

Т.К. Складнева, Т.Б. Журавлева

Повторяемость основных форм облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг.

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 26.07.2007 г.

Представлены данные наземных наблюдений повторяемости основных форм облачности над г. Томском в 1993–2004 гг. Полученные результаты сравниваются с данными многолетних наземных наблюдений в г. Томске в 1936–1965 гг.

Введение

Облака являются одним из основных источников неопределенности в моделях предсказания погоды и климата. Поскольку облачные слои могут присутствовать в атмосфере одновременно на различных уровнях, для моделирования *пространственной структуры многослойной облачности* необходимы сведения:

- о количестве облачности в целом и количестве облаков на разных уровнях;
- о повторяемости различных форм облаков и их сочетаний;
- о вертикальной структуре облачных систем (количество облачных слоев, высота облачных границ).

Большой массив данных о вертикальной структуре облачности, формах облаков и их сочетаниях над территорией бывшего СССР был накоплен на основе самолетных исследований в 50–70-х гг. XX в. [1–4]. Несмотря на то что эти данные были получены для ограниченного временного интервала и относились к отдельным пунктам самолетного зондирования, полученные результаты (в совокупности с данными наземных наблюдений) обеспечивали достаточно полное представление о статистических характеристиках облачных полей над различными районами бывшего СССР. Поскольку самолетные наблюдения являются очень дорогостоящими, с начала 90-х гг. XX в. эти исследования над территорией России практически прекратились. В настоящее время определенные представления о структуре многослойной облачности можно получить по данным наземных наблюдений, которые используются также для валидации спутниковых данных и более адекватного описания особенностей регионального распределения облачности.

Ранее нами был проведен анализ данных дневных наземных наблюдений за количеством общей и нижней облачности над г. Томском за 1993–2004 гг., полученных в Сибирской климатической и экологической обсерватории Института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН [5]. В настоящей статье рассматривается час-

тота появления облаков различных типов за этот же период времени и представлено сравнение полученных результатов с данными многолетних наземных наблюдений 1936–1965 гг. в г. Томске.

Вертикальная структура облачности

За период 1993–2004 гг. в Томске из рассмотренных 16 784 дневных сроков наблюдений отсутствии облаков фиксировалось наблюдателем в 1335 случаях (8% от числа наблюдений).

Будем характеризовать вертикальную структуру облаков, опираясь на сведения об основных типах облачности [4]: в умеренных широтах высота основания облаков *верхнего* яруса (*Ci*, *Cc*, *Cs*) превышает обычно 6 км, высота основания облаков *среднего* яруса (*As*, *Ac*) находится в интервале 2–6 км, а облака *нижнего* яруса (*St*, *Sc*, *Ns*) в основном располагаются в слое атмосферы, простирающемся от поверхности земли до высоты около 2–2,5 км. Основания облаков *вертикального развития* (*Cu*, *Cb*) располагаются на высоте облаков нижнего яруса, а вершины — на высоте облаков среднего или верхнего яруса. (При дальнейшем анализе в ряде случаев мы будем относить облака вертикального развития к облакам нижнего яруса.) Это означает, что данные наблюдений о типах облаков позволяют хотя бы в первом приближении оценить распределение облачности в атмосфере по вертикали.

При анализе облачных ситуаций необходимо иметь в виду, что наличие *сплошной* облачности нижнего или среднего ярусов не позволяет по наземным наблюдениям надежно определить природную вероятность облаков среднего и/или верхнего ярусов, поскольку они могут быть закрыты нижележащей облачностью. На это обстоятельство следует обратить внимание при интерпретации приводимой далее статистической информации относительно присутствия облаков на различных атмосферных уровнях. В рассматриваемый нами период времени сплошные облака нижнего яруса наблюдались в 16% случаев с наибольшей повторяемостью

в октябре и ноябре (32% случаев), а повторяемость сплошных облаков среднего яруса составила 6,7% от общего числа наблюдений (табл. 1).

Таблица 1

Повторяемость безоблачного неба и облаков в пределах нижнего, среднего и верхнего ярусов облачности от общего числа наблюдений, %

Ярус	% от общего числа наблюдений
Безоблачное небо	7,9
Нижний ярус (сплошная облачность)	16,0
Средний ярус (сплошная облачность)	6,7
Присутствие облаков в пределах одного яруса	24,0
Нижний ярус (разорванная облачность)	4,0
Средний ярус (разорванная облачность)	1,4
Верхний ярус	18,6
Присутствие облаков на двух ярусах	34,6
Нижний + средний ярусы	16,0
Нижний + верхний ярусы	7,8
Средний + верхний ярусы	10,8
Присутствие облаков на трех ярусах	10,8

Согласно данным, представленным в табл. 1, вероятность появления *однослойной разорванной* облачности нижнего и среднего ярусов была небольшой и составила 4 и 1,4% соответственно. Облака верхнего яруса в отсутствие других форм облачности наблюдались достаточно часто (18,6%), а вероятность их сочетаний с облаками нижнего или среднего ярусов также была значительной и составила в целом 18,6%. Отметим, что согласно спутниковым наблюдениям, полученным на основе HIRS (High Resolution Infrared Radiation Sounder), частота появления таких систем облаков, усредненная по широте соответствующей местоположению г. Томска, — 55° с.ш., составила ≈ 25% в июле 1989 г. и ≈ 18% в январе 1990 г. [6].

Облака на трех атмосферных уровнях одновременно фиксировались наблюдателем в 10,8% случаев от общего числа наблюдений.

Повторяемость основных форм облачности

При обработке данных о повторяемости основных форм облачности мы использовали методику, описанную в [7]. Суть методики состоит в следующем:

— повторяемость облаков нижнего яруса вычислялась в процентах от общего числа наблюдений;

— повторяемость облаков среднего яруса — от числа наблюдений, когда нижняя облачность не была сплошной и можно было наблюдать облака среднего яруса;

— повторяемость облаков верхнего яруса — в процентах от числа наблюдений, когда облачность нижнего и среднего ярусов не была сплошной и можно было наблюдать облака верхнего яруса.

В число всех наблюдений включались случаи безоблачного неба. По исходным данным была посчитана повторяемость основных групп форм облаков ($Ci-Cs-Cc$), ($As-Ac$), (Ns), (Cu), ($St-Sc$)

и (Cb) для каждого сезона. Повторяемость каждой группы вычислялась независимо от наличия других форм облаков.

Анализ результатов показал, что облака нижнего и среднего ярусов присутствовали в 54% случаев, а облака верхнего яруса — в 75% случаев (табл. 2).

Таблица 2

Повторяемость основных форм облаков над г. Томском (%) по данным дневных наблюдений в 1993–2004 гг.

Сезон	$St-Sc$	Ns	Cu	Cb	$As-Ac$	$Ci-Cs-Cc$
Зима	11,7	11,6	1,6	12,4	57,5	78,5
Весна	13,5	4,0	12,4	15,6	46,6	73,3
Лето	11,3	1,9	31,4	24,6	52,3	74,5
Осень	24,6	12,3	7,5	15,5	62,6	76,0
Год	15,3	7,3	13,5	17,1	54,2	75,3

Независимо от сезона наиболее распространены были облака групп ($As-Ac$) и ($Ci-Cs-Cc$). Большая частота появления группы облаков ($As-Ac$) объясняется тем, что высококучевые облака Ac образуются в самых разных ситуациях: при растекании кучевых облаков на разных уровнях летом, под слоями инверсии, при размывании атмосферных фронтов; они могут быть связаны с фронтами окклюзии, с вторжениями холодного воздуха и с неустойчивым состоянием атмосферы. Наиболее вероятным было появление облаков среднего яруса в сентябре (66%), а наименее вероятным — в марте (43%). Облака верхнего яруса сопровождали практически все синоптические ситуации в течение всего года. Частота появления *остальных форм облачности* имела выраженный сезонный ход: максимум повторяемости облаков вертикального развития приходился на летний период, когда наиболее развиты конвективные процессы — 31% для Cu и 25% для Cb , тогда как облака типа ($St-Sc$) наиболее часто наблюдались осенью (24%).

Учитывая важность изучения радиационных эффектов перистых облаков (см., например, [8]), приведем более подробную информацию о группе ($Ci-Cs-Cc$). Эти данные касаются повторяемости облаков верхнего яруса при отсутствии других форм облачности, поскольку подобные ситуации являются наиболее благоприятными для исследования микроструктуры, оптических и геометрических характеристик перистой облачности.

В нашем регионе по данным наблюдений 1993–2004 гг. на долю таких ситуаций пришлось 29% случаев. В среднем в течение года они были распределены следующим образом: наибольшая повторяемость наблюдалась с января по май с максимумом в марте (12%), а наименьшая — в теплый период с минимумом в сентябре (4,6%) (рис. 1).

Отметим, что почти в половине случаев наблюдалась сплошная облачность; средний балл однослойной облачности верхнего яруса составил 7 с минимумом в июле (5,6) и максимумом в декабре (8).

В г. Томске в осенне-зимний период сплошная облачность нижнего и среднего ярусов составляет от 45 до 56%, а в среднем за год в 36% случаев облака верхнего яруса были закрыты для наблюдателя.

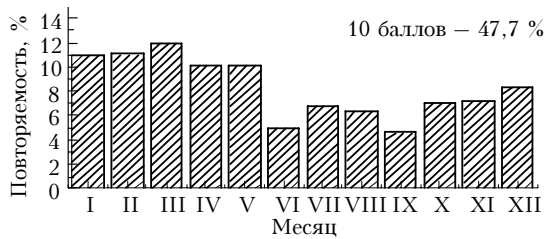


Рис. 1. Вероятность распределения перистых облаков над Томском в 1993–2004 гг. (другие типы облаков отсутствуют)

Как уже отмечалось, данное обстоятельство не позволяет адекватно оценить степень закрытости неба сводом перистыми облаками и их повторяемости при наличии нижележащих облачных слоев. Тем не менее результаты работы [9] показывают, что информация об облаках верхнего яруса, полученная по наблюдениям в просветах облаков нижнего и среднего ярусов, в достаточной степени достоверно может быть распространена на всю поверхность небосвода.

В заключение раздела отметим, что данные морских (1965–1976 гг.) и наземных (1971–1980 гг.) наблюдений повторяемости облаков различных форм и их сочетаний обобщены группой американских ученых из Морского океанографического центра и Национального центра атмосферных исследований США в виде специальных атласов (пространственное разрешение $5 \times 5^\circ$). Эти результаты дают достаточно полное представление о статистических характеристиках глобального облачного поля и цитируются в [4].

Сравнение с данными многолетних наблюдений над г. Томском

В работе [7] представлены данные о повторяемости основных форм облачности по месяцам и за год в г. Томске по результатам суточных наблюдений 1936–1965 гг. (представленная информация касается каждого типа облачности отдельно, рис. 2).

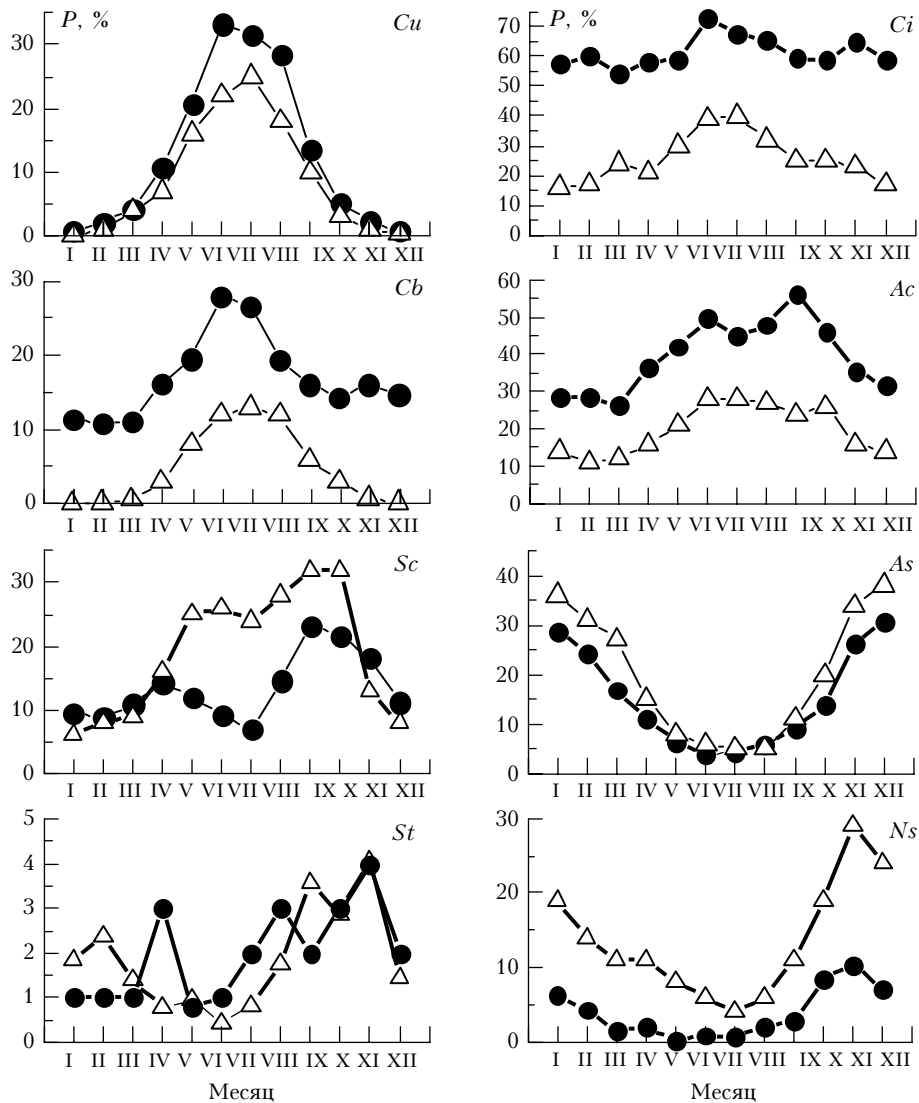


Рис. 2. Сравнение повторяемости основных форм облачности в г. Томске по данным наблюдений 1936–1965 (треугольники) и 1993–2004 гг. (точки)

Этот период характеризовался следующими особенностями распределения облаков:

а) повторяемость основных форм облаков имела годовой ход;

б) наиболее вероятными в течение года были облака следующих типов: *Ci*, *Ac*, *As*, *Sc*;

в) наибольшая повторяемость кучевых, кучево-дождевых и высококучевых облаков наблюдалась с мая по сентябрь;

г) максимальная повторяемость слоисто-кучевых облаков отмечена в сентябре и октябре (32%);

д) годовой ход высокослоистых облаков соответствовал годовому ходу повторяемости циклонов и связанных с ним фронтов; в теплый период повторяемость *As* составила 3–8%, а в холодный – 15–40%.

В настоящей работе анализируются только данные дневных наблюдений за облачностью. В [5] нами показано, что данные суточных наблюдений за количеством общей и нижней облачности в 1993–1996 гг. и дневных наблюдений 1993–2004 гг. практически совпадают, как для отдельных сезонов, так и для периода в целом. Мы не можем утверждать, что этот вывод справедлив относительно повторяемости различных форм облачности, но за неимением других данных используем результаты дневных наблюдений в рассматриваемый нами 11-летний период для сравнения с многолетними данными 1936–1965 гг.

Результаты сравнения показали (см. рис. 2), что годовой ход основных форм облаков сохранился (кроме *Sc*). В то же время значительно увеличилась повторяемость перистых облаков в течение всего года (примерно на 40%) и облаков вертикального развития (*Cu* – только в летний период, а *Cb* – в течение года \approx на 10%). Вероятность появления *Ac* возросла почти в 2 раза, тогда как повторяемость *As* несколько уменьшилась в осенне-зимний период. По сравнению с 1936–1965 гг. уменьшилась также частота появления *Ns* (в течение всего года) и облаков типа *Sc* (в теплый период года).

Заклучение

Представленный анализ повторяемости основных типов облачности над г. Томском, выполнен-

ный на основе данных дневных наземных наблюдений в 1993–2004 гг., позволяет нам сделать следующие выводы:

– сплошная облачность нижнего яруса наблюдалась в 16%, а среднего – в 6,7% случаев соответственно;

– наиболее распространенными в течение данного периода наблюдений были облака групп (*As–Ac*) и (*Ci–Cs–Cc*), а частота появления остальных форм облачности имела выраженный сезонный ход;

– максимальная повторяемость перистых облаков в отсутствие других форм облачности отмечена в марте (12%), а минимальная – в сентябре (4,6%);

– по сравнению с многолетними наблюдениями 1936–1965 гг. увеличилась повторяемость облаков типа *Ci* и *Ac*, тогда как вероятность появления слоистообразных облаков типа *Sc* и *Ns* уменьшилась.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант № 06-05-64484).

1. *Статистические* характеристики пространственной и микрофизической структуры облаков // Авиационно-климатический атлас-справочник СССР. М.: Гидрометеоздат, 1975. Вып. 3. Т. 1. 158 с.; Т. 2. 226 с.
2. *Дубровина Л.С.* Облака и осадки по данным самолетного зондирования. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 213 с.
3. *Баранов А.М.* Облака и безопасность полетов. Л.: Гидрометеоздат, 1983. 231 с.
4. *Облака и облачная атмосфера: справочник.* Л.: Гидрометеоздат, 1989. 647 с.
5. *Журавлева Т.Б., Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К., Смирнов С.В.* Статистика облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // Оптика атмосф. и океана. 2006. Т. 19. № 10. С. 880–886.
6. *Jin Y., Rossow B.* Detection of cirrus overlapping low-level clouds // J. Geophys. Res. D. 1997. V. 102. N 2. P. 1727–1737.
7. *Справочник по климату СССР.* Вып. 20. Ч. 5. Облачность и атмосферные явления. Л.: Гидрометеоздат, 1970. 323 с.
8. *Liou K.N.* Influence of cirrus clouds on weather and climate processes: A Global perspective // Mon. Weather Rev. 1986. V. 114. N 6. P. 1167–1199.
9. *Бурковская С.Н., Иванова Э.Т., Мазин И.П.* О степени взаимного перекрытия облаков верхнего яруса и нижележащих слоев над территорией СССР // Метеорол. и гидрол. 1990. N 3. С. 11–17.

T.K. Sklyadneva, T.B. Zhuravleva. Frequency of occurrence of main cloud types over Tomsk: data of ground-based observations in 1993–2004.

The data are presented of ground-based observations of the frequency of occurrence of the main cloud types over Tomsk in 1993–2004. The obtained results are compared with the data of long-term ground-based observations in Tomsk in 1936–1965.