

Т.Б. Журавлева¹, Т.М. Рассказчикова¹, Т.К. Складнева¹, С.В. Смирнов²

Статистика облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг.

¹Институт оптики атмосферы СО РАН,

²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 27.04.2006 г.

Представлены данные наземных наблюдений за количеством общей облачности (N_{tot}) и облаков нижнего яруса (N_{low}) над г. Томском в 1993–2004 гг. Рассматриваются межгодовая изменчивость N_{tot} и N_{low} , а также усредненные за 11 лет месячные и сезонные значения количества облаков. Полученные результаты сравниваются с данными многолетних наземных наблюдений в г. Томске в 1936–1965 гг. и спутниковыми данными за 2001–2004 гг. Статистика балла облачности анализируется с привлечением синоптической информации и данных о продолжительности солнечного сияния в г. Томске.

Облака являются одним из основных источников неопределенности в предсказании погоды и климата. Их влияние на радиационный баланс зависит главным образом от балла облачности, высоты верхней границы и водности (ледности) облаков, а также формы и размеров частиц (см., например, [1]). Теоретические исследования показали, что высокая отражательная способность облаков нижнего яруса приводит к выхолаживанию атмосферы [2, 3]. Этот вывод подтверждают результаты наблюдений: так, совместный анализ данных ERBE (Earth Radiation Budget Experiment) и ISCCP (International Satellite Cloud Climatology Project) показал, что выхолаживание атмосферы благодаря облакам составляет -27 Вт/м^2 , из которых примерно 60% приходится на долю облаков нижнего яруса [4]. Облака верхнего яруса играют прямо противоположную роль, и обусловленный ими парниковый эффект способствует в целом нагреванию атмосферы [4, 5]. Вместе с тем закономерности, имеющие место для всего земного шара (или полушария), могут не соблюдаться для отдельных регионов. Например, согласно результатам моделирования [6] в высоких широтах (в отличие от умеренных) облака нижнего яруса в среднем по году способствуют нагреванию подстилающей поверхности.

Несмотря на важную роль, которую играют облака в трансформировании солнечного и теплового излучения в атмосфере, современные модели предсказания погоды и климата используют параметризации облачности, которые пока далеки от совершенства. Источником данных, необходимых для улучшения представления облаков в моделях, являются результаты спутниковых и наземных наблюдений за облачностью. Мониторинг облачности, осуществляемый на основе спутниковых данных в течение последних десятилетий, позволяет получить информацию о характеристиках облаков (в частности, бал-

лах общей облачности и облаков верхнего яруса) в масштабе земного шара в целом. Роль наземных наблюдений состоит в том, что они позволяют осуществить валидацию спутниковых данных и более адекватно описать особенности регионального распределения облачности.

В настоящей статье представлены данные наземных наблюдений за состоянием облачности (количество общей облачности N_{tot} и облаков нижнего яруса N_{low} , в баллах) над г. Томском, полученные в Сибирской климатической и экологической обсерватории (СКЭО) Института мониторинга климатических и экологических систем (ИМКЭС) СО РАН в 1994–2004 гг. Наземные наблюдения за облаками проводятся в СКЭО ИМКЭС ($56^{\circ}30' \text{ с.ш.}, 84^{\circ}55' \text{ в.д.}$) с сентября 1994 г. по настоящее время. Вплоть до 1996 г. наблюдения выполнялись в основные синоптические сроки 8 раз в сутки, с 1997 г. проводятся только дневные наблюдения (в 3, 6, 9 и 12 ч по гринвичскому времени). Для хранения и работы с накопленными данными используется созданная в Институте оптики атмосферы (ИОА) СО РАН база данных, содержащая информацию о типах облачности, N_{tot} и N_{low} , продолжительности солнечного сияния и т.д. Информация о балле облачности за 1993 г. и январь–август 1994 г., а также о синоптической обстановке в г. Томске за весь рассматриваемый период получена на основе ежедневных синоптических карт.

Мы рассмотрим вариации средних значений N_{tot} и N_{low} для различных временных масштабов (месяц, сезон, год) и сравним наши данные с данными многолетних наземных наблюдений в г. Томске в 1936–1965 гг. и данными спутниковых наблюдений в 2001–2004 гг. При анализе результатов будет использована информация о синоптических процессах, наблюдавшихся в районе г. Томска в этот же период времени.

1. Характеристика периода наблюдений

Температура и осадки

Рассматриваемый нами временной интервал 1993–2004 гг. относится к периоду глобального потепления (вторая половина XX в.), который характеризуется ростом температуры воздуха в нижних слоях атмосферы как для земного шара в целом, так и Северного полушария (<http://www.cru.uea.ac.uk>). Начало современного потепления в большинстве регионов Российской Федерации, включая Западную Сибирь, относится к началу 1970-х гг. ([7]; см. также <http://climate.mecom.ru>). Временные ряды осредненных аномалий среднегодовой температуры (отклонения от стандартного базового периода 1961–1990 гг.) для Западной Сибири и г. Томска представлены на рис. 1 (данные о приземной температуре в г. Томске взяты из работы [8]).

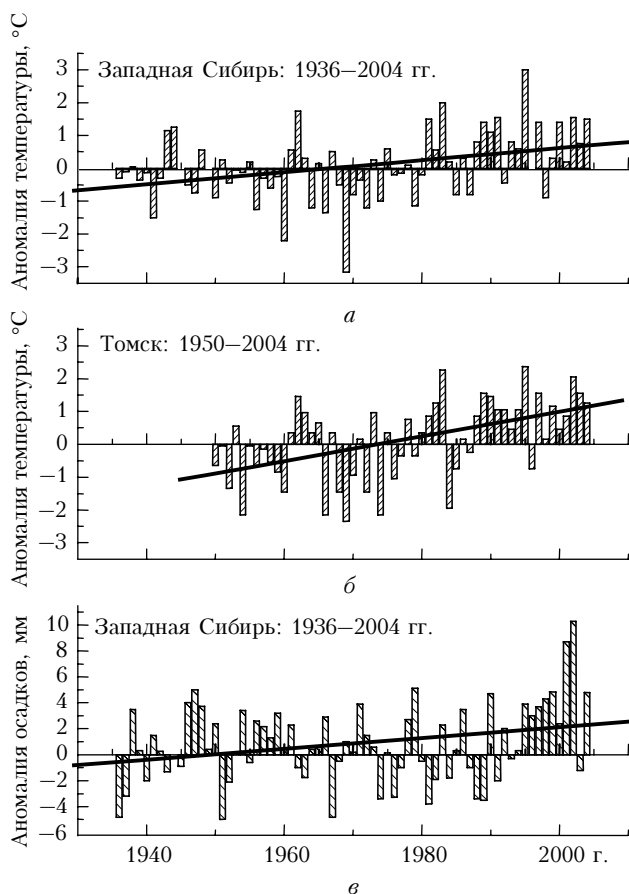


Рис. 1. Аномалии среднегодовой температуры воздуха и осадков (отклонения значений от базового периода 1961–1990 гг.) и их линейные тренды: а, в – <http://climate.mecom.ru>; б – [8]

В последние 50 лет отмечается тенденция к уменьшению годовых и сезонных сумм осадков для России в целом и ее восточных регионов [7]. Вместе с тем период 1951–2004 гг. на территории Западной Сибири

характеризуется ростом аномалии осадков (рис. 1, в), преимущественно зимой и весной; избыток осадков здесь наблюдается ежегодно за последние 10 лет, исключая 2003 г. (<http://climate.mecom.ru>). Согласно результатам, приведенным в [8], количество осадков в г. Томске, как и на территории Западной Сибири, также увеличивается.

Синоптический режим

Для второй половины XX в. (особенно начиная с 80-х гг.) характерно усиление циклогенеза над Арктикой (см., например, [9]). Вероятным следствием этого, при устойчивом антициклогенезе над материками, по мнению автора [9], является повышение приземной температуры воздуха в Северном полушарии, особенно в зимний период. Изменение атмосферных явлений в Арктическом бассейне приводит к значительным вариациям регионального климата в Сибирском секторе (60°–119° в.д.), который находится на стыке северных и южных процессов.

В качестве характеристик синоптической ситуации мы рассматривали количество сроков наблюдений, во время которых территория г. Томска находилась под воздействием фронтов или их зон $N(F)$, циклонов $N(Zn)$ и антициклонов $N(Az)$. Особенность выбранного периода состояла в том, что согласно данным [10] в течение 1993–2004 гг. количество $N(F)$ возросло, $N(Zn)$ уменьшилось примерно в 2 раза, а величина $N(Az)$ осталась почти неизменной.

Облачность и радиация

Усредненные (помесечно) данные ISCCP показывают, что в течение последних 20 лет балл общей облачности N_{tot} в масштабе всего земного шара изменялся согласно синусоидальному закону: с 1985 по 2000 г. он уменьшился на ~4–5%, а за последующие годы (с 2000 по 2004 г.) возрос примерно на 2–3% [11]. В то же время балл облачности облаков нижнего яруса N_{low} продолжал уменьшаться и после 2000 г., тогда как балл облачности облаков среднего и верхнего яруса $N_{mid-high}$ возрастал. Разница между усредненными за 5 лет N_{low} и $N_{mid-high}$ в 1985–1999 гг. находилась на уровне 7–8% и почти удвоилась (13%) за последние 5 лет. Возрастание количества облачности в целом сопровождалось увеличением доли отраженной солнечной радиации и, следовательно, уменьшением солнечной энергии, поступающей на Землю. Однако предполагаемого уменьшения температуры поверхности Земли не последовало: по мнению авторов [11], это обусловлено перераспределением облачности по ярусам, наблюдаемым в течение последних 5 лет.

Анализ максимально возможных суточных сумм суммарной солнечной радиации за 2 периода (1964–1979 и 1981–1994), представленный в работе [12], свидетельствует об уменьшении доли лучистой энергии Солнца, достигающей поверхности Земли. Наибольшее уменьшение в большей степени проявлялось

над территорией Северного полушария (4–10% в зависимости от сезона) и касалось в основном зимних месяцев. Статистически значимое уменьшение солнечной радиации с 1960 по 1987 г. зафиксировано также на 160 актинометрических станциях СНГ [13]. Согласно данным этой работы, отмечаются отрицательные тренды годовых сумм суммарной (94% случаев) и прямой (97%) радиации и увеличение доли рассеянного излучения в 60% случаев.

2. Межгодовая изменчивость балла облачности

Рассмотрим межгодовую изменчивость баллов общей и нижней облачности и их среднеквадратическое отклонение над Томском. В период наблюдения минимальное значение среднегодового балла общей облачности N_{tot} (7,4 балла) наблюдалось в 1996–1997 гг., максимальное (8,6) – соответственно в 2002 г. (рис. 2). Среднеквадратическое отклонение $\sigma_{N_{tot}}$ было достаточно стабильным и изменялось в пределах 2,9–3,5 балла. Минимум среднегодового значения N_{low} (2,8 балла) наблюдался в 1994 г., а максимум (4,3 балла) зафиксирован в 2002 и 2004 гг. Изменчивость балла нижней облачности была более высокой по сравнению с N_{tot} и достигала в зависимости от года 3,2–4,1 балла. Отметим, что в 2002 г., когда количество общей и нижней облачности было максимальным, в Западной Сибири зарегистрировано наибольшее значение аномалии осадков за почти 60-летний период наблюдения (см. рис. 1, в). В течение 1993–2004 гг. наблюдались слабый положительный тренд N_{tot} и более значительное возрастание N_{low} ; средние значения баллов общей и нижней облачности составили за 11-летний период 8 и 3,7 балла соответственно.

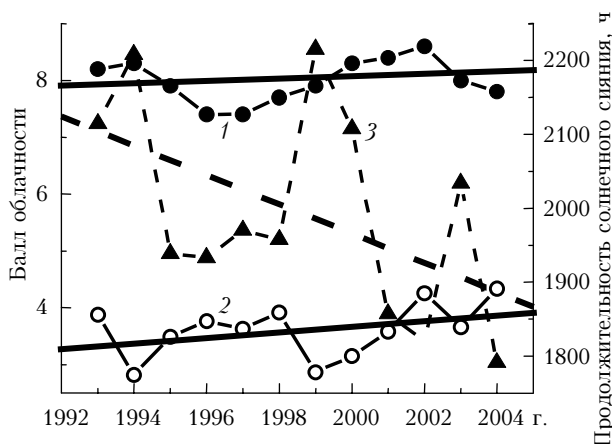


Рис. 2. Межгодовая изменчивость баллов общей и нижней облачности (дневные наблюдения) и продолжительности солнечного сияния над Томском по данным СКЭО ИМЭКС СО РАН: 1 – N_{tot} ; 2 – N_{low} ; 3 – ПСС

Тенденция к увеличению количества облачности имеет место и в других регионах России (приводимые ниже данные относятся к несколько иным – по сравнению с нашими – периодам наблюдения).

По данным Метеорологической обсерватории МГУ (55°42' с.ш., 37°31' в.д.), находящейся почти на той же широте, что и Томск, с 1958 по 1997 г. среднегодовое значение N_{tot} возросло примерно на 0,7, а N_{low} – на 1,1 балла [14]. В качестве одной из возможных причин увеличения облачности Г.М. Абакумова [14] называет рост повторяемости циклонических типов циркуляции (как отмечено выше, в г. Томске наблюдалось, наоборот, уменьшение повторяемости циклонов в период 1993–2004 гг.). За период 1967–1990 гг. возрастание N_{tot} и N_{low} зафиксировано также на территории европейской части бывшего СССР, Западной Сибири и Дальнего Востока [15]. Если рассматривать территорию СНГ в целом, то имеет место несколько иная ситуация. Судя по данным наземных наблюдений, приведенным в работе Г.А. Жеребцова и его коллег [16] и взятым, в свою очередь, из [17], в период 1936–1990 гг. балл общей облачности и облаков верхнего яруса в период 1936–1990 гг. увеличивался, тогда как количество облаков нижнего яруса уменьшалось.

Одной из характеристик, которая часто привлекается при анализе изменчивости количества облаков, является продолжительность солнечного сияния (ПСС). Продолжительность солнечного сияния над г. Томском, по данным [8, 18], начиная с 1958 г. возрастает, тогда как рассматриваемый период 1993–2004 гг. характеризуется значительным уменьшением ПСС (рис. 3).

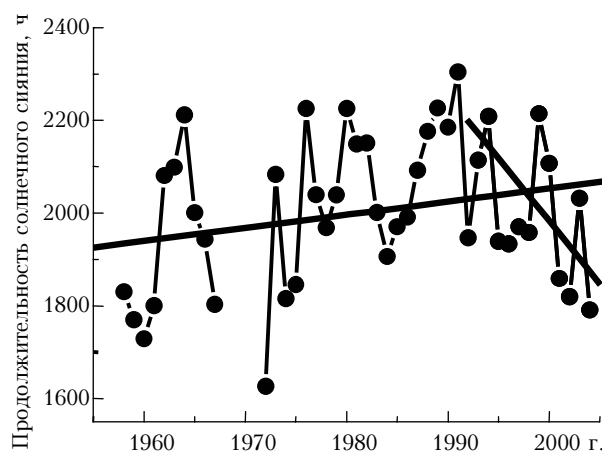


Рис. 3. Продолжительность солнечного сияния над Томском в 1958–2004 гг. (по данным [18] и СКЭО ИМЭКС СО РАН)

Наблюдаемый отрицательный тренд ПСС согласуется с увеличением облачности над г. Томском, причем существенная антикорреляционная зависимость имеет место между ПСС и баллом облачности нижнего яруса (см. рис. 2). Отметим, что уменьшение ПСС при положительном тренде количества облаков наблюдается и в других регионах земного шара (Ирландия [19], США [20]). Более подробное рассмотрение корреляционных связей между количеством облаков и продолжительностью солнечного сияния можно выполнить, привлекая информацию о распределении облачности по ярусам.

3. Среднемесячный балл облачности по данным многолетних наблюдений

По данным 1993–2004 гг. наибольший балл общей облачности наблюдался в осенне-зимние месяцы с максимумом в ноябре — 8,7 балла (рис. 4). В годовом ходе N_{tot} имеются 2 минимума: в марте и июле — 7,3 балла. Локальные максимумы балла нижней облачности N_{low} зафиксированы в июне — 4 и октябре — 5,1 балла; минимальное значение балла облаков нижнего яруса наблюдалось в марте — 2,4 балла. Относительно мартовского минимума N_{low} и N_{tot} отметим, что этот месяц стал необычно засушливым: согласно данным [8] за период 1950–1998 гг. не зафиксировано ни одного случая избыточного увлажнения.

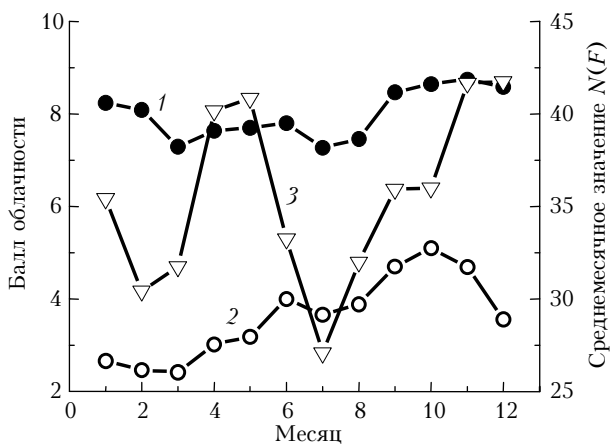


Рис. 4. Среднемесячные значения баллов облачности и планетарных фронтальных зон $N(F)$ по данным многолетних наблюдений 1993–2004 гг.: 1 — N_{tot} , 2 — N_{low} , 3 — $N(F)$

Среднеквадратическое отклонение баллов общей и нижней облачности изменялось в диапазонах: $2,9 \leq \sigma_{N_{tot}} \leq 4,0$; $3,4 \leq \sigma_{N_{low}} \leq 4,5$. Значения баллов облачности были наиболее стабильными летом. В сентябре–октябре $\sigma_{N_{tot}}$ достигало минимума (2,9 балла), а $\sigma_{N_{low}}$ — максимума (4,5). Наибольший диапазон изменчивости $\sigma_{N_{tot}}$ наблюдался весной (3,4–4,0 балла) с минимальным значением в марте, а $\sigma_{N_{low}}$ — зимой (3,4–4,3) с минимумом в январе.

Общее количество облачности, как известно, неоднозначно зависит от типа синоптических образований, поскольку при различных циркуляционных условиях внутри образования существуют как малооблачные зоны, так и зоны с большим количеством облаков. В циклонах пасмурная погода чаще всего наблюдается в центральной части и в зонах атмосферных фронтов; в антициклонах присутствие облачности наиболее вероятно в периферийных районах.

Анализ синоптической обстановки над территорией Томска показал [10], что годовой ход повторяемости циклонов слабо выражен и имеет три локальных минимума (наибольший из них приходится на июль). Повторяемость антициклонов от месяца к месяцу более значима (ее минимум приходится на летний период). Достаточно хорошо выраженный годовой ход облачности наилучшим образом согласуется с сезон-

ным изменением расположения планетарных фронтальных зон (ПФРЗ) (см. рис. 4). В умеренных широтах ПФРЗ в летний период смещаются в северном направлении и их интенсивность уменьшается, вследствие чего в теплое время года появляются внутримассовые облака, которые чаще всего не являются сплошными [21].

4. Сравнение с данными многолетних наземных наблюдений

В работе [22] представлены данные о повторяемости ясной ($N_{tot} = 0 \div 2$), полужасной ($N_{tot} = 3 \div 7$) и пасмурной ($N_{tot} = 8 \div 10$) погоды в г. Томске по результатам суточных наблюдений 1936–1965 гг. Климатически значимый 30-летний период наблюдения приходился на период сравнительно небольшого похолодания между двумя периодами потепления (1910–1940 и с 1970 г. по настоящее время) и характеризовался следующими особенностями (рис. 5):

- наиболее вероятной была пасмурная погода (во все месяцы более 50%);
- ясная погода наблюдалась более чем в 20–25% (кроме октября — 15%);
- облачность $N_{tot} = 3 \div 7$ была наименее вероятной;
- вероятность пасмурного неба была минимальной в июле (51%), максимальной — в октябре (76%);
- ясное небо было наиболее вероятным в феврале (35%), наименее вероятно — в октябре (14%);
- повторяемость полужасных дней увеличивалась с января (7–8%) до июля (23%), с последующим симметричным убыванием до декабря (7%).

Можем ли мы на основе имеющейся информации оценить повторяемость ясной, полужасной и пасмурной погоды для рассматриваемого нами периода? Проблема состоит в том, что мы располагаем данными о суточной изменчивости облаков только за 4-летний период наблюдений (1993–1996 гг.).

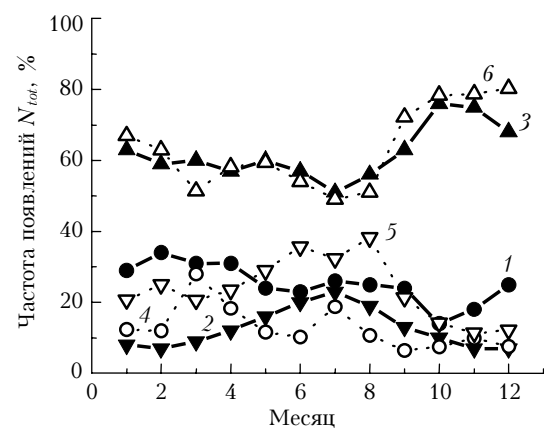


Рис. 5. Сравнение повторяемости ясной, полужасной и пасмурной погоды по суточным наблюдениям 1936–1965 гг. (1 — $N_{tot} = 0 \div 2$; 2 — $3 \div 7$; 3 — $8 \div 10$); 1993–1996 гг. (4 — $0 \div 2$; 5 — $3 \div 7$; 6 — $8 \div 10$)

Из таблицы следует, что данные дневных наблюдений за баллом общей облачности в 1993–1996 и 1993–2004 гг. практически совпадают как для

отдельных сезонов, так и для периодов в целом. Поэтому можно предположить, что и результаты суточных наблюдений N_{tot} , полученные за 1993–1996 гг., в той или иной степени характерны для всего анализируемого нами 11-летнего периода наблюдений. Используем результаты суточных наблюдений 1993–1996 гг. для сравнения с данными многолетних наблюдений 1936–1965 г. по повторяемости ясной, полусумерной и пасмурной погоды.

Суточные и дневные значения балла общей облачности N_{tot} и балла облаков нижнего яруса N_{low} в г. Томске

Сезон	1993–1996 гг.				1993–2004 гг.	
	Суточные		Дневные		Дневные	
	N_{tot}	N_{low}	N_{tot}	N_{low}	N_{tot}	N_{low}
Зима	8	2,5	8,3	2,6	8,3	2,9
Весна	6,9	2,3	7,4	2,7	7,5	2,9
Лето	6,9	2,7	7,3	3,5	7,5	3,9
Осень	8,5	4,7	8,8	5	8,6	4,9
Весь период	7,6	3,1	8	3,5	8	3,7

Результаты анализа показывают (см. рис. 5), что вероятность наличия пасмурной погоды осталась наибольшей, тогда как количество ясных дней снизилось, особенно в зимние месяцы (примерно на 20%). Повторяемость полусумерных дней ($N_{tot} = 3 \div 7$) увеличилась, годовой ход (с максимумом в летние месяцы) сохранился.

Подчеркнем, что 4-летний период осреднения вряд ли можно считать достаточным для проведения полноценного анализа, однако мы использовали эти данные за неимением других, более представительных. Кроме того, отличие осредненных за 4 года суточных и дневных значений N_{tot} не превышает 1 балла (см. таблицу) и, по-видимому, не может существенно изменить сделанные выводы.

5. Сравнение наземных и спутниковых данных

Сравним среднемесячные значения балла общей облачности по данным наземных наблюдений N_{tot} и восстановленные по результатам спутниковых измерений $N_{tot}(0)$, которые получены на основе измерений спутникового сканера MODIS (Modis/Terra Atmosphere Monthly Global Product) в 2001–2004 гг. (Использованные нами значения $N_{tot}(0)$ соответствуют пространственному разрешению $1^\circ \times 1^\circ$ для ячейки сетки, которой принадлежат координаты г. Томска: $56-57^\circ$ с.ш., $84-85^\circ$ в.д.).

Следует ожидать, что балл облачности N_{tot} , определяемый наблюдателем с поверхности Земли, будет превышать $N_{tot}(0)$, поскольку поле зрения наблюдателя может быть затенено боковыми сторонами облаков. В рассматриваемый нами период соотношение $N_{tot}(0) \leq N_{tot}$ выполнялось почти всегда (рис. 6).

Однако высокая отражательная способность снежного покрова уменьшает точность алгоритма восстановления $N_{tot}(0)$, и в некоторые зимние месяцы 2001–2004 гг. в г. Томске имело место обратное неравенство (см., например, рис. 6, з). Сравнивая N_{tot} и $N_{tot}(0)$, мы должны также иметь в виду, что точность наземных наблюдений за баллом облачности зависит от квалификации наблюдателя и в той или иной степени может повлиять на качество наблюдений. По нашим данным, максимальное различие между N_{tot} и $N_{tot}(0)$ наблюдалось в конце весны и летние месяцы: например, в мае–июне 2003 г. разница достигала 3 баллов.

Для того чтобы привести данные наземных и спутниковых наблюдений в соответствие, т.е. по возмож-

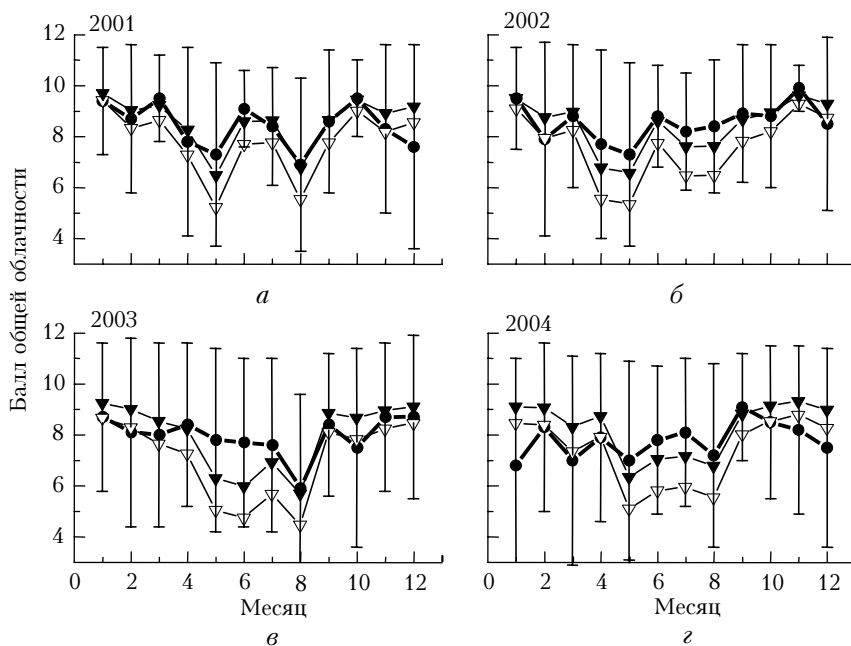


Рис. 6. Балл общей облачности над Томском по данным наземных и спутниковых наблюдений в 2001–2004 гг.: ● — наземные наблюдения; ▽ — спутниковые данные; ▼ — расчеты по формуле (1)

ности нивелировать эффекты, обусловленные боковыми сторонами облаков, используют различные эмпирические формулы. Так, в работе [23] приведены следующие соотношения, связывающие N_{tot} и $N_{tot}(0)$:

$$N_{tot}^{(1)} = N_{tot}(0) + 0,5N_{tot}(0)[10 - N_{tot}(0)] \quad (1)$$

и

$$N_{tot}^{(2)} = N_{tot}(0) + 0,8[10 - N_{tot}(0)][N_{tot}(0)]^{0,8}. \quad (2)$$

При незначительных количествах облачности формула (2), по мнению авторов [23], является более точной, но дает завышенные значения при $3 < N_{tot}(0) < 8$.

Сравним данные наземных наблюдений с расчетами балла облачности, выполненными по формуле (1). В 2001, 2002 и 2004 гг. значения N_{tot} и $N_{tot}^{(1)}$ удовлетворительно согласуются между собой: величина $|N_{tot} - N_{tot}^{(1)}|$ не превышает 1 балла; исключения составляют некоторые зимние месяцы — возможно, из-за неточности определения $N_{tot}(0)$ над снежным покровом. Большие различия между N_{tot} и $N_{tot}^{(1)}$ наблюдались в 2003 г., когда $|N_{tot} - N_{tot}^{(1)}|$ превышала в мае—июне 1,5 балла.

Совместный анализ N_{tot} и $N_{tot}^{(2)}$ показал, что использование формулы (2) в среднем приводит к более значимым различиям между наземными и спутниковыми данными.

Заключение

Анализ изменения количества общей и нижней облачности над г. Томском, наблюдаемой в течение 1993—2004 гг., показал идентичность основных климатических показателей — многолетнего межгодового хода аномалий среднегодовой температуры и осадков в г. Томске и Западной Сибири (типичного региона зоны бореальных лесов) в целом. Это свидетельствует о том, что полученные нами результаты не являются исключительными и в той или иной степени отражают тенденции, характерные для всего региона.

Полученные выводы состоят в следующем:

1. Балл облачности над г. Томском оценивался на основе регулярных наземных наблюдений: в 1993—1996 гг. круглосуточно, с 1997 г. по настоящее время — в дневное время. Результаты дневных наблюдений показали положительный тренд баллов общей и нижней облачности, причем для нижней облачности это приращение было более существенным ($\approx 0,7$ балла) по сравнению с возрастанием общего количества облаков. На фоне многолетних наблюдений 1936—1965 гг. отмечается тенденция к уменьшению малооблачных дней и увеличению числа дней с баллом облачности 3—7.

2. Совместный анализ общего количества облаков и синоптической информации показал, что годовой ход N_{tot} наилучшим образом коррелирует с сезонным изменением расположения планетарных фронтальных зон и слабо связан с прохождением над территорией г. Томска циклонов и антициклонов.

3. В период 2001—2004 гг. наземные наблюдения за N_{tot} удовлетворительно (преимущественно в пределах 1 балла) согласуются со среднемесячными значениями балла облачности по данным спутниковых измерений (Modis/Terra Atmosphere Monthly Global Product).

4. Продолжительность солнечного сияния, наблюдаемая в г. Томске с 1958 г., возростала, тогда как в 1993—2004 гг. ПСС характеризовалась отрицательным трендом и выраженной антикорреляционной зависимостью с баллом облачности нижнего яруса.

Поскольку рассмотренный временной ряд 1993—2004 гг. мал по сравнению с масштабами климатических изменений, то полученные результаты соответствуют только данному периоду наблюдений. Говорить о том, сохранятся ли обнаруженные тенденции изменения облачности в будущем, пока преждевременно.

Полученные результаты будут, безусловно, полезны при анализе имеющихся данных радиационных измерений и планируемых экспериментов (в частности, на основе комплекса приборов, имеющегося в ИОА СО РАН).

Работа выполнена при частичной поддержке Программы Президиума РАН № 16 и РФФИ (грант № 06-05-64484).

1. Curry J.A., Hobbs P.V., King M.D., Randall D.A., Minnis P., Isaac G.A., Pinto J.O., Uttal T., Bucholtz A., Cripe D.G., Gerber H., Fairall C.W., Garrett T.J., Hudson J., Intrieri J.M., Jakob C., Jensen T., Lawson P., Marcotte D., Nguyen L., Pilewskie P., Rangno A., Rogers D.C., Strawbridge K.B., Valero F.P.J., Williams A.G., Wylie D.. FIRE Arctic Clouds Experiment // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2000. V. 81. N 1. P. 5—29.
2. Manabe S., Strickler R.F. Thermal equilibrium of the atmosphere with convective adjustment // J. Atmos. Sci. 1964. V. 21. N 4. P. 361—385.
3. Manabe S., Wetherald R.T. Thermal equilibrium of the atmosphere with given distribution of relative humidity // J. Atmos. Sci. 1967. V. 24. N 3. P. 241—259.
4. Hartmann D.L., Ockert-Bell M.E., Michelsen M.L. The effect of cloud type on the Earth's energy balance: Global analysis // J. Climate. 1992. N 5. P. 1281—1304.
5. 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.
6. Curry J.A., Rossow W.B., Randall D., Schramm J.L. Overview of arctic cloud and radiation characteristics // J. Climate. 1996. N 9. P. 1731—1764.
7. Груза Г.В., Раныкова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 166—185.
8. Барашкова Н.К., Задде Г.О., Севастьянов В.В. Динамика современных климатических показателей в Томске и их связь с состоянием общей циркуляции атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 2. С. 194—197.
9. Караханян А.А. Долговременные изменения атмосферной циркуляции и климата на территории Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1104—1106.
10. Белан Б.Д., Рассказчикова Т.М., Складнева Т.К. Синоптический режим Томска за 1993—2004 гг. // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 10. С. 887—892.
11. Palle E., Goode P.R., Montanes-Rodriguez P. Can Earth's Albedo and Surface Temperatures Increase Together? // EOS. 2006. V. 87. N 4. P. 37—39.

12. Морозова И.В., Мясников Г.Н. Изменение возможной суммарной солнечной радиации на земной поверхности // Метеорол. и гидрол. 1997. № 10. С. 38–48.
13. Житорчук Ю.В., Стадник В.В., Шанина И.Н. Исследование линейных трендов во временных рядах солнечной радиации // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30. № 3. С. 389–396.
14. Абакумова Г.М. Тенденции многолетних изменений прозрачности атмосферы, облачности, солнечной радиации и альbedo подстилающей поверхности в г. Москве // Метеорол. и гидрол. 2000. № 9. С. 51–62.
15. Ефимова Н.А., Строчкина Л.А., Байкова И.М., Малкова И.М. Изменение температуры воздуха и облачности в 1967–1990 гг. на территории бывшего СССР // Метеорол. и гидрол. 1994. № 6. С. 66–69.
16. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И. Радиационный баланс атмосферы и климатические проявления солнечной переменности // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 12. С. 1003–1017.
17. *Palle B., Butler C.J.* Sunshine Clouds and Cosmic Rays // Proc. of the 1st Solar and Space Weather Euroconference. September 25–29, 2000. Santa Cruz de Tenerife. Tenerife, Spain, 2000. P. 147–152.
18. Белан Б.Д., Наливайко А.А., Сакерин С.М., Складнева Т.К. Особенности многолетней изменчивости характеристик солнечной радиации в Западно-Сибирском регионе // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 3. С. 275–282.
19. *Palle B., Butler C.J.* Comparison of sunshine records and synoptic cloud observations: A case study for Ireland // J. Climate. 2001. N 21. P. 709–729.
20. *Angell J.K.* Variations in United States cloudiness and sunshine duration between 1950 and drought year of 1988 // J. Climate. 1990. N 3. P. 296–308.
21. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеониздат, 1991. 616 с.
22. Справочник по климату СССР: В 34 выпусках. Вып. 20. Часть 5. Облачность и атмосферные явления. Л.: Гидрометеониздат, 1970. 323 с.
23. Стохастическая структура полей облачности и радиации / Под ред. Ю.-А.Р. Мулламаа. Академия наук Эстонской ССР. Тарту: Ин-т физики и астрономии, 1972. 281 с.

T.B. Zhuravleva, T.M. Rasskazchikova, T.K. Sklyadneva, S.V. Smirnov. **Statistics of cloudiness over Tomsk city: ground-based observations for 1993–2004 period.**

An inter-annual variability of N_{tot} and N_{low} as well as averaged for 11 years month and seasonal values of the cloud amount are considered. The obtained results are compared with data of many-year ground observations in Tomsk for 1936–1965 and satellite data for 2001–2004. Statistics of the cloud amount is analyzed based on synoptical information and data on solar shine length in Tomsk.