего значения, которое слишком далеко сместилось вправо от модального и медианного ($\kappa_{\text{мед}} = 60 \text{ мкСм/см}$) значений из-за наличия шлейфа. Несмотря на то, что значения удельной электропроводности дождевой воды весьма разнообразны, преобладают случаи с умеренными значениями κ , т. е. со сравнительно небольшой минерализацией. По-видимому, полезно иметь в виду соотношение между $\sum i$ и κ , так как полный анализ проб осадков требует значительного времени и нередко неосуществим, а измерение электропроводности более доступно. По уравне-

нию регрессии (2) минерализация проб может быть затем оценена с ошибкой около 10—20% (при $\kappa < 250$ мкСм/см) [4].

При выяснении природы хлоридов, содержащихся в атмосферных осадках, обычно рассматривается отношение Cl^-/Na^+ (или обратное Na^+/Cl^-) и сопоставляется со значением, характерным для морской воды. По всем тихоокеанским пробам также были вычислены эти отношения и подсчитаны повторяемости разных значений по небольшим градациям:

Градация отношений Cl^-/Na^+ . . .	0,1—0,5	0,6—1,0	1,1—1,5	1,6—2,0	2,1—2,5
Повторяемость, %	0,8	0,8	16,7	47,3	17,6
Градация отношений Cl^-/Na^+ . . .	2,6—3,0	3,1—3,5	3,6—4,0	4,1—4,5	4,6—5,0
Повторяемость, %	8,1	3,6	1,8	2,7	0,5

Как показывают данные, распределение рассматриваемых отношений островершинное с резким максимумом (47%) на градации 1,6—2,0 и с небольшой асимметрией. Модальное значение отношений (1,78) весьма близко к отношению в океанской воде (1,82); среднее значение немного смещено вправо от моды и составило 2,03 при σ , равном $\pm 0,71$. Все это убедительно подтверждает, что в подавляющем числе проб хлориды имели океаническое происхождение. Единичные случаи (1,6%) значительного дефицита хлора в дождевой воде (отношение $\text{Cl}^-/\text{Na}^+ < 1,0$) можно не принимать во внимание (это могут быть ошибочные значения), в области больших значений процент случаев довольно заметный. Так, случаи, когда $\text{Cl}^-/\text{Na}^+ > 2,5$, составляли 16,7%. Правда, и в этой области распределения крайние значения (больше 4) кажутся сомнительными. Все же в заметном числе случаев можно отметить избыток хлора по сравнению с морским соотношением. Возможно, что в этом проявился вклад газообразного хлора, что предполагается некоторыми авторами [6]. Можно предположить и влияние случайных источников на состав проб. К такому же предположению можно прийти, рассматривая соотношение ионов сульфата и хлора. Во многих пробах отношение $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ значительно превышает морское (0,14), т. е. имеется избыток SO_4^{2-} по сравнению с Cl^- . Каковы источники дополнительных поступлений окислов серы в дождевую воду, неясно. В некоторых случаях они могут оказаться антропогенной природы. Во всяком случае небольшое число проб осадков, доставленных из морских рейсов, т. е. из районов, более близких к материку, в среднем имели более высокую минерализацию.

Приведенные характеристики дают представление об особенностях химического состава дождевой воды в открытых акваториях океана. Для концентрации основных ионов и их общей суммы (минерализации) в этих осадках типично логарифмически-нормальное распределение, что соответствует тому условию, что примеси в них имеют только один мощный источник — океан (при наличии нескольких источников их влияние складывается и рас-

пределение примеси приближается к нормальному [3]). При полученном асимметричном распределении следует в качестве обобщенного значения принимать медианное, а не среднее арифметическое. Полученные по результатам анализа медианные значения интересно сопоставить с рассчитанными по хлору (табл. 3).

Таблица 3

Медианные значения концентрации ионов в тихоокеанских дождях

Ионы	$C_{\text{мед}}$ (мг/л) по результатам анализа	$C_{\text{мед}}$ (мг/л), рассчитанное по хлору
Cl^-	14,5	14,5
Na^+	6,5	8,0
K^+	0,4	0,3
Mg^{+2}	1,2	1,0
Ca^{+2}	1,4	0,3
SO_4^{-2}	3,5	2,0
$\sum N_{\text{мед}}$ (см. рис. 1)	28,0	26,1

Превышение фактических средних значений концентрации над рассчитанными по хлору может быть следствием, как уже отмечалось, дополнительных внешних влияний на химический состав атмосферных осадков. В основном дождевая вода в открытом океане полностью хлоридно-натриевая, в отличие от континентальных осадков, в которых преобладают сульфаты и карбонаты, а из катионов — кальций, при малых концентрациях хлоридов.

Дальнейшими исследованиями необходимо уточнить физико-химические характеристики атмосферных осадков для разных частей мирового океана. Это позволит определить количество солей, возвращающихся с осадками в океан и оценить солевой обмен между атмосферой и океаном, а также вынос морских солей на континенты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алекин О. А. Химия океана. Л., Гидрометеиздат, 1966.
2. Андреев Б. Г., Рожкова Н. Г. Исследование химического состава атмосферных осадков на Дальнем Востоке.— «Труды ДВНИГМИ, 1971, вып. 32.
3. Родионов Д. А. К вопросу о логарифмически-нормальном распределении содержания элементов в изверженных горных породах. «Геология», 1961, № 4, с. 324—327.
4. Селезнева Е. С. О связи между минерализацией и электропроводностью атмосферных осадков.— «Труды ГГО», 1968, вып. 234, с. 208—212.
5. Смирнов С. И. Вероятностно-статистические закономерности распределения химических элементов в природных водах.— «Гидрогеохим. материалы», 1963, с. 5—55.
6. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., «Мир», 1965.
7. Eriksson E. The chemical composition of Hawaiian rainfall.— Tellus, v. 9, No. 4, 1957, p. 509—520.
8. Selezneva E. S. Estimation of the background contamination of the atmosphere from the chemical composition of precipitation.— Tellus, v. 24, No. 2, 1972, p. 122—127.

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В НЕКОТОРЫХ РАЙОНАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Аэрозольные частицы, постоянно присутствующие в значительном количестве в атмосфере, оказывают большое влияние на различные процессы, в частности, на процессы поступления коротковолновой и длинноволновой радиации, являясь важным погодо- и климатообразующим фактором.

Выполненные исследования показывают, что аэрозоли как естественного, так и антропогенного происхождения в зависимости от своей природы имеют различные физико-химические характеристики, важнейшими из которых являются их концентрация, дисперсный и химический состав. В связи с большой ролью аэрозолей в жизнедеятельности человека изучению этих характеристик в последнее время уделяется значительное внимание.

Изучение распределения числа аэрозолей в зависимости от их размеров проводилось рядом исследователей [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Х. Юнге [8] показал, что часто наблюдаемое степенное распределение числа аэрозолей по размерам с показателем степени 3 охватывает довольно большой класс континентальных аэрозольных частиц, и предположил, что оно является следствием совокупного действия большого числа различных аэрозольных источников и процессов крупномасштабного перемешивания. Однако из ряда экспериментальных исследований [9] следует, что закон 3-й степени является приближенным, и показатель степени часто может меняться от 2 до 5 в зависимости от места, высоты измерений и других факторов. Так, например, в загрязненном воздухе образование субмикронных частиц в результате фотохимических реакций может вызывать заметные нарушения в конце спектра со стороны мелких частиц. Имеются также указания, что в некоторых случаях число частиц на конце спектра в сторону крупных размеров падает более быстро, чем это следовало бы ожидать из закона 3-й степени [10, 14].

Одним из основных источников, обеспечивающих постоянное поступление аэрозолей в атмосферу, являются пустыни и степи, а также районы недостаточного увлажнения. На территории Советского Союза чрезвычайно загрязненным районом является Средняя Азия, климатические условия которой весьма благоприятны для образования песчаных и пыльных бурь, при которых в атмосфере поднимается и переносится на значительные расстояния

большое количество пыли, песка и частиц почвы. При этом аэрозольные частицы в атмосфере не только существенно ухудшают ее оптические характеристики и санитарно-гигиеническое состояние окружающей среды, но и значительно повышают коррозионную агрессивность атмосферы.

Несмотря на большую роль атмосферных аэрозолей Средней Азии, их физико-химические свойства изучены явно недостаточно. Можно сослаться лишь на единичные исследования по выяснению характеристик аэрозолей, выполненные в районе Ташкента [2]. Это побудило нас заняться более детальным рассмотрением особенностей химического и дисперсного состава аэрозолей Средней Азии.

Для этой цели в 1970—1971 гг. в районе г. Намангана проводился отбор проб аэрозолей посредством трехкаскадного импактора, сконструированного Н. Н. Александровым [1]. Пробы аэрозолей отбирались на высоте 4 м над уровнем земли в центральной части города и на расстоянии 18 км от города в пос. Раустан на территории хлопкового поля. Всего было отобрано около 150 проб аэрозолей, 60 из которых подвергались химическому анализу, а остальные пробы использовались для определения дисперсного состава аэрозолей, проводившегося микроскопическим методом с последующим фотографированием аэрозольного следа и использованием полуавтоматической установки П. В. Дьяченко [3] для их счета. При обработке всех проб аэрозолей в процессе работы было подсчитано $5 \cdot 10^5$ аэрозольных частиц.

Хотя диапазон размеров аэрозольных частиц, наиболее эффективно улавливаемых применяемым импактором, составляет 1—50 мкм, в выбранных районах исследования радиус частиц редко превышал 16—20 мкм. Тем не менее, и в таком сравнительно узком интервале обнаруживается выраженное различие в спектральной плотности распределения частиц. Рассмотрение функции дифференциального распределения числа частиц по размерам $f(r) =$

$= \frac{1}{N} \frac{dN(r)}{dr}$ для отдельных измерений в Намангане и его окрестности, а также среднего распределения для всех случаев в этих пунктах (рис. 1) показывает, что основная доля частиц (>80%) имеет радиус от 1 до 5 мкм.

Для нахождения аналитического вида функции распределения числа частиц по размерам, полученные экспериментальные данные сопоставлялись со степенным законом Х. Юнге

$$\frac{dN}{d(\lg r)} = Cr^{-\beta}, \quad (1)$$

где N — число частиц в см^3 воздуха; C — постоянная, β — параметр, равный в среднем для континентальных аэрозолей 3.

Экспериментальные данные представлялись графически в логарифмической системе координат $\left(\frac{dN}{d(\lg r)}, \lg r \right)$, где функция распределения имеет вид прямой, тангенс угла наклона которой характеризует величину β .

Измеренные значения концентрации аэрозольных частиц и рассчитанные величины β для характерных случаев их распределений по размерам и соответствующие средние величины приводятся в табл. 1, 2 и 3. В табл. 2 приводятся данные, полученные для слу-

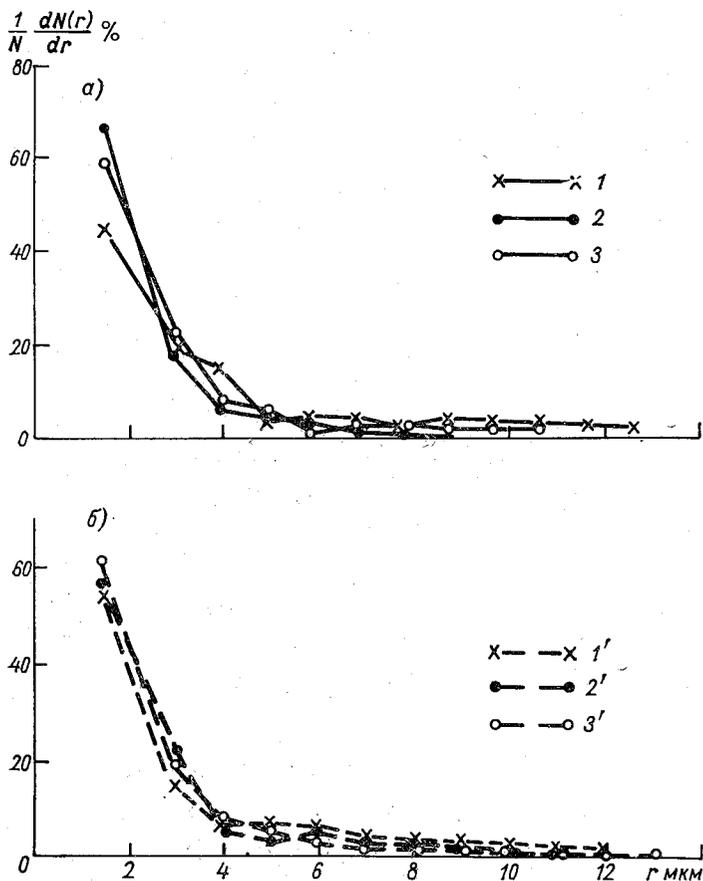


Рис. 1. Функция распределения числа частиц в зависимости от их размеров для Намангана.

a — Наманган; 1 — 15 VIII 1971 г., 2 — 24 VIII 1971 г., 3 — среднее для всех случаев; *b* — Раустан; 1' — 10 VIII 1970 г., 2' — 14 VIII 1970 г., 3' — среднее для всех случаев.

чаев пыльных бурь, которые наблюдались при прохождении холодных фронтальных разделов в тылу южных циклонов в период с 17 по 25 марта 1971 г. и сопровождалась усилением ветра до 25 м/с. В дни отбора проб скорость ветра составляла 22 марта 23 м/с и 23 марта — 15 м/с.

Как видно из данных, приведенных в таблицах, концентрация аэрозольных частиц в исследуемых районах Средней Азии

Таблица 1

Концентрация аэрозольных частиц (N) в 1 литре воздуха с радиусом
 $1 \text{ мкм} \leq r \leq 16 \text{ мкм}$ и значения параметра β

Дата	Время, ч	β	$N_{л^{-1}}$	Дата	Время, ч	β	$N_{л^{-1}}$
Наманган				Раустан			
14 VIII 1970 г.	18	2,31	2660	10 VIII 1970 г.	18	1,44	1450
16 VIII	15	2,50	2138	14 VIII	15	2,09	992
16 VIII	18	2,19	1944	18 VIII	18	1,98	785
17 VIII	18	1,92	2560	22 VIII	15	1,70	1800
18 VIII	15	1,64	3346	25 VIII	19	2,46	1382
20 VIII	15	2,01	3123	26 VIII	18	2,30	2002
22 VIII	18	1,40	1972	28 VIII	15	2,82	1750
24 VIII	15	1,93	3040	29 VIII	18	2,84	1045
25 VIII	15	3,31	2312	12 II 1971 г.	19	1,20	2270
25 VIII	18	2,83	1988	16 II	12	1,67	2056
29 VIII	12	2,80	2250	3 VIII 1971	12	3,81	1546
30 VIII	15	3,10	2920	8 VIII	14	4,26	2000
12 II 1971 г.	15	1,74	4100	12 VIII	14	2,38	1876
15 II	17	2,06	3634	15 VIII	12	1,77	1458
16 II	18	2,97	4306	16 VIII	12	2,09	1865
18 II	15	2,43	3750	18 VIII	08	2,68	2250
16 III	15	2,02	3790	18 VIII	12	2,56	2363
19 III	15	1,87	3528	20 VIII	14	2,44	1900
3 VIII 1971 г.	14	3,88	5008	22 VIII	12	2,24	1246
8 VIII	12	5,00	4028	22 VIII	18	2,64	1578
12 VIII	12	2,21	3140	24 VIII	14	4,50	2152
15 VIII	14	1,43	3200	25 VIII	14	2,79	2178
16 VIII	14	3,12	4250				
18 VIII 1971 г.	10	3,77	3160				
20 VIII	12	3,82	4640				
24 VIII	12	3,07	2590				
25 VIII	12	4,06	3194				

Таблица 2

Концентрация аэрозольных частиц (N) в 1 литре воздуха и значения
 параметра β при пыльных бурях

Дата	Время	β	$N_{л^{-1}}$	Дата	Время	β	$N_{л^{-1}}$
Наманган				Раустан			
22 III 1971 г.	12	3,59	9563	22 III 1971 г.	15	2,82	5662
22 III	19	3,50	6770	22 III	18	3,53	4094
23 III	12	2,88	7093	23 III	15	4,02	5661
23 III	19	2,42	4970	23 III	18	3,12	4614

Концентрация аэрозольных частиц (N) с радиусом $1 \text{ мкм} \leq r \leq 16 \text{ мкм}$ и значения параметра β

Место отбора проб	Концентрация $N_{\Delta} - 1$			β		
	средняя	максимальная	минимальная	среднее	максимальное	минимальное
Наманган	3217	5007	1944	2,86	5,00	1,40
Раустан	1725	2363	785	2,62	4,50	1,20

довольно высокая. В среднем она превышает в 2—3 раза величину, характерную для большинства континентальных районов, которая, согласно литературным данным, составляет около 1 частицы в 1 см^3 воздуха [8]. Максимальные концентрации могут достигать 5 частиц в 1 см^3 , увеличиваясь при пыльных бурях до 10 частиц в 1 см^3 .

Показатель степени β изменяется в отдельных случаях от 1,2 до 5, составляя в среднем величину, близкую к 3 и характерную для установившегося равновесного состояния между процессами поступления и удаления аэрозолей из атмосферы. Какой-либо зависимости величины β от концентрации аэрозольных частиц не обнаруживается.

Средние значения β , приводимые в табл. 2, определялись графическим способом при использовании осредненных для всех случаев распределений концентрации аэрозольных частиц в зависимости от логарифма их радиуса для Намангана и окрестности, которые изображены на рис. 2.

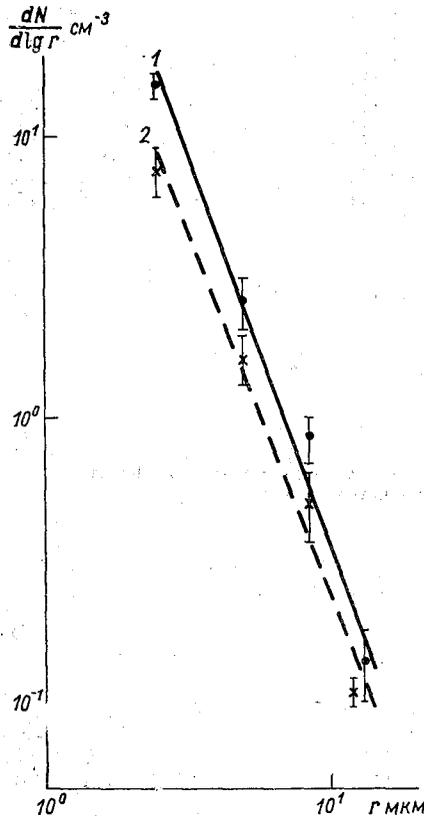


Рис. 2. Среднее распределение числа частиц в зависимости от логарифма их радиуса и средние квадратичные отклонения от средних значений.

1 — Наманган, 2 — Раустан.

Представляет интерес остановиться на некоторых конкретных случаях распределения аэрозолей, характеризующихся крайне высокими или низкими значениями параметра β . Ряд таких примеров приводится на рис. 3. Как показывает рассмотрение, изображенные на рис. 3. распределения относятся к условиям, при которых наблюдались изменения синоптической обстановки или когда пробы аэрозолей отбирались непосредственно после выпадения осадков.

В феврале 1971 г. на большей части территории Узбекистана погода в конце первой и в течение второй декад обусловливалась циклоническими образованиями и связанными с ними фронтальными разделами, прохождение которых сопровождалось вторжением холодных воздушных масс. Это, очевидно, отразилось на распределениях аэрозольных частиц по размерам, наблюдавшихся 12, 15 и 16 февраля 1971 г. и характеризующихся небольшими значениями β , что свидетельствует о преобладании крупной фракции в спектре аэрозолей. Следует заметить, что сильные отклонения параметра β от 3 после резкого изменения синоптической обстановки наблюдались также другими авторами [8].

8 и 24 августа 1971 г. пробы аэрозолей отбирались непосредственно после выпадения осадков. Вымывание крупных частиц приводит к заметному увеличению мелкодисперсной фракции, увеличению наклона прямой и соответственно параметра β .

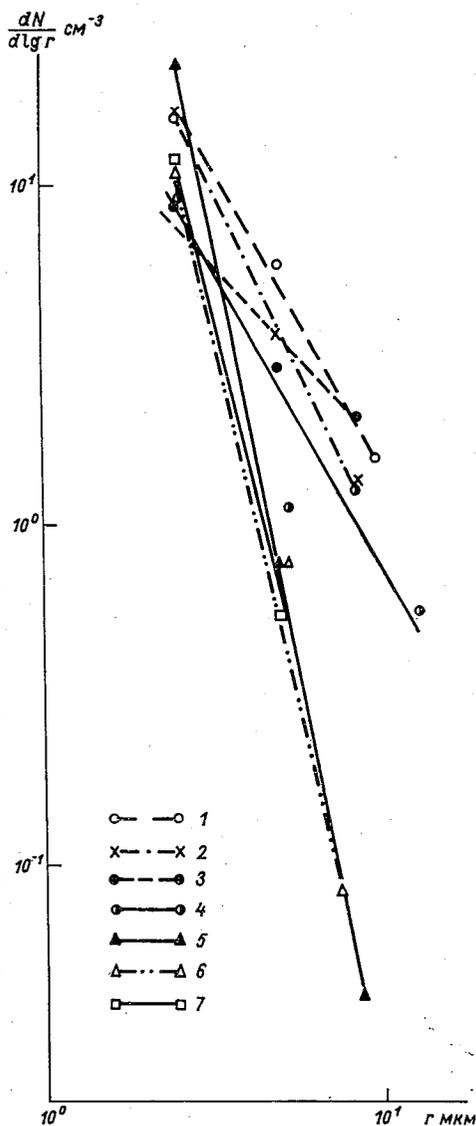


Рис. 3. Распределение числа частиц в зависимости от логарифма их радиуса для отдельных случаев.

1 — 12 II 1971 г., 15 ч, Наманган, $\beta=1,74$;
 2 — 15 II 17 ч, Наманган, $\beta=2,06$; 3 — 12 II
 19 ч, Раустан, $\beta=1,20$; 4 — 16 II 12 ч, Раустан,
 $\beta=1,67$; 5 — 8 VIII 12 ч, Наманган, $\beta=5,0$;
 6 — 8 VIII 14 ч, Раустан, $\beta=4,26$; 7 — 24 VIII
 14 ч, Раустан, $\beta=4,50$.

Для случаев пыльных бурь (см. табл. 2) параметр β оказался близким к 3. Это, очевидно, можно объяснить тем, что хотя пробы аэрозолей и отбирались при больших скоростях ветра, тем не менее в приземном слое атмосферы могло установиться некоторое квазистационарное состояние между процессами поступления и удаления аэрозолей, поскольку скорости ветра более 10 м/с отмечались на протяжении сравнительно продолжительного промежутка времени (порядка 5—7 дней) до отбора пробы.

На основании полученных средних распределений числа аэрозольных частиц в зависимости от логарифма радиуса была выполнена оценка массовой концентрации аэрозольного вещества, содержащегося в приземном воздухе исследуемых районов, при использовании формулы

$$M = \frac{4}{3} \pi \rho \int_{r_1}^{r_2} \frac{dN}{d(\lg r)} r^3 d(\lg r), \quad (2)$$

где ρ — плотность аэрозольных частиц.

Исследования химического состава атмосферных аэрозолей в районах Средней Азии [2, 7] показали, что главным источником их является почва, состоящая преимущественно из кремнезема. Поэтому в расчетах величина ρ принималась равной 2,7 г/см³ (плотность кремнеземных частиц [6]).

Рассчитанные по формуле (2) значения массовой концентрации аэрозолей составляют 3,5 и 2,2 мг/м³, а при пыльных бурях 5,7 и 2,8 мг/м³ соответственно для города и сельской местности.

Из химического анализа растворимой фракции аэрозолей, собранных в районах Средней Азии [7], следует, что из анионов преобладающими являются ионы HCO_3^- , составляющие до 40%, а из катионов — ионы Mg^{2+} и Ca^{2+} . Наиболее вероятными молекулярными соединениями являются соли $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, MgCl_2 .

Так как растворимые аэрозоли составляют 10—25% от всей аэрозольной массы, как было показано в [7], то исходя из рассчитанной массовой концентрации аэрозолей видно, что содержание растворимого вещества в приземном слое атмосферы рассматриваемых районов может изменяться от 0,22 до 0,90 мг/м³, а при пыльных бурях достигает 1,42 мг/м³. Это довольно высокие значения.

Действительно, если сравнить их с концентрацией растворимых солей в морских аэрозолях (состоящих преимущественно из NaCl), которая отмечалась непосредственно в береговой зоне на Черноморском побережье Крыма в Качивели при сильных морских ветрах и изменялась от 1 до 3,2 мг/м³ [5], то видно, что наблюдаемые концентрации в этих районах различных источников естественных аэрозолей примерно одного порядка. Однако если учесть, что в Качивели в течение года преобладают ветры до 6 м/с (в 75% случаев), а ветры со скоростью 11—15 м/с и более имеют повторяемость 4—5% [4] и что концентрация морских аэрозолей быстро убывает

при удалении от берега в глубь полуострова, то становится очевидной большая роль постоянно и непрерывно действующего континентального источника естественных растворимых аэрозолей в атмосфере, каким является территория Средней Азии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров Н. Н., Петренчук О. П., Хусанов Г. Х. Исследование аэрозолей посредством импактора.— «Труды ГГО», 1973, вып. 293.
2. Андреев Б. Г., Лавриненко Р. Ф. Некоторые данные о химическом составе атмосферных аэрозолей Средней Азии.— «Метеорология и гидрология», 1968, № 4, с. 63—69.
3. Дьяченко П. В. Установка для обработки микрофотографий капель облаков и туманов.— «Труды ГГО», 1968, вып. 224.
4. Корнева Л. А., Шугова Е. Н. Результаты наблюдений и методических исследований пункта дистанционных гидрометеорологических наблюдений Черноморского отделения МГИ в период МГГ и МГС.— «Труды МГИ», 1964, т. 31.
5. Петренчук О. П., Ионин В. А. Концентрация и дисперсный состав аэрозолей на морском побережье Крыма.— См. наст. сб., с. 3—11.
6. Спурный К., Йех Ч., Седлачек Б., Шторх О. Аэрозоли. М., Атомиздат, 1964. 185 с.
7. Хусанов Г. Х., Петренчук О. П., Дроздова В. М. Химический состав аэрозолей в некоторых районах Средней Азии.— «Труды ГГО», 1974, вып. 314.
8. Юнге Х. Химический состав и радиоактивность атмосферы. М., «Мир», 1965.
9. Blifford I. H., Ringer L. D. The size and number distribution of aerosol in the continental troposphere.— J. Atm. Sci., 1969, v. 26, No. 4, pp. 716—726.
10. Blifford I. H., Jillette D. A. Applications of the log-normal frequency distribution to the chemical composition and size distribution of naturally occurring atmospheric aerosols.— Water, Air and Soil Pollution, 1971, No. 1, pp. 106—114.
11. Brock J. R. On size distribution of atmospheric aerosols.— Atm. environment, 1971, v. 5, pp. 833—841.
12. Clark W. E., and Whitby K. T. Concentration and size distribution measurements of atmospheric aerosols and a test of the theory of self-preserving size distributions.— J. Atm. Sci., 1967, v. 24, pp. 677—687.
13. Friedlander S. K., and Pasceri R. E. Theoretical consideration for the particle distribution of the atmospheric aerosol. I. Introduction and experimental methods.— J. Atm. Sci., 1965, v. 22, pp. 571—576.
14. Jaenicke R., and Junge C. Studien zur oberen Grenzgröße des natürlichen aerosoles.— Beitr. Phys. Atm., 1967, v. 40, pp. 129—143.

СОДЕРЖАНИЕ

✓	О. П. Петренчук, В. А. Ионин. Концентрация и дисперсный состав аэрозолей на морском побережье Крыма	3
I	О. П. Петренчук, В. А. Ионин, Р. Ф. Лавриненко. О химическом составе атмосферных аэрозолей на побережьях Черного и Азовского морей	12
✓	М. А. Беляшова. Содержание в приземном слое атмосферы мелко-дисперсных аэрозолей (ядер Айткена) на побережьях Баренцева и Черного морей	20
✓	Е. С. Селезнева. Распространение морских солей на побережье Черного моря по данным о химическом составе атмосферных осадков	34
✓	Е. С. Селезнева. Некоторые физико-химические характеристики атмосферных осадков на акватории Тихого океана	46
✓	О. П. Петренчук, Г. Х. Хусаиов. Дисперсный состав атмосферных аэрозолей в некоторых районах Средней Азии	54

ТРУДЫ ГГО, вып. 343

Распространение морских аэрозолей в прибрежной зоне

Редактор Н. С. Смирнова
Техн. редактор М. С. Костакова
Корректор Т. А. Тимофеева

Сдано в набор 12/IV 1974 г. Подписано к печати 29/VIII 1974 г.
М-06432. Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1. Печ. л. 4.
Уч.-изд. л. 4,46. Тираж 600 экз. Индекс МЛ-143. Заказ № 296.
Цена 31 коп.

Гидрометеоиздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 «Союзполиграфпрома»
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
190000, Ленинград, Прачечный пер., 6