

Министерство высшего и среднего специального образования
РСФСР

Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский радиотехнический институт (НИРФИ)

Препринт № 88

**О НЕКОТОРЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ
ВЛАГОСОДЕРЖАНИЯ ЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЫ**

А.П.Наумов,
В.А.Рассадовский

Горький - 1978 г.

А н н о т а ц и я

На основе анализа материалов радиозондирования атмосферы в средней части ЕТС и в приэкваториальной зоне Атлантического океана получены статистические характеристики полной массы водяного пара Q , приземной абсолютной влажности ρ_0 , параметра α в модельной экспоненциальной зависимости удельной влажности от высоты, а также исследованы взаимные корреляционные связи этих величин и точности их прогноза по выполненным измерениям одной из величин (Q или ρ_0). Обсуждаются вопросы ценности радиометрических измерений полной массы водяного пара. Полученные статистические характеристики влагосодержания были использованы при оценках необходимой точности зондирования атмосферы дистанционными радиофизическими методами.

В связи с трудностями надежных прямых измерений влажности атмосферы (особенно на больших высотах) вертикальная структура относительной концентрации водяного пара, как случайной функции, стала исследоваться лишь сравнительно недавно. К настоящему времени в литературе, однако, имеется уже немалое количество работ, посвященных этому вопросу (обзор части упомянутых работ содержится в [1]). В литературе рассмотрены примеры средних профилей удельной влажности $\bar{q}(P)$ и средних квадратичных отклонений $\sigma(P)$, даны аппроксимационные высотные зависимости $q(h)$, приведены корреляционные матрицы $B_{qq}(P_k, P_l)$, $B_{qT}(P_k, P_l)$ и коэффициенты корреляции $r_{qT}(P_k, P_l)$, для ряда районов земного шара. В использованных обозначениях P_k, P_l — давление на соответствующих уровнях, h — высота, T — температура.

В связи с развитием косвенных наземных и спутниковых дистанционных методов зондирования атмосферы в СВЧ и ИК-диапазонах в последнее время существенно возрос интерес к получению оперативной информации о влагосодержании земной атмосферы. При выборе оптимальных условий дистанционного зондирования атмосферы с целью получения характеристик влагосодержания, для определения требований к точности соответствующего зондирования и для оценки ценности полученных результатов требуется более детальное знание некоторых характеристик полного влагосодержания атмосферы и вертикального распределения влажности. В качестве подобных примеров могут быть названы следующие задачи, которые представляют, однако, и самостоятельный

физический интерес, — исследование статистических характеристик полной массы водяного пара Q в столбе атмосферы и связи значений Q с приземными значениями абсолютной влажности P_0 , сравнение характеристических высот H_p абсолютной влажности, полученных различными способами, среднемесячные и среднесезонные значения и вариации параметра α в модельной экспоненциальной зависимости удельной влажности от высоты h , а также исследование взаимных корреляционных связей параметров Q , P_0 , H_p и оценка точности прогноза этих характеристик по вычисленным измерениям одной из величин (Q или P_0).

В данной работе приведены результаты рассмотрения перечисленных вопросов для средней части ВТС и приэкваториальной зоны Атлантического океана ($\sim 20^\circ \text{с.ш.} + 7^\circ \text{с.ш.}$). Результаты получены на основе анализа материалов ежедневного (дневного и ночного) радиозондирования атмосферы в течение достаточной типичного (1971-ого) года в континентальном районе и во время XIII рейса НИС "Академик Курчатов" (июль-август 1972 года).

В таблице 1 приведены среднемесячные и среднесезонные значения \bar{Q} , \bar{P}_0 вместе с частотой 10%, 20%, и 50% вариаций этих значений для континентального района, а также соответствующие величины для приэкваториальной зоны Атлантического океана.

В таблице 2 даны усредненные значения характеристических высот H_p абсолютной влажности, определенных для каждого случая радиозондирования из соотношений:

$$H_p = Q/P_0 \quad (1)$$

$$\text{Min} \sum_h [P_j(h) - P_0 e^{-h/H_p}]^2, \quad (2)$$

и частота соответствующих вариаций этих величин.

В таблице 3 приведены средние значения параметра α модельной высотной зависимости удельной влажности $q(h) = q_0 e^{-\alpha h}$, которые для каждого случая радиозон-

дирования определялись из соотношения:

$$\text{Min} \sum_h [q_z(h) - q_0 e^{-\alpha h}]^2 \quad (8)$$

В (2) и (3) $\rho_z(h)$, $q_z(h)$ — абсолютная и удельная влажности по данным аэрологического зондирования.

Сезонные коэффициенты корреляции между значениями (ρ_0, Q) , (H_p, Q) и (ρ_0, H_p) приведены в таблице 4. Коэффициенты линейной регрессии между соответствующими величинами:

$$\hat{Q} \text{ (г/см}^2\text{)} = a + b \hat{\rho}_0 \text{ (г/м}^3\text{)} \quad (4)$$

$$\hat{Q} \text{ (г/см}^2\text{)} = c + d \hat{H}_p \text{ (км)} \quad (5)$$

$$\hat{H}_p \text{ (км)} = e + f \hat{\rho}_0 \text{ (г/м}^3\text{)}, \quad (6)$$

вычисленные методом наименьших квадратов вместе с выборочными стандартными отклонениями от прогнозируемых величин, даны в таблице 5. Вероятности прогнозов \hat{Q} значений Q по ρ_0 , Q по H_p и H_p по ρ_0 с определенной наперед заданной точностью (10% и 20%) по регрессионным уравнениям (4)–(6) даны в таблице 6.

В ы в о д ы:

1. Поскольку надежность определения значений Q по приземным значениям ρ_0 , например, с точностью $\delta Q/Q \leq 10\%$ не превышает $\sim 50\%$ (см. таб. 8), то радиометрические методы измерения полной массы водяного пара с указанной точностью [2–5] обеспечивают получение новой метеорологической информации.
2. В континентальном районе связь между значениями ρ_0 и Q не всегда является столь тесной, как отмечено в [6]. Статистика связи величин Q и ρ_0 , приведенная в [6], ограничена одним летним месяцем, в течение которого,

по-видимому, имели место весьма стабильные метеорологические условия.

3. Значения характеристических высот абсолютной влажности, найденные из соотношений (1), (2), различаются между собой на десятые доли километра.

4. Интегральные и приземные характеристики влажности в экваториальной зоне Атлантического океана и их стабильность (особенно по уровням 10% и 20%) существенно отличаются от аналогичных характеристик ЕТС, однако параметр высотной зависимости удельной влажности и его вариации близки в рассмотренных случаях.

5. Параметры α высотной зависимости удельной влажности, усредненные по значениям, определенным согласно (3), отличаются от соответствующего параметра, приведенного в обзоре [7], на 30+38%.

6. Сравнение модельных зависимостей влажности от высоты по формуле $q = q_0 e^{-\alpha h}$ и по формуле А.Х. Хриана [8] $q = q_0 10^{-\beta h - \zeta h^2}$ со значениями, вычисленными по аэрологическим данным, не позволило отдать явного предпочтения какой-либо одной из приведенных формул.

7. Значения α и ρ_0 не определяют с достаточной точностью вертикальную структуру влажности (см. данные табл. 4,6) и, таким образом, задача дистанционного определения высотного профиля влажности требует практического решения.

Разумеется, что получение информации, аналогичной рассмотренной в работе, с привлечением многолетней статистики радиозондирования атмосферы и для большего количества географических районов позволит обобщать приведенные результаты.

Полученные статистические характеристики влагосодержания использовались нами при оценках вариаций радиоярких температур в области вращательного резонанса H_2O λ 1,35 см, в котором, как известно [2-5], уже ведутся исследования влагосодержания атмосферы. Вариации радиоярких температур, в свою очередь, являются естественной мерой точности, реализация которой необходима для получения физической информации о влагосодержании атмосферы дистанционными методами.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.С.Малкевич. Оптические исследования атмосферы со спутников, изд. "Наука", М., 1973 г.
2. А.Е.Башаринов, А.С.Гурвич, С.Т.Егоров. Радионизлучение Земли как планеты, изд. "Наука", М., 1974 г.
3. А.С.Гурвич, А.Т.Ершов, А.П.Наумов, В.М.Плечков. Метеорология и гидрология, № 5, 22 (1972).
4. А.Т.Ершов, А.П.Наумов, В.М.Плечков. Изв. высш.уч.зав. Радиофизика, 15, № 4, 510 (1972).
5. А.Г.Горелик, В.В.Калашников, Л.С.Райков, Ю.А.Фролов. Изв. АН СССР, сер. "Физика атмосферы и океана", 9, № 9, 828 (1973).
6. А.Г.Горелик, В.В.Калашников, Ю.А.Фролов. Труды ЦАО, вып. 103, 5 (1972).
7. М.С.Малкевич, Ю.В.Самсонов, Л.И.Копрова. Успехи физических наук, 80, № 1, 83 (1963).
8. А.Х.Хргиан. Физика атмосферы. Физматгиз. М., 1966 г.

Процент случаев с отклонениями
 $\bar{Q}(\%/см^2)$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$ $\pm 50\%$ $\bar{P}(\%/мм)$ $\pm 10\%$ $\pm 20\%$ $\pm 50\%$
 Процент случаев с отклонениями
 $\Delta Q/\bar{Q} (\%)$ $\pm 20\%$ $\pm 50\%$ $\Delta P/\bar{P} (\%)$ $\pm 20\%$ $\pm 50\%$

Месяц и сезон	Процент случаев с отклонениями			Процент случаев с отклонениями		
	$\bar{Q}(\%/см^2)$	$\Delta Q/\bar{Q} (\%)$	$\bar{P}(\%/мм)$	$\Delta P/\bar{P} (\%)$	$\bar{Q}(\%/см^2)$	$\Delta Q/\bar{Q} (\%)$
Январь	0,843	18,6	40,7	72,9	3,32	20,3
Февраль	0,485	16,2	47,3	96,4	1,86	26,4
Март	0,684	16,0	28,3	69,0	2,84	20,0
Апрель	0,877	20,3	35,6	78,0	3,92	32,2
Май	1,30	18,3	30,0	76,0	5,65	16,7
Июнь	1,88	24,6	42,1	91,2	3,19	28,8
Июль	2,72	32,2	67,7	100,0	11,5	37,3
Август	2,27	18,0	42,6	93,4	9,48	27,9
Сентябрь	1,87	36,7	60,0	88,3	7,86	45,0
Октябрь	1,08	14,8	32,8	82,0	4,78	28,0
Ноябрь	1,07	16,5	41,4	81,0	4,36	24,1
Декабрь	0,663	21,3	34,4	88,5	2,68	3,3
Зима	0,663	16,4	30,9	80,6	2,61	5,1
Весна	0,854	14,0	31,8	68,7	4,07	22,4
Лето	2,29	26,0	50,8	94,4	8,72	24,3
Осень	1,34	16,6	28,0	76,5	5,67	16,4

Примечание: зона Атлантического океана 5,14 60,6 77,8 88,9 19,7 82,7 92,6 100,0

Месяц и сезон	Процент случаев с отклонением \bar{H}_p (км)			Процент случаев с отклонением \bar{H}_p (км)		
	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 50\%$	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$	$\pm 50\%$
Январь	2,59	25,4	55,9	2,78	28,7	52,5
Февраль	2,78	25,4	45,4	2,87	28,6	45,4
Март	2,65	35,0	45,0	2,82	28,9	49,8
Апрель	2,21	39,0	68,1	2,27	25,4	47,5
Май	2,30	46,7	71,7	2,39	38,3	61,7
Июнь	2,30	50,9	75,4	2,43	40,4	73,7
Июль	2,38	62,7	86,4	2,48	50,6	81,4
Август	2,38	42,6	85,2	2,47	32,8	75,4
Сентябрь	2,37	43,3	71,7	2,48	30,0	65,0
Октябрь	2,31	37,7	55,7	2,45	34,4	45,9
Ноябрь	2,44	24,1	51,7	2,57	20,7	43,1
Декабрь	2,79	11,5	27,9	2,68	11,5	26,3
Зима	2,72	18,9	44,6	2,91	18,9	41,1
Весна	2,38	33,0	63,1	2,49	23,5	53,6
Лето	2,35	48,0	78,5	2,48	35,6	62,2
Осень	2,37	34,1	59,8	2,50	29,0	50,3
Приэкв. зона Атлантического океана	2,60	54,3	79,0	2,52	44,4	74,1
						86,5

ТАБЛИЦА 3

район	Месяц и сезон	$\bar{\alpha}$ (км ⁻¹)	Процент случаев с отклонением $\frac{\alpha/\bar{\alpha}}{\bar{\alpha}} (\%)$		
			+10%	+20%	+50%
К о н т и н т (В Т С)	Январь	0,307	28,4	47,8	81,4
	Февраль	0,280	12,7	40,0	85,4
	Март	0,301	20,0	38,3	86,7
	Апрель	0,379	30,5	49,2	88,1
	Май	0,352	35,0	61,7	88,7
	Июнь	0,347	28,8	64,9	96,5
	Июль	0,327	45,8	74,6	100,0
	Август	0,334	31,2	68,6	96,7
	Сентябрь	0,334	31,7	58,3	96,7
	Октябрь	0,354	18,0	42,6	85,2
	Ноябрь	0,334	17,2	32,8	81,0
	Декабрь	0,295	9,8	37,7	80,3
	Зима	0,294	17,1	38,3	81,7
Весна	0,344	24,6	50,3	89,4	
Лето	0,338	28,8	55,9	97,2	
Осень	0,341	24,0	44,1	86,0	
Приэкв. зона Ат- лантического океана	0,331	27,2	60,5	86,4	

ТАБЛИЦА 4

Район	Сезон	$r_{P, Q}$	$r_{H, Q}$	$r_{P, H}$
Континент (ЕЭС)	Зима	0,81	0,11	-0,42
	Весна	0,82	0,25	-0,10
	Лето	0,88	0,54	+0,11
	Осень	0,87	0,43	-0,004
Приэкв. зона Атлантического океана		0,82	0,94	+0,60

ТАВЛИЦА 5

район сезон	a	b	c	d	e	f	б _а /р _о	б _а /н _з	б _н г/р _о
Зима	0,148	0,187	0,559	0,0559	3,74	-0,916	0,181	0,307	0,873
Весна	0,00725	0,282	0,539	0,166	2,65	-0,0378	0,207	0,499	0,774
Лето	-0,115	0,248	0,0835	0,895	2,28	0,0191	0,338	0,617	0,441
Осень	0,0118	0,234	0,452	0,356	2,50	-0,09117	0,302	0,552	0,739
Прицвет. зона									
Атлантического океана	-2,49	0,973	2,16	-0,536	0,119	0,180	0,687	0,419	0,412

Континент (ЕУС)

ТАБЛИЦА 6

район	сезон	$\Phi\langle Q/p_0 \rangle$		$\Phi\langle Q/H_p \rangle$		$\Phi\langle H_p/s_2 \rangle$	
		10%	20%	10%	20%	10%	20%
Континент (ЕТС)	Зима	0,29	0,54	0,18	0,33	0,26	0,49
	Весна	0,35	0,64	0,15	0,30	0,25	0,47
	Лето	0,50	0,82	0,29	0,53	0,42	0,74
	Осень	0,38	0,62	0,19	0,37	0,26	0,50
Приэкват. зона Атлантического океана		0,54	0,87	0,78	0,98	0,46	0,78