

Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Ременсон В.А.

## ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЛЯ ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ

Обсуждаются результаты корреляционного анализа пространственной структуры поля общей облачности по данным многолетних наблюдений метеорологических станций США для однородных облачных районов. Рассматривается вероятность пространственного сохранения благоприятных и неблагоприятных условий облачной обстановки применительно к функционированию оптических систем наблюдения.

В последние годы большое внимание уделяется корреляционному анализу глобального поля облачности по данным наземных и спутниковых измерений [1–3]. Однако до сих пор рассматривались главным образом пространственная корреляция среднемесячных значений количества облаков или усредненные (по долготе и широте) коэффициенты корреляции декадных, пятидневных или суточных значений количества облаков и практически не изучены пространственные корреляционные функции по данным фактических наблюдений за облачностью. Поэтому значительный интерес может представлять оценка пространственных корреляционных функций по данным фактических (срочных) значений количества облаков.

В настоящей статье обсуждаются результаты корреляционного анализа пространственной структуры поля общей облачности, проведенного для января и июля по данным многолетних (1964–1987 гг.) четырехсрочных наблюдений 141 метеорологической станции США для однородных облачных районов (ООР) [4] (фрагмент подобного районирования для США представлен на рис. 1). На каждый ООР приходилось в среднем 20 станций. Объем выборки для каждой станции составлял около 600 наблюдений.

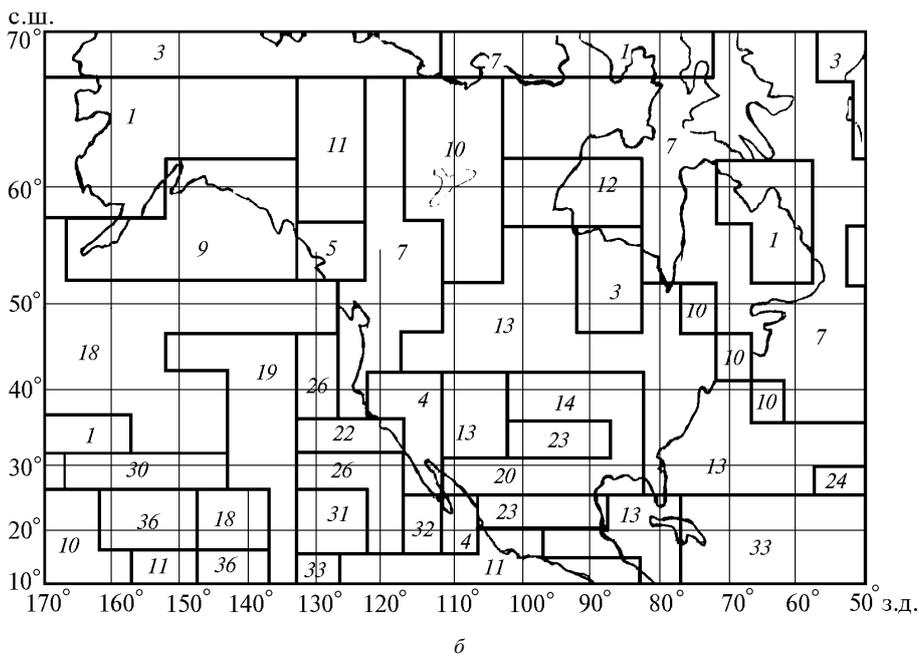
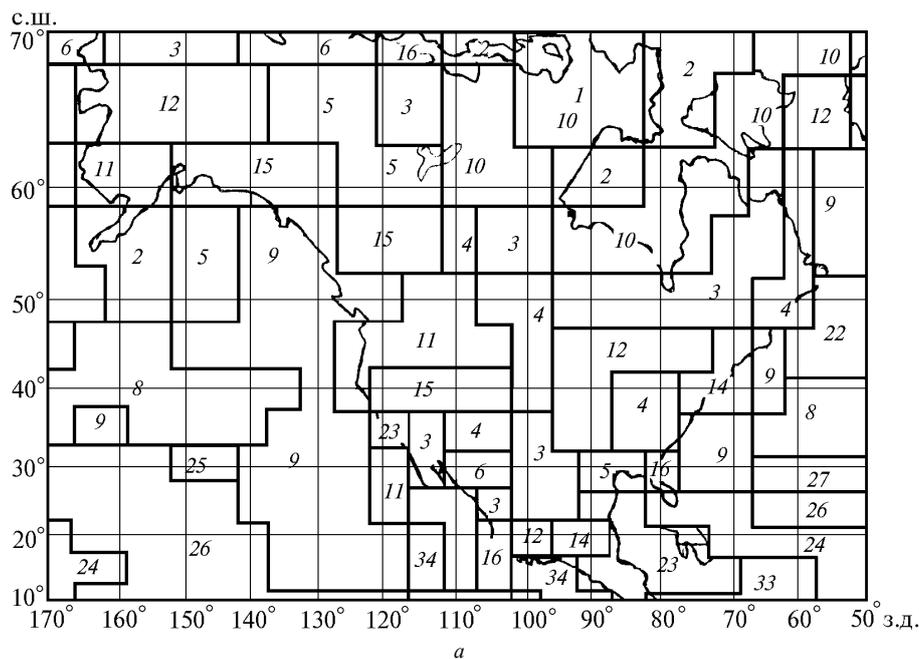
Для выполнения условий однородности и изотропности при расчете пространственной статистической структуры рассматривались нормированные корреляционные и структурные функции отклонений общего количества облаков от норм. Так как поле норм оказалось неоднородным, то эти отклонения определялись по исходной выборке для каждой метеостанции отдельно.

Сглаженные значения нормированных корреляционных функций количества общей облачности и их доверительные полуинтервалы  $\epsilon_{\beta, n} < r_{\alpha}(\rho) >$  при  $\beta = 0,95$  и  $n = 1500$ , рассчитанные для некоторых ООР, приведены в табл. 1.

Анализ корреляционных функций, полученных по данным 141 станции, показал, что характер пространственной изменчивости количества облаков различен в тот или иной сезон года. Общим для обоих сезонов является более быстрое убывание корреляции значений количества облачности в направлении с западо-северо-запада на восток-юго-восток по сравнению с направлением юго-юго-запад – северо-северо-восток. Поле изокоррелят имеет вид эллипса, большая ось которого ориентирована в направлении преобладающего переноса воздушных масс. В направлении малой оси эллипса корреляционная функция переходит через нуль на расстоянии около 1000–1200 км, а в 7-м районе – на расстоянии 3000 км. В направлении большой оси эллипса переход корреляционной функции через нуль не выявлен.

Анализ поля изокоррелят количества общей облачности для станций, расположенных в центральных частях ООР, показал, что они близки к круговым до расстояния 700–800 км в январе и 500–600 км в июле, что подтверждает независимость корреляции от направления. Таким образом, поле количества облаков в первом приближении можно считать однородным и изотропным по отношению к корреляционной функции. На больших расстояниях изотропность нарушается.

Наибольшая пространственная изменчивость количества общей облачности выявлена в районах 9 (январь) и 14 (июль) (см. табл. 1). Так, значения коэффициента корреляции в районах 9 и 14 статистически незначимы ( $r(\rho)$  менее 0,1) уже на расстоянии 500 км.



Карта однородных облачных районов Северо-Американского континента (а – зима, б – лето)

Пространственные корреляционные функции количества облаков можно аппроксимировать зависимостями вида

$$r_{\lambda}(\rho) = \exp(-\alpha \rho) ; \quad (1)$$

$$r_{\lambda}(\rho) = \exp(-\rho/\rho_0)^{\gamma}. \quad (2)$$

В табл. 2 представлены параметры аппроксимации пространственных функций общего количества облаков:  $\alpha$  ( $\text{км}^{-1}$ ),  $\rho_0$  (тыс. км), ( $\alpha = 1/\rho_0$ ), характеризующие быстроту (степень) затухания корреляционной функции с увеличением расстояния, и  $\gamma$  – безразмерный параметр. Из табл. 2 следует, что пространственный радиус корреляции  $\rho_0$  (расстояние, на котором корреляционная функция количества облаков убывает в  $e$  раз) принимает значения от 200 до 500 км. Определение параметров аппроксимации пространственных корреляционных функций осуществлялось итерационным методом.

Таблица 1

**Пространственные корреляционные функции общего количества облаков (числитель)  
и их доверительные полуинтервалы (знаменатель) при  $\beta = 0,95, n = 1500$**

Номер района	Расстояние (тыс. км)														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0
Январь															
14	0,76 0,05	0,61 0,07	0,48 0,09	0,37 0,10	0,28 0,10	0,23 0,11	0,18 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
9	0,62 0,07	0,38 0,10	0,24 0,11	0,15 0,11	0,09 0,12	0,06 0,11	0,04 0,11	0,02 0,11	0,01 0,11	0,01 0,11	-	-	-	-	-
15	0,80 0,04	0,63 0,08	0,50 0,08	0,38 0,10	0,29 0,10	0,25 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	0,82 0,04	0,68 0,06	0,55 0,08	0,45 0,09	0,37 0,10	0,30 0,10	0,25 0,11	0,20 0,11	0,16 0,11	0,13 0,11	-	-	-	-	-
3	0,47 0,09	0,39 0,10	0,37 0,10	0,35 0,10	0,34 0,10	0,31 0,10	0,29 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,77 0,05	0,58 0,08	0,44 0,09	0,35 0,10	0,26 0,11	0,18 0,11	0,13 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
Июль															
7				0,37 0,10		0,25 0,11		0,16 0,11		0,12 0,11	0,06 0,11	0,04 0,11	0,02 0,1	0,01 0,11	0,00 0,11
13	0,78 0,04	0,56 0,08	0,48 0,09	0,38 0,11	0,28 0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	0,70 0,06	0,52 0,08	0,39 0,10	0,30 0,10	0,25 0,11	0,20 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	0,76 0,05	0,57 0,08	0,44 0,09	0,38 0,10	0,26 0,11	0,20 0,11	0,14 0,11	0,10 0,11	0,08 0,11	-	-	-	-	-	-
10	0,80 0,04	0,58 0,08	0,46 0,09	0,42 0,09	0,33 0,10	0,25 0,11	0,21 0,11	0,17 0,11	0,13 0,11	-	-	-	-	-	-
14	0,66 0,05	0,45 0,08	0,30 0,09	0,19 0,10	0,12 0,11	0,07 0,11	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2

**Параметры аппроксимации пространственных корреляционных функций  
общего количества облаков зависимостями вида  $r_{\beta}(\rho) = \exp(-\alpha\rho)$  и  $r_{\beta}(\rho) = \exp(-\rho/\rho_0)^{\gamma}$**

Номер района	14	9	15	11	3	23
Январь						
$\alpha$	2,714	4,780	2,406	2,020	-	2,740
$\rho_0$	0,370	0,209	0,416	0,495	0,333	0,356
$\gamma$	0,838	1,001	1,052	1,011	0,234	1,036
Номер района	7	13	23	20	10	14
Июль						
$\alpha$	2,500	2,445	3,034	2,697	2,299	4,100
$\rho_0$	0,400	0,410	0,330	0,370	0,435	0,240
$\gamma$	0,806	0,987	0,863	0,988	1,012	0,969

Проверка пригодности выбранных зависимостей (1), (2) для аппроксимации корреляционных функций количества облаков осуществлялась с помощью критериев согласия Пирсона и Колмогорова при 5%-м уровне значимости.

Корреляционная функция количества облаков удовлетворительно описывается зависимостями (1) и (2) при  $\rho_0 = 400 \div 500$  км (параметр  $\gamma$  в этом случае близок к 1). До этого расстояния поле облачности является практически изотропным, на больших расстояниях условие изотропности нарушается, поскольку корреляция в направлении с юго-запада на северо-восток оказывается большей, чем в направлении с северо-запада на юго-восток. В общем случае зависимость вида (2) позволяет более точно описать пространственную корреляционную функцию количества облаков и ей следует отдать предпочтение.

В статье также рассматривается вероятность пространственного сохранения благоприятных (0–6 баллов) и неблагоприятных (7–10 баллов) условий облачной обстановки применительно к функционированию наблюдения.

Как функция расстояния вероятность сохранения благоприятной и неблагоприятной облачной обстановки для применения оптических систем определялась по тем же исходным данным, что и корреляционные функции количества облаков.

Согласно данным наблюдений, наибольшая пространственная устойчивость, так же как и временная, свойственна сплошной облачности и ясному состоянию неба. Поэтому в пределах градаций облачности 7–10 и 0–6 баллов преобладают сплошная облачность (10 баллов) и ясное состояние неба (0 баллов) соответственно.

В табл. 3 приведены вероятности сохранения неблагоприятной (НОО) и благоприятной (БОО) облачной обстановки как функции расстояния от пункта наблюдения. Из табл. 3 следует, что во всех ООР в январе более устойчива градация количества облачности 7–10 баллов. Исключение составляет район 23, где на расстоянии 700 км вероятность сохранения неблагоприятной облачной обстановки уменьшается до 44%, а вероятность ее смены благоприятной облачной обстановкой возрастает до 56%. В указанном районе более устойчива благоприятная облачная обстановка. В июле же в районах 13, 14 и 23 более устойчива благоприятная облачная обстановка (вероятность ее сохранения здесь составляет 58–93% на расстоянии 600 км), а в районах 7, 10, и 20 преобладает облачность 7–10 баллов.

Таблица 3

**Вероятность (%) сохранения неблагоприятной (числитель) и благоприятной (знаменатель) облачной обстановки для применения оптических систем**

Номер района	Расстояние (тыс. км)														
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0
Январь															
14	$\frac{92}{88}$	$\frac{87}{78}$	$\frac{84}{68}$	$\frac{80}{61}$	$\frac{76}{55}$	$\frac{72}{48}$	$\frac{69}{44}$	–	–	–	–	–	–	–	–
9	$\frac{90}{88}$	$\frac{80}{78}$	$\frac{74}{70}$	$\frac{66}{62}$	$\frac{58}{56}$	$\frac{54}{50}$	$\frac{48}{44}$	$\frac{44}{38}$	$\frac{40}{34}$	$\frac{36}{28}$					
15	$\frac{94}{88}$	$\frac{88}{76}$	$\frac{84}{68}$	$\frac{80}{58}$	$\frac{76}{51}$	$\frac{70}{44}$								–	–
11	$\frac{96}{86}$	$\frac{92}{76}$	$\frac{88}{68}$	$\frac{84}{60}$	$\frac{80}{52}$	$\frac{78}{45}$	$\frac{75}{40}$	$\frac{72}{35}$	$\frac{69}{31}$	$\frac{65}{27}$				–	–
3	$\frac{92}{86}$	$\frac{85}{75}$	$\frac{78}{65}$	$\frac{74}{56}$	$\frac{68}{48}$	$\frac{63}{41}$	$\frac{58}{35}$							–	–
23	$\frac{90}{90}$	$\frac{79}{85}$	$\frac{70}{76}$	$\frac{64}{70}$	$\frac{58}{65}$	$\frac{51}{58}$	$\frac{44}{55}$							–	–
Июль															
7				$\frac{86}{50}$		$\frac{82}{35}$		$\frac{78}{24}$		$\frac{72}{17}$	$\frac{64}{9}$	$\frac{56}{5}$	$\frac{50}{3}$	$\frac{44}{2}$	$\frac{40}{1}$
13	$\frac{82}{89}$	$\frac{68}{82}$	$\frac{57}{78}$	$\frac{48}{74}$	$\frac{40}{68}$									–	–
23	$\frac{80}{88}$	$\frac{67}{78}$	$\frac{58}{70}$	$\frac{50}{64}$	$\frac{44}{58}$									–	–
20	$\frac{86}{80}$	$\frac{78}{70}$	$\frac{71}{64}$	$\frac{65}{60}$	$\frac{60}{54}$	$\frac{56}{50}$	$\frac{52}{48}$	$\frac{48}{45}$	$\frac{45}{42}$	$\frac{43}{40}$				–	–
10	$\frac{86}{84}$	$\frac{78}{75}$	$\frac{72}{78}$	$\frac{69}{63}$	$\frac{64}{58}$	$\frac{60}{54}$	$\frac{57}{50}$	$\frac{54}{46}$	$\frac{50}{43}$					–	–
14	$\frac{54}{97}$	$\frac{37}{96}$	$\frac{25}{95}$	$\frac{18}{94}$	$\frac{13}{93}$	$\frac{9}{92}$								–	–

Таким образом, полученные результаты показывают, что поле количества общей облачности в первом приближении можно считать однородным и изотропным по отношению к пространственной корреляционной функции до расстояния 700–800 км в январе и 500–600 км в июле. Кроме того, из этих же результатов следует, что наибольшая вероятность сохранения характерна для неблагоприятной облачной обстановки (7–10 баллов), которая отмечается до расстояния 500–700 км.

1. Матвеев Ю.Л., Матвеев Л.Т., Солдатенко С.А. Глобальное поле облачности. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 279 с.
2. Воробьев В.И., Фаддеев В.С. Характеристики облачного покрова Северного полушария по данным метеорологических спутников. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 172 с.
3. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я., Козодеров В.В., Хворостьянов В.И. Облака и климат. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 512 с.
4. Комаров В.С., Ременсон В.А. // Оптика атмосферы. 1988. Т. 1. N 7. С. 3–16.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступила в редакцию  
15 июля 1996 г.

V.S. Komarov, N.Ja. Lomakina, V.A. Remenson. **Spatial Statistical Structure of General Cloudiness Field.**

The results of correlation analysis of general cloudiness field spatial structure are discussed in the paper. The analysis was conducted by the data obtained from the meteorological stations of USA for many years for homogeneous cloudy regions. The probability of spatial stability of favourable and unfavourable situations relative to observational optical systems operation is treated as well.