

В.С. Комаров*, Ю.Л. Матвеев

О суточных колебаниях облаков и факторах их образования**Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск**Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург*

Поступила в редакцию 20.06.2002 г.

По данным восьмисрочных наблюдений за количеством облачности в пунктах Санкт-Петербург, Белогорка и Сосново проведен анализа суточных колебаний облаков, а также оценена роль радиационно-термического и динамического факторов в их образовании. Установлено, что основную роль в образовании всех форм облаков играют динамические факторы – вертикальные движения синоптического масштаба, изменение их скорости с высотой и обусловленное этим увеличение вертикального градиента температуры во времени. Вклад радиационно-термического фактора в большинстве случаев не превышает 30%.

Облачные образования в своем многообразии являются одним из наиболее важных природных явлений, принадлежащих к числу ведущих факторов формирования погоды и климата. Облака влияют на радиационный режим атмосферы и подстилающей поверхности, они способствуют самоочищению атмосферы, играют важную роль в круговороте воды в природе и т.п.

Поэтому не случайно, что исследованию облачности уделяется огромное внимание (см., например, обобщающие работы [1–4]). Наиболее полные сведения об облаках, включающие данные о геометрических, физических, структурных характеристиках облачности, ее пространственно-временной изменчивости и т.п., приводятся в справочнике [5]. Однако даже в этом наиболее полном издании нет никакой информации о суточных колебаниях облаков. А хорошо известно, что суточные колебания облаков играют важную роль в процессах взаимодействия облачности и радиации.

Известно, что облака формируются под влиянием нескольких факторов: вертикальных движений, адвективных, турбулентных и радиационных притоков тепла. При этом согласно [6] в образовании слоистообразных (фронтальных) облаков определяющую роль играют вертикальные движения синоптического масштаба, а также турбулентный обмен по вертикали и горизонтали.

Относительно другого класса облаков – кучево-образных (конвективных) – широко распространено представление, согласно которому они наиболее часто образуются под влиянием притока солнечной радиации и возникающей при этом сухонеустойчивой термической стратификации. Назовем этот фактор радиационно-термическим. Действует данный фактор только в дневную часть суток.

С другой стороны, установлено [7, 8], что влажнонеустойчивая стратификация возникает под влиянием динамического фактора – вертикальных движений синоптического масштаба, способствующих по-

нижению температуры и увеличению ее вертикального градиента γ . Если к моменту достижения насыщения (на уровне конденсации) в поднимающейся воздушной массе γ оказывается больше влажноадиабатического градиента ($\gamma_{ва}$), то развивается конвективное облако. В противном случае ($\gamma < \gamma_{ва}$) формируется слоистообразное облако.

С учетом этого в настоящей статье приводятся результаты количественной оценки суточных колебаний облачности и роль отмеченных факторов в образовании облаков. С этой целью был выполнен анализ распределений количества (балла) облачности n для дня и ночи, проведенный по данным восьмисрочных наблюдений в г. Санкт-Петербург (СПб.) и двух поселках: Белогорка (Бел.) и Сосново (Сос.), расположенных на удалении 80 км к югу и северу от города. При этом к дневной половине суток были отнесены наблюдения в 09, 12, 15 и 18 ч, а к ночной – в 21, 00, 03 и 06 ч по московскому декретному времени (в Санкт-Петербурге по местному времени, т.е. на 1 ч меньше), это обусловлено тем, что максимум температуры и других метеорологических величин сдвинут на 2–3 ч относительно местного полдня.

Для анализа использованы выборки данных за четыре летних месяца (июнь 1977 г., июль 1977 и 1979 гг. и август 1979 г.) с общим объемом для каждого пункта и дня или ночи по 492 наблюдения.

Известно, что днем под влиянием динамического фактора, тесно связанного с синоптическими вихрями (прежде всего циклонами и ложбинами), облаков образуется столько же, сколько их образуется ночью, поскольку вероятность возникновения вихря от времени суток не зависит. Поэтому если составить разность между числами облаков днем N_d и ночью N_n , отнесенную к их числу за сутки $N = N_d + N_n$:

$$p = (N_d - N_n) / N,$$

то она будет характеризовать вклад радиационно-термического фактора в формирование облаков.

В табл. 1 и 2 представлены сведения о повторяемости днем (д) и ночью (н) каждого балла и групп (1–3, 4–6, 7–9 и 10 баллов) облаков, рассчитанной по наблюдениям Санкт-Петербурга, Белогорки и Сосново за летние месяцы. При этом в табл. 1 объем каждой (дневной и ночной) выборки, использованной для расчетов, составляет 1476 наблюдений, а в табл. 2 – 492 наблюдения.

Таблица 1

Суммарная (в трех пунктах) повторяемость (%) каждого балла облачности для дня и ночи. Лето

| Время суток | Балл облаков | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| <i>Нижняя облачность</i> | | | | | | | | | | | |
| День | 19 | 4 | 6 | 8 | 8 | 7 | 10 | 5 | 5 | 3 | 25 |
| Ночь | 35 | 4 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 2 | 2 | 1 | 35 |
| р, % | -30 | -1 | 14 | 38 | 22 | 38 | 42 | 50 | 36 | 42 | -16 |
| <i>Общая облачность</i> | | | | | | | | | | | |
| День | 6 | 2 | 3 | 5 | 6 | 4 | 7 | 5 | 8 | 8 | 46 |
| Ночь | 14 | 4 | 5 | 5 | 6 | 2 | 4 | 3 | 4 | 4 | 49 |
| р, % | -43 | -27 | -22 | 1 | 1 | 41 | 23 | 21 | 33 | 36 | -4 |

Таблица 2

Повторяемость (%) различных групп облаков в Санкт-Петербурге (СПб.), Белогорке (Бел.) и Сосново (Сос.) для дня (д) и ночи (н). Лето

| Пункт | Группы облаков, балл | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|----|------|-----|----|------|-----|----|------|-----|----|------|----|----|------|
| | 0 | | | 1–3 | | | 4–6 | | | 7–9 | | | 10 | | |
| | д | н | р, % | д | н | р, % | д | н | р, % | д | н | р, % | д | н | р, % |
| <i>Нижняя облачность</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| СПб. | 20 | 38 | -32 | 15 | 9 | 27 | 21 | 11 | 32 | 18 | 7 | 44 | 26 | 35 | -16 |
| Бел. | 15 | 28 | -27 | 16 | 13 | 10 | 24 | 11 | 38 | 18 | 8 | 42 | 27 | 40 | -20 |
| Сос. | 21 | 37 | -28 | 22 | 14 | 20 | 30 | 15 | 33 | 4 | 3 | 19 | 23 | 31 | -13 |
| <i>Общая облачность</i> | | | | | | | | | | | | | | | |
| СПб. | 8 | 17 | -41 | 7 | 11 | -18 | 11 | 12 | -4 | 29 | 15 | 33 | 45 | 45 | 0 |
| Бел. | 3 | 15 | -64 | 10 | 13 | -10 | 20 | 10 | 31 | 21 | 15 | 29 | 40 | 47 | -7 |
| Сос. | 7 | 11 | -24 | 15 | 18 | -8 | 19 | 12 | 23 | 6 | 3 | 37 | 53 | 56 | -3 |

Анализ табл. 1 и 2 показывает, что:

– полученное распределение количества облаков хорошо согласуется с известной закономерностью [4]: при наземных наблюдениях за баллом облачности в фиксированном пункте (в общем случае – при малой площади обзора) максимумы повторяемости приходятся независимо от времени суток на 0 (ясное небо) и 10 баллов (сплошная облачность). Так, например, повторяемость ясного неба (по нижней облачности) составляет 19% днем и 35% ночью, сплошной облачности 25% днем и 35% ночью, в то время как повторяемость всех других баллов достаточно низка и не превышает для каждого балла 8–10% днем и 4–5% ночью;

– в отличие от распределения отдельных баллов, для групп облаков максимумы повторяемости для 0 и 10 баллов отмечаются лишь ночью, поскольку днем наблюдается только максимум повторяемости сплошной облачности, причем лишь в Санкт-Петербурге и Белогорке;

– ночью вероятность появления ясного неба или сплошной облачности существенно выше, чем днем (для остальных баллов облаков это не прослеживается). Действительно, из табл. 1 хорошо видно, что повторяемость 0 и 10 баллов (по нижней облачности) составляет ночью по 35%, а днем существенно меньше – 19 и 25% соответственно.

Та же закономерность характерна и для распределения групп облаков.

Нами была проведена также и оценка повторяемости одинаковых синхронных состояний атмосферы (по баллу облачности) в двух и трех пунктах, т.е. величин отношения числа подобных состояний к общему числу наблюдений, равному 248 как для дня, так и для ночи. Эти повторяемости приведены в табл. 3, из которой хорошо видно, что днем и ночью они достаточно близки между собой.

Таблица 3

Отношение числа синхронных состояний атмосферы в различных пунктах к общему числу наблюдений (%). Лето

| Облачность | СПб.–Бел. | СПб.–Сос. | Три пункта | | |
|------------|-----------|-----------|------------|----|----|
| Общая | День | 41 | 41 | 29 | 25 |
| | Ночь | 42 | 40 | 36 | 25 |
| Нижняя | День | 39 | 37 | 25 | 25 |
| | Ночь | 47 | 41 | 36 | 27 |

Хотя в целом повторяемость одинаковых состояний не очень мала (в двух пунктах – около 40%), однако абсолютное большинство таких состояний приходится на сплошную облачность и ясное небо (табл. 4). Совокупная доля 0 и 10 баллов заключена по общей облачности между 81 и 90% в двух и 95 и 97% в трех пунктах, по нижней – между 73 и 95% в двух и между 90 и 99% в трех пунктах.

Таблица 4

Отношение числа одинаковых синхронных состояний к общему их числу (%). Лето

| Пункты | | Общая облачность, балл | | | | | Нижняя облачность, балл | | | | |
|----------------|------|------------------------|-----|-----|-----|----|-------------------------|-----|-----|-----|----|
| | | 0 | 1–3 | 4–6 | 7–9 | 10 | 0 | 1–3 | 4–6 | 7–9 | 10 |
| СПб.–Бел. | День | 18 | 3 | 3 | 10 | 66 | 33 | 2 | 11 | 14 | 40 |
| | Ночь | 18 | 5 | 5 | 9 | 63 | 47 | 4 | 0 | 1 | 48 |
| СПб.–Сос. | День | 8 | 5 | 3 | 3 | 81 | 45 | 6 | 13 | 1 | 35 |
| | Ночь | 12 | 3 | 6 | 1 | 78 | 60 | 3 | 6 | 1 | 30 |
| Бел.–СПб.–Сос. | День | 5 | 3 | 0 | 0 | 92 | 37 | 3 | 5 | 2 | 53 |
| | Ночь | 6 | 3 | 2 | 0 | 89 | 64 | 1 | 0 | 0 | 35 |

Кроме лета для сравнения был выполнен также анализ распределения количества облаков для дня и ночи, проведенный по наблюдениям в тех же пунктах (Санкт-Петербург, Белогорка и Сосново) за март 1978–1980 гг. С учетом того что максимум температуры относительно местного полдня может быть сдвинут больше чем на 2 ч, то наряду с указанным выше делением суток на день и ночь (I) в порядке сравнения была проведена обработка данных с отнесением к дневной части суток наблюдений в 12, 15, 18 и 21 ч, а к ночной в 00, 03, 06 и 09 ч (II). При этом объем

каждой (дневной или ночной) выборки равнялся от 1109 до 1116 наблюдений.

Как и летом, в марте максимумы повторяемости облаков, согласно табл. 5, приходится на 0 и 10 баллов, причем оба эти состояния практически равновероятны. Однако в марте вероятности появления ясного неба и сплошной облачности ночью и днем заметно выше, чем летом. Кроме того, эти вероятности, рассчитанные для дня и ночи, примерно одинаковы.

Таблица 5

Суммарная (в трех пунктах) повторяемость (%) количества нижних облаков. Март

| Время суток | | Балл облаков | | | | |
|-------------|------|--------------|-----|-----|-----|----|
| | | 0 | 1-3 | 4-6 | 7-9 | 10 |
| I | День | 41 | 4 | 6 | 3 | 46 |
| | Ночь | 46 | 2 | 4 | 2 | 46 |
| II | День | 43 | 4 | 6 | 3 | 44 |
| | Ночь | 44 | 3 | 3 | 2 | 48 |

Сравнение распределений облаков при I и II делении суток (см. табл. 5) показывает, что существенного различия в распределениях облаков не наблюдается: разность между повторяемостями при I и II делениях, как правило, не превышает 1-2%. Во всяком случае какой-либо общей закономерности (например, изменения в одну сторону) при переходе от I к II делению суток из табл. 5 и данных о повторяемости каждого балла нижней и общей облачности не следует.

В табл. 1 и 2 наряду с повторяемостями, относящимися к дневной и ночной половинам суток, приведены также и значения параметра r , характеризующего вклад радиационно-термического фактора в формирование облаков. Из данных этих таблиц следует, что за счет радиационно-термического фактора облака формируются в том случае, когда их количество (например, по нижней облачности) составляет 2-9 баллов. Для градаций 0 и 10 баллов параметр $r < 0$, т.е. ночью эти состояния облачности образуются чаще, чем днем, что говорит о большем влиянии динамического фактора.

В табл. 6 приведены средневзвешенные (с учетом повторяемости) значения того же параметра r для облаков всех баллов.

Таблица 6

Средневзвешенные значения параметра r (%) для облаков всех баллов

| Облачность | Лето | | | | Весна | | | |
|------------|------|------|------|------------|-------|------|------|------------|
| | СПб. | Бел. | Сос. | Три пункта | СПб. | Бел. | Сос. | Три пункта |
| Общая | 5,5 | 6,3 | 2,2 | 4,7 | 19,3 | 5,5 | 10,0 | 10,7 |
| Нижняя | 13,1 | 9,3 | 11,4 | 10,8 | 4,0 | 2,0 | 7,2 | 4,4 |

V.S. Komarov, Yu.L. Matveev. **On diurnal variation of clouds and factors of their formation.**

Diurnal variation of clouds is analyzed based on the data of eight-term observations of cloudiness in St. Petersburg, Belogorka, and Sosnovo, and the role of radiative-thermal and dynamic factors in their formation is assessed. The principal role in formation of all types of clouds was found to be played by dynamic factors: vertical motions of synoptic scale, altitude variation of their velocity, and the related increase of the vertical temperature gradient with time. The contribution of the radiative-thermal factor in the most cases did not exceed 30%.

Согласно данным этой таблицы влияние радиации в среднем не превышает 20%, а наиболее часто – даже 10%.

В табл. 7 дополнительно приводится плотность распределения (%) параметра r для трех пунктов по нижней облачности. Согласно этой таблице довольно значительна повторяемость таких состояний атмосферы, когда облаков образуется ночью больше, чем днем ($r < 0$), составляет 32% летом и 7% весной.

Таблица 7

Плотность распределения (%) параметра r для трех пунктов по нижней облачности

| Сезон | Значения r , % | | | | | |
|-------|------------------|------|-------|-------|-------|------|
| | < 0 | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | > 40 |
| Лето | 32 | 9 | 7 | 14 | 25 | 13 |
| Весна | 7 | 25 | 23 | 11 | 9 | 25 |

Большинство положительных r приходится на интервал 0-40%. Только летом в 13% случаев и в 25% случаев весной параметр r превышает 40%.

Из имеющихся данных также было установлено, что летом радиация оказывает большее влияние на нижнюю облачность: для нее параметр r больше, чем для общей облачности. Однако в марте соотношение обратное: значения r по нижней облачности меньше, чем по общей.

В целом же данные по весне и лету согласуются между собой. Из этих данных следует, что облака образуются как днем, так и ночью. При этом определяющую роль в формировании облаков играет динамический фактор – вертикальные движения синоптического масштаба и турбулентный обмен.

1. Берлянд Т.Г., Строкина Л.А. Глобальное распределение общего количества облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 70 с.
2. Воробьев В.И., Фадеев В.Г. Характеристика облачного покрова Северного полушария по данным метеорологических спутников. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 172 с.
3. Дубровина Л.С. Облака и осадки по данным самолетного зондирования. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 216 с.
4. Глобальное поле облачности / Под ред. Л.Т. Матвеева. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 279 с.
5. Облака и облачная атмосфера: Справочник / Под ред. И.П. Мазина и А.Х. Хргиана. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 647 с.
6. Матвеев Л.Т. Динамика облаков. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 311 с.
7. Матвеев Ю.Л. О роли крупномасштабных вертикальных движений в возникновении конвективных явлений в атмосфере // Метеорол. и гидрол. 1986. № 4. С. 5-12.
8. Матвеев Ю.Л. Физико-статистический анализ условий образования облаков // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30. № 3. С. 345-351.