

Л.Т. Матвеев, Ю.Л. Матвеев

**ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ПОЛЕ ОБЛАКОВ**

Выполнен анализ ежедневных 8-срочных наблюдений за количеством  $n$  общей облачности в Санкт-Петербурге и небольшом поселке (сельской местности) – Белогорке. Построена функция распределения разности  $\Delta n$  между количествами облаков в Санкт-Петербурге и Белогорке для двух сезонов года (лета и зимы). Максимум повторяемости  $\Delta n$  приходится на  $\Delta n = 0$  (68% зимой и 40% летом).

Рассчитаны повторяемости не только синхронных  $\Delta n$ , но и разделенных различными интервалами времени. Изучена вероятность сохранения и перехода количества облаков из одной градации в другую. Анализ ежедневных и среднемесячных значений  $\Delta n$  позволяет заключить: количество нижних облаков в городе на несколько десятых балла меньше, чем в сельской местности; в формировании облаков определяющую роль играют динамические факторы; доля термического фактора не превышает 10÷20%.

Образование и развитие облаков тесно связано с полями температуры и влажности воздуха. Вследствие этого нельзя исключить того, что большой город, с его особенностями режимов температуры и влажности, оказывает влияние и на поле облаков.

В первой части статьи обсуждены данные ежедневных 8-срочных наблюдений за количеством общей облачности в период с 1975 по 1979 г. в Петербурге (П) и Белогорке (Б) – небольшом поселке, расположенном в 80 км к югу от П, а также за отдельные годы в поселке Сосново (С), находящемся в 80 км к северу от П.

Во второй части анализируются среднемесячные значения количества нижних облаков в тех же пунктах (П и Б) за 20-летний период (1975–1994 гг.).

Как и для других метеовеличин, анализу подвергнута разность  $\Delta n = n_{\text{П}} - n_{\text{Б}}$  между количествами облаков в П ( $n_{\text{П}}$ ) и Б ( $n_{\text{Б}}$ ).

Согласно табл. 1, в которой представлена функция распределения  $F$  разности  $\Delta n$ , количество облаков в П может существенно отличаться от  $n$  в Б, вплоть до того, что в 4% случаев зимой и в 2% летом в одном из пунктов ясно, а в другом – сплошная облачность. На 5 и более баллов количество облаков в П отличается от  $n$  в Б в 13% случаев зимой и летом. Повторяемость (%) разности для различных градаций  $\Delta n$  такова:

Сезон	-10÷-6	-5÷-3	-2÷-1	0	1÷2	3÷5	6÷10
Зима	5	4	5	68	6	5	8
Лето	5	8	14	40	14	12	7

Зимой, когда преобладают слоистообразные облака, наиболее часто (в 68% случаев) в том и другом пункте одновременно наблюдается одинаковое количество облаков ( $\Delta n = 0$ ). Летом за счет конвективных облаков повторяемость разности  $\Delta n$ , равной нулю, существенно меньше – только 40%. Однако как зимой, так и летом повторяемость положительных  $\Delta n$  лишь на несколько процентов больше повторяемости  $\Delta n < 0$ : на 4% – зимой и на 6 – летом.

Сравним еще повторяемости (%)  $\Delta n$  в дневную (д) и ночную (н) части суток.

Градации  $\Delta n$ , баллы

Сезон		-10÷-6	-5÷-3	-2÷-1	0	1÷2	3÷5	6÷10
Зима	н	6	4	4	70	4	3	9
	д	4	5	6	65	8	6	6
Лето	н	6	9	12	41	12	11	9
	д	4	8	15	38	17	13	5

Зимой повторяемость  $\Delta n > 0$  больше повторяемости  $\Delta n < 0$  на 4% ночью и на 5% днем, летом соответственно на 5 и 8%. Значения  $\Delta n = 0$  также близки ночью и днем.

Таблица 1

Функция распределения  $F(\%)$  разности  $\Delta n = n_{\text{П}} - n_{\text{Б}}$  количеств общей облачности,  $N$  – объем выборки

Сезон	$\Delta n \leq$ , баллы													N
	-10	-8	-6	-4	-2	-1	0	1	2	4	6	8	10	
Зима	2	3	5	8	12	14	82	84	88	91	94	97	100	3608
Лето	1	2	5	9	19	27	67	75	81	91	96	99	100	3680

Наряду с разностями  $\Delta n$  для синхронных значений количества облаков предпринята попытка исследовать разность  $\Delta n = n(0) - n(\tau)$  между значениями  $n$ , разделенными интервалом времени  $\tau$ . Эта разность

увязана с направлением скорости ветра. Высказана гипотеза: если ветер, например, южный, то по истечении времени  $\tau$  воздушный поток принесет в П облака, которые наблюдались в начальный момент в Б.

Это означает, что разность  $n_B(0) - n_{II}(\tau)$  между количеством облаков в Б в начальный момент ( $n_B(0)$ ) и количеством облаков в П в момент времени  $\tau$  ( $n_{II}(\tau)$ ) должна быть меньше, чем та же разность в начальный момент или та же разность при другом направлении ветра.

Такие выборки составлены для южного и северного направлений ветра (отклонение ветра от 180 и 0° не превышало 22,5°). Выбранные пункты (Б, П и С) расположены практически на одном меридиане (30° в.д.), Б – южнее П, а С – севернее П.

Результаты расчета повторяемости  $\Delta n$  для нескольких градаций вблизи  $\Delta n = 0$  представлены в табл. 2. В левой половине таблицы выписаны разности, на которых в случае справедливости гипотезы должно сказаться влияние переноса облаков, а в правой – разности, на которые перенос не оказывает влияния.

Нетрудно видеть, что приведенные в табл. 2 данные не подтверждают гипотезу о влиянии переноса на количество облаков. В самом деле, все значения повторяемости при  $\tau$ , равных 3 и 6 ч, при существенном влиянии переноса должны быть больше, чем при  $\tau = 0$ . С одной стороны, соотношение между указанными значениями повторяемости – обратное (исключение составляют только 3 случая из 48), а с другой – повторяемости в правой половине табл. 2 практически не отличаются от левой.

Таблица 2

**Повторяемость (%) разностей между количеством облаков в Петербурге ( $n_{II}$ ), Сосново ( $n_C$ ) и Белогорке ( $n_B$ ). 1979 г. Лето**

$\tau$ , ч	Градации $\Delta n$ , баллы				Градации $\Delta n$ , баллы				N
	0	-1÷1	-2÷2	-3÷3	0	-1÷1	-2÷2	-3÷3	
Северный ветер									
$n_C(0) - n_{II}(\tau)$				$n_{II}(0) - n_C(\tau)$				94	
0	47	52	63	72	47	52	63	72	
3	43	51	58	67	42	50	57	64	
6	28	32	40	47	33	37	42	49	
$n_{II}(0) - n_B(\tau)$				$n_B(0) - n_{II}(\tau)$				94	
0	46	56	65	73	46	56	65	73	
3	40	49	58	64	43	54	64	75	
6	36	42	51	61	46	53	58	68	
$n_C(0) - n_B(\tau)$				$n_B(0) - n_C(\tau)$				94	
0	46	55	66	73	46	55	66	73	
3	43	51	59	70	44	50	60	70	
6	48	57	63	69	42	45	52	57	
Южный ветер									
$n_{II}(0) - n_C(\tau)$				$n_C(0) - n_{II}(\tau)$				50	
0	26	38	50	58	26	38	50	58	
3	15	25	37	42	12	26	40	49	
6	10	20	26	42	26	32	45	48	
$n_B(0) - n_{II}(\tau)$				$n_{II}(0) - n_B(\tau)$				50	
0	40	48	64	78	40	48	64	78	
3	29	36	53	65	22	34	51	55	
6	25	28	37	46	23	32	48	48	
$n_C(0) - n_{II}(\tau)$				$n_{II}(0) - n_C(\tau)$				50	
0	30	40	48	60	30	40	48	60	
3	24	44	49	54	29	41	48	57	
6	13	25	31	37	25	37	46	49	

По поводу полученного результата следует сделать следующее замечание. Хорошо известно, что поля облаков переносятся воздушными потоками. Этот перенос лежит в основе прогноза облаков и осадков. Однако это переносы крупномасштабных полей облаков (фронтальных, циклона в целом), к тому же, чаще всего, полей сплошной облачности.

В нашем случае рассматриваются мезомасштабные поля (горизонтальный размер – десятки километров), к тому же оценивается влияние переноса на каждый балл облаков. Совершенно естественно, что если даже облачность вновь не образуется, она в процессе переноса трансформируется, обеспечивая переход одних облаков в другие.

Насколько этот процесс существен, показывает табл. 3. В ней представлены сведения о вероятности сохранения фиксированной градации количества облаков  $n_0$  и вероятности перехода этого  $n_0$  в другие градации  $n(t)$  по истечении различных интервалов времени  $t$  от исходного момента (когда было зафиксировано  $n_0$ ).

Уже через 3 ч количество облаков существенно изменяется. Только безоблачное состояние ( $n_0 = 0$ ) и сплошная облачность ( $n_0 = 10$  б) через 3 ч сохраняются с вероятностью около 50%. В последующем эта вероятность уменьшается (особенно 10 б).

Таблица 3

**Вероятность (%) сохранения и перехода количества облаков  $n$  в другие градации. Сосново (Ленинградская обл.). 1979. Лето. N – объем выборки**

Исходное $n_0$ , балл	$n(t)$ , балл	$t$ , ч					N
		-12	3	6	12	24	
0	0	45	65	56	44	49	268
	1-3	19	13	16	17	15	
	4-6	19	10	12	20	19	
	7-9	1	1	2	2	1	
	10	16	11	14	17	16	
1-3	0	35	30	34	38	31	137
	1-3	17	33	25	18	24	
	4-6	24	23	23	21	20	
	7-9	1	0	1	1	2	
4-6	0	34	20	25	31	23	157
	1-3	18	18	19	22	24	
	4-6	21	40	33	21	27	
	7-9	3	3	1	0	3	
	10	24	19	22	26	23	
7-9	0	42	25	18	25	36	12
	1-3	8	25	9	8	0	
	4-6	0	25	18	42	36	
	7-9	8	8	18	8	0	
	10	42	17	36	17	28	
10	0	27	12	19	28	29	162
	1-3	18	14	16	20	16	
	4-6	26	20	25	25	22	
	7-9	1	2	1	3	2	
	10	28	52	39	24	31	

Вероятность сохранения других градаций (1-3 б, 4-6 б) составляет всего лишь 20-30%. Вероятности перехода  $n_0$  в другие градации близки между

собой, особенно через 24 ч. Так, вероятности перехода безоблачного состояния ( $n_0 = 0$  б) в градации 1–3, 4–6 и 10 б через 24 ч составляют 14, 19 и 16% соответственно; перехода  $n_0 = 4–6$  б в градации 0, 1–3 и 10 б – 23, 24 и 23% и перехода  $n_0 = 10$  б в градации 0, 1–3 и 4–6 б – 16, 22 и 31%.

Приводим значения повторяемости (%) различных градаций  $n_0$  за три сезона 1979 г.

Сезон	0 б	1–3 б	4–6 б	7–9 б	10 б
Весна ( $N = 736$ )	45	11	6	2	36
Лето ( $N = 736$ )	36	19	2	2	22
Осень ( $N = 736$ )	20	8	10	1	61

В теплую половину года (весна, лето) повторяемость ясного неба более значительна, чем сплошной облачности, в холодную (осень, зима) – соотношение между этими повторяемостями обратное. Для данной выборки особенно велика повторяемость ясного неба в мае и июне: она равна 53 и 49% соответственно, повторяемость 10 б в эти месяцы составляет 21 и 13%.

Поскольку анализируются данные наземных наблюдений, то полученное распределение количества облаков U-образное, характерное для малых площадей обзора [1]: максимумы повторяемости приходятся на 0 и 10 б. Повторяемость всех других значений  $n$  существенно меньше повторяемости 0 и 10 б (приведенные выше повторяемости 1–3 и 4–6 б для сравнения с 0 и 10 б следует разделить на три). Особенно ничтожно мала повторяемость градации 7–9 б: она не превышает 0,3–0,6% на 1 б из этой градации.

В связи с этим отметим, что нередко приводимая в справочниках повторяемость 8–10 б практически совпадает с повторяемостью 10 б. U-образное распределение количества облаков характерно не только для исходных значений ( $n_0$ ), но и для тех выборок, которые формируются при фиксированном  $n_0$  через различные интервалы времени. При этом сохраняется отмеченная выше особенность: летом, согласно табл. 3, повторяемость безоблачного состояния ( $n = 0$ ) больше повторяемости 10 б. В этом нет ничего неожиданного в отношении облаков, появляющихся после ясного неба ( $n_0 = 0$ ): при всех  $t$  повторяемость  $n(t)$ , равных 0 б, в несколько раз (от 2,5 до 6) больше повторяемости  $n(t) = 10$  б – сказывается влияние инерционности процесса. В течение 3–6 ч инерционность оказывает влияние на распределение  $n(t)$  и при исходной сплошной облачности ( $n_0 = 10$  б): повторяемость  $n(t) = 10$  б при  $t$ , равных 3 и 6 ч, в 4 и 2 раза больше повторяемости  $n(t) = 0$  б. Однако уже через 12 и 24 ч повторяемость 0 б практически не отличается от повторяемости 10 б. Такая же закономерность справедлива для выборок  $n(t)$ , сформировавшихся при фиксированных  $n_0$ , равных 1–3 и 4–6 б.

Такая трансформация распределения  $n(t)$  объясняется влиянием поля температуры на поле облаков: в теплую половину года преобладает повышение температуры над ее понижением, что способствует рассея-

нию и, как следствие, уменьшению повторяемости больших количеств облаков.

Данные табл. 3 позволяют сформулировать еще один важный вывод. Для этого нужно сравнить при различных  $n_0$  распределения  $n(t)$  при  $t$ , равных 12 и 24 ч. Эти распределения  $n(t)$ , особенно при  $n_0 = 0$  и  $n_0 = 10$  б, практически совпадают. Это означает, что существенного влияния на поле облаков в фиксированной точке (области) суточные колебания температуры и термической устойчивости не оказывают.

В самом деле, предположим (следуя традиции), что большая часть конвективных облаков градаций 1–3 и 4–6 б образовалась днем через 12 ч после безоблачного состояния ночью (на долю таких облаков, согласно табл. 3, приходится 17 и 20%). Но в таком случае в последующие 12 ч, за счет перехода от дня к ночи, эти облака должны рассеяться и, таким образом, при определяющем влиянии термической стратификации, через 24 ч от исходного (ночного) состояния повторяемость градаций 1–3 и 4–6 б была бы близка к нулю. В действительности повторяемость этих облаков и через 24 ч практически такая же (15 и 19%), как и через 12 ч.

Аналогичное заключение следует из анализа других градаций  $n_0$ . Так, если в исходном состоянии преобладают кучевые облака ( $n_0 = 1–3$  или 4–6 б), то как через 12 ч, так и через 24 ч распределение  $n(t)$  будет практически одинаковым: доля кучевых облаков (1–6 б) составляет 39% через 12 ч и 44% через 24 ч при  $n_0 = 1–3$  б и соответственно 43 и 51% при  $n_0 = 4–6$  б.

Наряду с обсужденными выше данными о количестве общей облачности приведем сведения о нижней облачности. Физически очевидно, что если город оказывает влияние на поле облаков, то оно будет наиболее существенным на нижние облака. Согласно табл. 4, в которой наряду со средними сезонными значениями  $n$  в Петербурге представлены разности  $\Delta n = n_{\text{П}} - n_{\text{Б}}$  сезонных значений  $n$  в П и Б, практически во всех случаях (в 28 из 32) в П количество нижних облаков в среднем за сезон меньше, чем в Б:  $n_{\text{П}} < n_{\text{Б}}$ . При этом в 14 случаях (из тех же 32) сезонные значения  $n_{\text{Б}}$  превышают  $n_{\text{П}}$  более чем на 0,5 балла ( $|\Delta n| \geq 0,5$  балла). Особенно ощутимы разности  $\Delta n$  в последней пятилетке.

Вывод об уменьшении количества нижних облаков в большом городе по сравнению с сельской местностью подтверждают данные табл. 5 и 6.

Согласно табл. 5, весной, летом и зимой месячные значения в 80–90% случаев в П меньше, чем в Б (осенью вероятность  $\Delta n \leq 0$  близка к 70%). В 25–30% случаев количество нижних облаков на 1–2 балла в Б больше, чем в П (осенью вероятность  $\Delta n \leq -1$  балла около 15%). Число случаев  $\Delta n$  достаточно равномерно распределено между градациями, указанными в табл. 6.

Можно допустить, что основную роль в уменьшении количества облаков в П, равно как туманов и дымок, играет повышение температуры воздуха в городе.

Данные табл. 4–6 позволяют оценить влияние различных факторов в формировании поля облаков. Количество их ночью лишь ненамного меньше, чем днем.

Ночью облака могут образоваться только под влиянием динамических факторов (адвекции, вертикальные движения). Поскольку эти факторы от времени суток не зависят, то следует заключить: под

влиянием динамических процессов, прежде всего, вертикальных движений синоптического масштаба [2], днем образуется облаков столько же, сколько их наблюдается ночью. На долю термического фактора (изменения термической устойчивости приземного слоя под влиянием притока солнечной радиации) можно отнести лишь разность между дневными  $n_d$  и ночными  $n_n$  значениями количества облаков.

Таблица 4

Средние сезонные значения количества нижних облаков в Петербурге и разности  $\Delta n = n_d - n_n$ ;  $n_d$  и  $\Delta n$  (баллы)

Время суток	$n_d$				$10\Delta n$			
	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима
	1975–1979 гг.							
День	4,7	5,0	6,9	6,2	-0,8	-4,4	1,0	-5,0
Ночь	4,6	4,9	6,2	6,3	5,6	-0,4	-0,8	-5,8
	1980–1984 гг.							
День	4,4	5,2	7,2	7,0	-5,4	-4,0	-1,8	-3,4
Ночь	3,8	4,2	6,7	7,2	-4,0	0	-0,6	-4,6
	1985–1989 гг.							
День	4,5	5,5	6,9	6,0	-6,4	-5,8	-1,4	-7,0
Ночь	4,1	4,3	6,3	6,1	-3,6	-2,2	0,8	-8,2
	1990–1994 гг.							
День	4,7	4,6	6,7	6,9	-8,0	-12,8	-6,6	-8,4
Ночь	4,1	3,8	6,4	7,0	-11,0	-11,4	-5,2	-5,0

Таблица 5

Функция распределения (%) разности  $\Delta n$  среднемесячных значений количества облаков в Петербурге  $n_d$  и Белогорке  $n_n$ , 1975–1994 гг.;  $\Delta n$  (баллы)

Время суток	$10 \Delta n \leq$														
	-20	-16	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10	12
	Весна														
День	3	7	18	28	42	45	65	78	83	92	97	98	100	-	-
Ночь	3	5	15	25	34	42	54	71	80	81	88	88	92	95	97
	Лето														
День	3	10	25	32	35	47	60	77	83	92	98	100	-	-	-
Ночь	2	8	20	28	33	40	50	58	73	80	85	87	90	93	97
	Осень														
День	5	8	8	17	27	42	58	70	80	88	88	88	98	98	98
Ночь	5	5	7	12	24	28	41	50	67	79	81	88	91	95	97
	Зима														
День	2	3	10	25	42	53	70	78	90	98	100	-	-	-	-
Ночь	3	3	17	33	47	55	63	68	88	92	98	100	-	-	-

Таблица 6

Повторяемость (число случаев) среднемесячных значений разности  $\Delta n = n_d - n_n$ , 1975–1994 гг.;  $\Delta n$  (баллы)

Время суток	$10\Delta n$					
	-12÷-10	-9÷-7	-6÷-4	-3÷-1	0÷2	3÷5
	Весна					
День	7	9	13	9	7	4
Ночь	9	6	11	12	4	4
	Лето					
День	4	6	11	12	7	5
Ночь	6	6	7	9	8	4
	Осень					
День	5	4	7	8	6	5
Ночь	3	6	9	9	12	3
	Зима					
День	12	17	10	8	9	1
Ночь	12	12	6	9	8	4

По данным табл. 4, разность  $n_d - n_n$ , отнесенная к ночному  $n_n$  (влияние динамического фактора) и выраженная в %, в среднем за 20 лет составляет:

Пункт	Весна	Лето	Осень	Зима
Петербург	10	18	8	-2
Белогорка	6	11	7	-2

Как и следовало ожидать, наиболее значительно влияние термического фактора летом, однако и в этом сезоне доля его не превышает 18% в П и 11% в Б по сравнению с динамическими факторами. На уровне 8–10% в П и 6–7% в Б сказывается влияние термического фактора весной и осенью. Зимой, в условиях отрицательного радиационного баланса, термический фактор даже способствует разрушению облаков.

Из приведенных выше данных следует: а) влияние антропогенных факторов на поле облаков, прежде всего общей облачности, не столь существенно, как на туманы и дымки, поля температуры и влажности; б) количество нижних облаков, под влиянием поля температуры, в городе несколько меньше (для среднемесячных значений – до 1–2 баллов), чем в сельской местности; в) количество облаков уже в течение 3–24 ч претерпевает значительные изменения во времени; г) данные наблюдений не согласуются с широко распространенным мнением о

значительной роли термического фактора в образовании облаков в дневную часть суток; д) преобладающую роль в формировании поля облаков (в том числе кучевых и кучево-дождевых) играют динамические факторы, прежде всего вертикальные движения синоптического масштаба.

1. *Матвеев Ю.Л.* Функции распределения количества облаков // Тр. ВНИИГМИ – МЦД, 1986. В. 126. С. 18–27.
2. *Матвеев Ю.Л.* О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере // Метеорология и гидрология. 1986. N 4. С. 5–12.

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

Поступила в редакцию  
28 апреля 1998 г.

*L.T. Matveev, Yu.L. Matveev.* **Factors of Anthropogenic Influence on the Cloudiness Field.**

Analysis of every 8 groups of observational data on cloudiness cover amount ( $n$ ) was made in Petersburg (P) and small village (country) – Belogorca (B). It was constructed a distribution function of difference  $\Delta n$  between amount of cloud in P and B for two seasons of the year (summer and winter). The maximum of  $\Delta n$  repetition refers to  $\Delta n = 0$  (68% at winter and 40% in summer).

Repetitions were calculated not only for continuous  $\Delta n$ , but also divided by different time intervals. A probability was studied of conservation and transition of amount of cloudiness from one gradation to another. Analysis of every day and monthly averaged data of  $\Delta n$  allows one to make a conclusion: amount of low clouds in a town is few tenth of a number smaller, than in country; in formation of clouds the base role is played by dynamic factors; the part of thermal factor is not higher then 10–20%.