

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.52

Изменения радиационных и метеорологических параметров атмосферы по данным наблюдений в Томске

Т.К. Скляднева, Т.М. Рассказчикова, В.Г. Аршинова, М.Ю. Аршинов*

*Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
634055, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1*

Поступила в редакцию 29.09.2017 г.

Приводятся результаты исследования изменения суммарной солнечной радиации, облачности, продолжительности солнечного сияния и приземной температуры воздуха в Томске за период 1996–2016 гг. Показано, что наблюдаются уменьшение суммарной солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния и, наоборот, увеличение приземной температуры, балла общей и нижней облачности. Прослеживаются тенденции увеличения вклада облаков верхнего яруса и уменьшения — облаков среднего яруса.

Ключевые слова: многолетние наблюдения, солнечная радиация, продолжительность солнечного сияния, облачность; monitoring, solar radiation, sunshine duration, cloudiness.

Введение

В настоящее время одна из важнейших проблем, стоящих перед человечеством, — это глобальное потепление климата, отнесенное международным сообществом к глобальным вызовам из-за возможных катастрофических последствий для окружающей среды. Данная проблема имеет давнюю историю и впервые была представлена в качестве гипотезы шведским ученым Сванте Аррениусом в конце XIX в. Известно, что на земном шаре средняя приземная температура за последние 100 лет выросла на 0,8 °С. В то же время из данных инструментальных измерений глобальной средней температуры, опубликованных NASA в 2006 г. [1], следует, что глобальное потепление, начавшееся в первые годы XX в., имеет неравномерный ход. Периоды повышения температур сменяются небольшими похолоданиями, затем практически неизменным ходом годовых значений, а с конца 1970-х гг. вновь начинается рост температур, интенсивность которого значительно превышает наблюдаемый на предыдущем этапе. Потепление происходит неравномерно как во времени, так и в пространстве. По данным [2], скорость глобального потепления менялась от 0,075 (1901–2005 гг.) до 0,23 °С/10 лет (1981–2005 гг.), а в периоды 1950–1970 гг. и 1998–2007 гг. значимое увеличение тренда средней приземной температуры отсутствовало.

Одним из важных факторов формирования термического режима является колебание потоков солнечной радиации. В последние десятилетия намечились новые тенденции в изменениях как ра-

диационных, так и метеорологических параметров атмосферы. Наземные наблюдения за изменением потоков солнечной радиации, приходящей к земной поверхности, выявили, что увеличение поступления солнечной радиации, происходящее во многих регионах земного шара и практически на всей территории России в последнее десятилетие XX в., не столь крупномасштабно и однозначно в начале XXI в. Согласно [3] на европейской части России, особенно в центральных и южных районах, сохраняется положительная тенденция поступления солнечной радиации, которая наблюдается и на территории зарубежной Европы. На ряде станций значения стабилизировались на определенном уровне, хотя и не достигли максимумов 1960-х гг. В то же время в некоторых регионах азиатской территории России (АТР) возобновилась тенденция к уменьшению прямой и суммарной радиации. Наиболее ярко это проявляется в Средней Сибири [4]. На основе анализа изменений радиационных потоков и факторов, определяющих их приход и перераспределение в атмосфере, в [5] показано, что с середины 1990-х гг. многие радиационные параметры приобрели тенденции, отличные от наблюдавшихся в прошлые годы. Для некоторых параметров эти тенденции значимы и сохраняются на протяжении длительного периода и, следовательно, представляют собой климатические изменения. Так, к региональным климатическим изменениям в г. Москве можно отнести увеличение продолжительности солнечного сияния, прямой радиации и ее доли в суммарном потоке, противоизлучения атмосферы, радиационного баланса; уменьшение рассеянной солнечной радиации.

Облачность — важный регулятор солнечного и земного излучения. В [6] отмечено, что на рубеже XX–XXI вв. тенденция к увеличению общей облачности, выявленная во 2-й половине XX столетия, нарушается. Прослеживаются устойчивые из-

* Татьяна Константиновна Скляднева (tatyana@iao.ru); Татьяна Михайловна Рассказчикова (rtm@iao.ru); Виктория Геннадьевна Аршинова (arvi@iao.ru); Михаил Юрьевич Аршинов (michael@iao.ru).

менения в распределении разных групп форм облачности: хорошо выражены тенденции к увеличению доли облачности вертикального развития, уменьшению слоисто-дождевой облачности и увеличению вклада облаков верхнего яруса [7, 8].

Ранее для разных коротких периодов наблюдений мы оценивали поступление суммарной солнечной радиации [9, 10], количество и повторяемость основных форм облачности [11, 12], температуру [13] в г. Томске. В настоящей работе проанализированы изменения суммарной солнечной радиации, продолжительности солнечного сияния, облачности и температуры в Томске за 21-летний период изменений (1996–2016 гг.).

Исходные данные и методика обработки

Оценки суммарной солнечной радиации выполнены по результатам многолетних наземных измерений в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН (<http://lop.iao.ru>). Измерения ведутся с апреля 1995 г. Однородность ряда обеспечивается использованием однотипных приборов и одинаковой методикой поверки. Применяется пиранометр Ю.Д. Янишевского М-115М (спектральный диапазон 300–2400 нм); он регулярно поверяется по «образцовому» пиранометру М-115М № 313, который проходил калибровку в Западно-Сибирском УГМС.

Для анализа привлекалась информация о продолжительности солнечного сияния (ПСС), количестве и форме облаков, приземной температуре воздуха. Многолетние данные о ПСС и температуре за 1961–2016 гг. взяты с сайта Мирового центра данных (МЦД) (<http://meteo.ru/data>). Режим облачности анализируется по данным ежечасных визуальных наблюдений за облачностью в дневное время на метеоплощадке ИМКЭС СО РАН.

Временные ряды исследуемых величин аппроксимированы линейными функциями и полиномиальными уравнениями второго порядка.

В табл. 1 приведены месячные и годовые значения исследуемых параметров атмосферы, осредненных за период 1996–2016 гг., а их межгодовая изменчивость и тренды показаны на рис. 1.

Анализ повторяемости основных групп форм облаков ($C_i + C_s + C_c$), ($A_s + A_c$), ($N_s + f_n$), ($C_u + C_b$), ($S_t + S_c$) проведен по методике, примененной нами в [11].

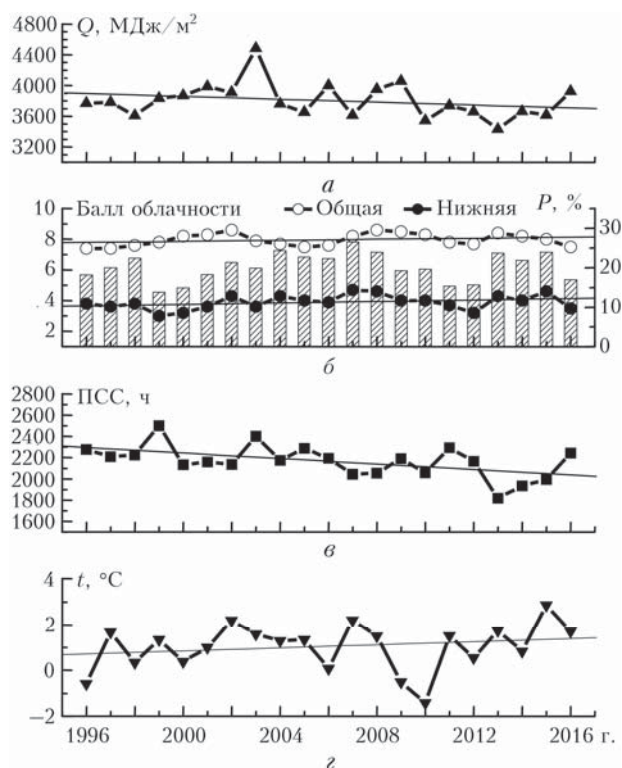


Рис. 1. Многолетние изменения параметров атмосферы в г. Томске: суммарная солнечная радиация (а); общая и нижняя облачность, повторяемость пасмурного неба (10/10 баллов) (б); продолжительность солнечного сияния (в); температура (д)

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.

Таблица 1

Среднемесячные и годовые значения параметров атмосферы за 1996–2016 гг.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Суммарная радиация, МДж/м ²												
80±15	157±18	318±38	439±48	564±70	622±57	602±53	468±52	289±47	143±22	73±14	47±10	3801±223
Общая облачность, балл												
7,8±1,5	7,8±0,8	7,7±1,1	7,7±0,9	7,9±0,6	7,6±0,9	7,7±1,0	7,8±0,9	7,8±1,5	8,7±0,6	8,5±1,0	5,6±0,7	8,0±0,4
Нижняя облачность, балл												
2,3±1,3	2,2±1,1	2,9±1,0	3,4±1,1	4,2±1,3	4,1±1,2	4,0±1,2	4,4±0,9	4,5±1,3	5,5±0,8	5,1±1,2	3,9±1,8	3,9±0,5
Продолжительность солнечного сияния, ч												
86±32	115±30	184±44	232±31	287±47	319±43	311±49	252±43	173±46	97±24	60±20	49±23	2166±153
Температура, °С												
-18,8±5,2	-14,5±4,2	-6,2±3,0	2,5±2,9	10,6±2,3	16,7±2,2	18,8±1,8	15,6±1,5	9,2±1,6	1,6±2,0	-8,2±3,5	-14,8±5,3	1,0±3,0

В число всех наблюдений включаются случаи безоблачного неба. Повторяемость каждой формы вычислялась независимо от наличия других форм облаков.

Проведена оценка изменений ПСС и температуры путем сравнения средних значений за рассматриваемый период с нормами исторического (1961–1990 гг.) и текущего базового (1981–2010 гг.) периода, определенных Всемирным метеорологическим конгрессом в 2015 г. Отклонения рассчитывались по формуле

$$d_{1,2} = (Y_{1996-2016} - Y_{1,2}) / Y_{1,2} \cdot 100\%,$$

где d_1 и d_2 – отклонения современных данных от исторической нормы и от текущей нормы; Y_1 , Y_2 – нормы исторического и текущего базового периодов.

Анализ результатов наблюдений

Среднегодовой приход солнечной радиации в г. Томске за 1996–2016 гг. равен 3801 МДж/м². Для сравнения: по данным [14], среднегодовое поступление суммарной радиации за период 1965–1970 гг. составило 3884 МДж/м².

Наблюдается тенденция незначительного спада годового поступления суммарной радиации в г. Томске (см. рис. 1, а); относительная величина тренда составила –2,5%. Надо отметить, что эта тенденция наблюдается и на двух других постах наблюдения ИОА СО РАН Карасево (58°14'47" с.ш., 82°25'16,2" в.д.) и Березоречка (56°08'48" с.ш., 84°19'50" в.д.), расположенных на территории Томской обл. Полученные результаты не противоречат работе [15], в которой отмечается, что в период 1986–2010 г. на АТР сформировалась обширная область со слабыми отрицательными трендами приходящей радиации; в некоторых регионах АТР возобновилась тенденция к снижению прямой и суммарной радиации.

Максимальное годовое поступление суммарной солнечной радиации в г. Томске было зарегистрировано в 2003 г., минимальное – в 2013 г. Аномально высокое значение в 2003 г. обусловлено циркуляционными особенностями года. Замкнутые циклонические образования в районе города проходили только в ноябре, при этом наблюдались южная и юго-западная части циклонов [10], что способствовало увеличению повторяемости сухой и малооблачной погоды.

Месячный приход суммарной солнечной радиации более изменчив от года к году, чем годовая. Ранее в [10] мы показали, что величина и диапазон колебаний месячных сумм радиации в Томске зависят от сезона: в весенне-летний период коэффициент вариации месячных сумм Q меняется от 9 до 12%; осенью – в пределах 15–17%, а зимой из-за неустойчивости циркуляционных процессов Q возрастает до 20%. Данные закономерности сохраняются и в настоящее время.

С 1996 по 2016 гг. наблюдались слабый положительный тренд Q в осенне-зимний и летний периоды и отрицательный – в весенний период (рис. 2). Из проведенного анализа изменчивости

месячных сумм суммарной радиации следует, что более подробное разбиение массива анализируемых данных не целесообразно. Также отметим, что в Томске июнь, как правило, характеризовался большой изменчивостью синоптических условий. В то же время максимальное поступление суммарной радиации в июне регистрировалось чаще, чем в июле.

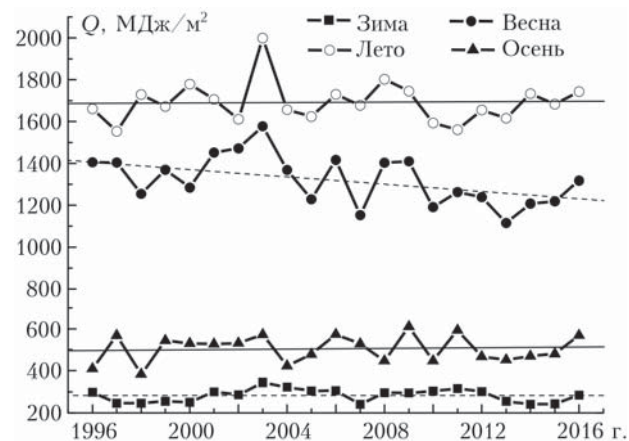


Рис. 2. Сезонная изменчивость поступления суммарной солнечной радиации в г. Томске за 1996–2016 гг.

Из анализа вариаций суточного поступления суммарной солнечной радиации $Q_{сут}$ определено, что среднее значение $Q_{сут}$ составило $10,38 \pm 6,92$ МДж/м², а максимальное среднемесячное $Q_{сут} = 20,69 \pm 1,94$ МДж/м² было в июне.

Рассматриваемый период характеризуется отсутствием значительного тренда аэрозольной оптической толщины (АОТ), низкими значениями АОТ, сближением АОТ в городских и фоновых районах. Это связано с сокращением антропогенных выбросов, отсутствием крупных вулканических извержений и других природных явлений, приводящих к увеличению общего содержания аэрозоля в региональном и глобальном масштабах [16].

Основной фактор, определяющий режим коротковолновой радиации в атмосфере, – это облачность. В некоторых регионах России в последние 10–15 лет при сохранении тенденции к увеличению общей облачности проявилась тенденция к сокращению количества облаков нижнего яруса при уменьшении повторяемости сплошной облачности [3, 5]. В рассматриваемый период в Томске наблюдается рост как общей, так и нижней облачности (см. рис. 1, б) (относительная величина тренда 2,1 и 6,2% для общей и нижней облачности соответственно); случаи отсутствия облаков в дневные часы составили 8,7%. Облака нижнего яруса наблюдались в 55,8% случаев (2–4 колонки, табл. 2), среднего – в 49,1% (5 колонка), а верхнего яруса – в 74,3% случаев (6 колонка). Независимо от сезона наиболее распространёнными были облака групп (As + Ac) и (Ci + Cs + Cc). Большая частота появления данных групп облаков объясняется тем, что облака Ac (36%) 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, а перистообразные облака сопровождают практически все синоптические ситуации в течение всего года.

Таблица 2
Повторяемость (%) основных форм облаков над г. Томском

Сезон	$St + Sc$	$Ns + fn$	$Cu + Cb$	$As + Ac$	$Ci + Cs + Cc$
Зима	12,6	12,3	11,4	50,6	77,5
Весна	18,1	4,0	29,4	44,0	72,4
Лето	16,9	1,9	52,8	48,9	75,5
Осень	26,7	11,4	24,6	53,9	70,5
Год	18,6	7,4	29,8	49,1	74,3

Частота появления остальных форм облачности имела выраженный сезонный ход: максимум повторяемости облаков вертикального развития (54%) приходился на летний период, когда наиболее активны конвективные процессы, тогда как облака типа ($St + Sc$) чаще всего наблюдались осенью (27%). Заметим, что в сентябре–ноябре повторяемость сплошной облачности нижнего яруса составила 31%.

Прослеживаются тенденции увеличения вклада облаков верхнего яруса, а также уменьшения вклада облаков среднего яруса (рис. 3, а). Этот результат согласуется с выводами Второго оценочного доклада Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014 г.) [3]. В Оценочном докладе также говорится, что в последние десятилетия сохраняется тенденция увеличения частоты появления конвективной облачности. В Томске в 1996–2001 гг. повторяемость

группы облаков ($Cu + Cb$) колебалась от 20 до 25%, а с 2006 г. достигла 30% и по настоящее время практически не меняется. Повторяемость облаков $Ns + fn$ за период исследования не превышала 10%, а с 2003 г. 5%, слоистообразных облаков – ~15%.

На рис. 3, б, в показано межгодовое изменение распределения повторяемости разных типов облачности в зимний и летний периоды. Зимой повторяемость всех типов нижней облачности почти одинаковая (10–15%) и слабо меняется от года к году. Летом, с развитием конвективных процессов, картина кардинально отличается. Доля облаков вертикального развития в среднем превышает 50% и варьирует в широких пределах – от 34,2 (2012 г.) до 69,5% (2002 г.), в то время как повторяемость ($Ns + fn$) уменьшается до 2%. Доля слоистообразной облачности возрастает до 20,3% в 2007 г. и далее остается приблизительно на этом же уровне.

В 1996–2016 гг. повторяемость однослойной облачности нижнего яруса составила 23%, из них в 81% наблюдалась сплошная облачность. Это обстоятельство не позволяет по наземным наблюдениям надежно определить вероятность облаков среднего или верхнего ярусов, поскольку они могут быть закрыты сплошной нижележащей облачностью. Поэтому приводимая нами статистическая информация является относительной.

Отмечалась достаточно высокая повторяемость пасмурного неба (10/10 баллов) – от 15 до 27% (см. рис. 1, б), что повлекло уменьшение соотношения наблюдаемого годового значения ПСС к теоретически возможной ПСС в отдельные годы до 41%. Увеличение общей и нижней облачности определило снижение ПСС в рассматриваемый период (см. рис. 1, в).

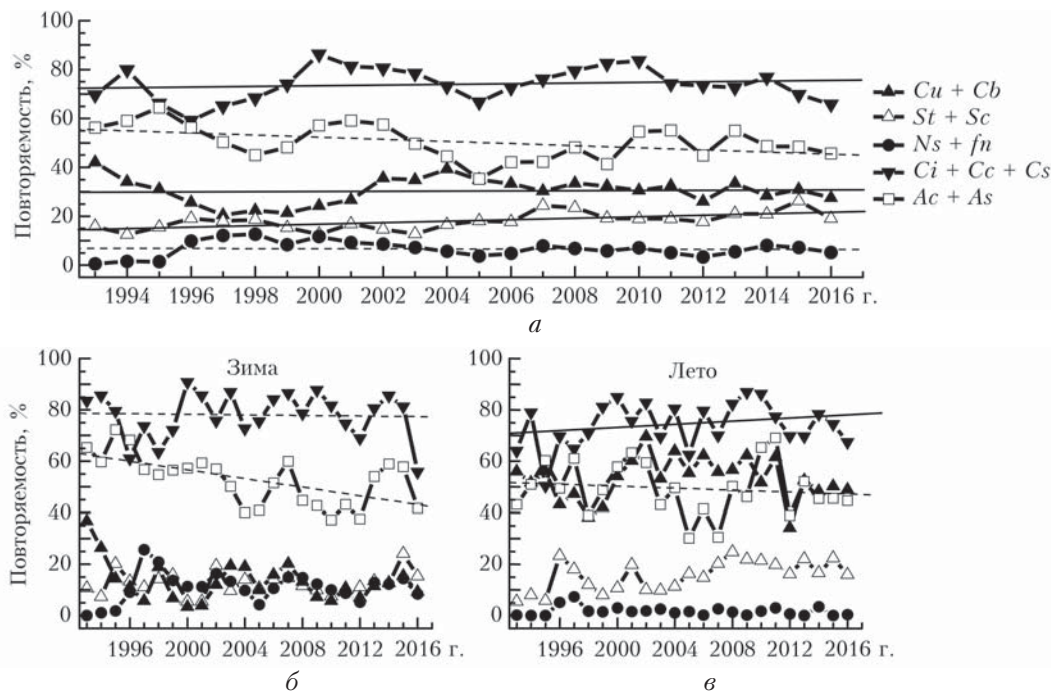


Рис. 3. Изменение доли разных форм облачности (в процентах от общего числа наблюдений с наличием облаков) в дневное время в г. Томске

На рис. 4, а показано многолетнее изменение ПСС в Томске по данным МЦД. Видим, что рост ПСС наблюдался до 1989 г., а с 1999 г. наметилась противоположная тенденция. Для сравнения: результаты исследований [5] показали, что к региональным климатическим изменениям в Москве можно отнести увеличение ПСС (1955–2014 гг.).

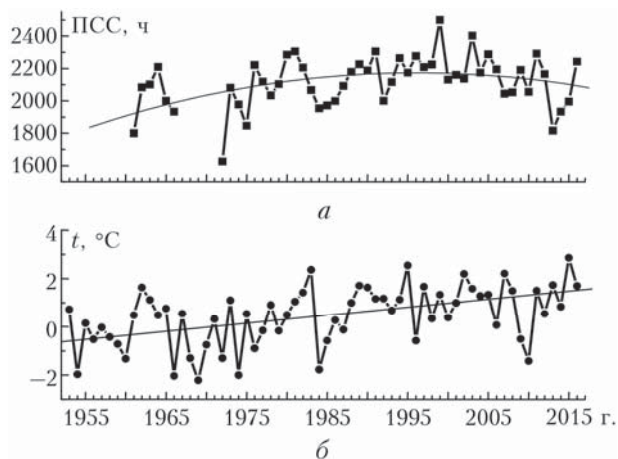


Рис. 4. Многолетние изменения ПСС и температуры в г. Томске по данным МЦД

Продолжительность солнечного сияния в г. Томске в современный период увеличилась относительно исторического (табл. 3). Средние годовые значения ПСС за 1996–2016 гг. больше исторической нормы на 5%. В то же время существенного роста ПСС относительно текущего базового периода не наблюдается. Отметим, что при общей тенденции увеличения ПСС по сравнению с историческим периодом практически во все месяцы прослеживается уменьшение ПСС в июле и августе ($d_1 = -2\%$, $d_2 = -3 \dots -6\%$).

Солнечная радиация влияет на формирование температурного режима. Авторы [17] при сопоставлении аномалий температуры, рассчитанных для двух периодов 1991–2000 и 2001–2010 гг., отмечают существенное замедление интенсивности потепления

над территорией Сибири независимо от сезона. В [18] утверждается, что в Западной Сибири в течение 1985–2014 гг. в зимние месяцы процесс потепления сменился процессом похолодания. На рис. 4, б показано многолетнее изменение приземной температуры в г. Томске по данным МЦД. С 1953 по 2016 г. температура растет (относительная величина тренда 65%). В рассматриваемый период (1996–2016 гг.) практически во все месяцы имеет место рост температуры относительно текущего базового периода (табл. 3), который явно замедлился по сравнению с историческим периодом. Отметим, что июнь стал теплее ($d_2 = 5,1\%$), а август холоднее ($d_2 = -0,2\%$). Наибольший вклад в понижение интенсивности потепления внесли январь ($d_2 = -9,6\%$) и октябрь ($d_2 = -8,5\%$).

Глобальное потепление атмосферы в различных регионах проявляется по-разному. В районе Томска максимальные отклонения температуры от исторического периода зафиксированы в апреле ($d_1 = 251,4\%$) и в октябре ($d_1 = 164,2\%$) (табл. 3), что обусловлено изменением циркуляционных процессов, особенно в переходные периоды. Средняя температура воздуха апреля до 2007 г. была как положительная, так и отрицательная, а начиная с 2007 г. только положительная. Средняя температура октября в 1996–2016 гг. повысилась на 1 °C.

За 1996–2016 гг. в Томске интенсивность потепления в зимний период (декабрь–февраль) составила 0,1, в весенний (март–май) – 0,55, а в летний (июнь–июль) – 0,5 °C/10 лет. Особо отметим осень (сентябрь–ноябрь): с 1996 по 2005 г. интенсивность тренда составляла 3 °C/10 лет, а в 2006–2016 гг. наметился отрицательный тренд изменения температуры (–3 °C/10 лет). Полученный результат неплохо согласуется с результатами исследования линейных трендов среднесезонной приземной температуры на территории Сибири [19]. Согласно [19] в районе Томска за период 2006–2015 гг. интенсивность линейного тренда изменения среднесезонной приземной температуры составила 0,0±0,2 °C/10 лет во все сезоны, кроме осени, когда преобладал отрицательный тренд (–0,4 ... –0,2 °C/10 лет).

Таблица 3

Средние месячные и годовые значения ПСС (ч) и температуры (°C) за разные периоды осреднения													
Период	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
ПСС													
1961–1990 гг.	57	104	169	224	258	314	316	256	173	87	52	41	2064
1981–2010 гг.	71	113	188	226	289	319	321	269	165	100	60	48	2170
1996–2016 гг.	86	115	184	232	287	319	311	252	173	97	60	49	2166
$d_1, \%$	52	11	9	3	11	2	–2	–2	0	12	16	21	5
$d_2, \%$	21	1	–2	3	–1	0	–3	–6	5	–3	0	3	0
Температура													
1961–1990 гг.	–17,8	–16,9	–8,1	0,7	9	15,8	18,7	15,2	9,2	0,6	–8,9	–15,6	0,2
1981–2010 гг.	–17,1	–14,7	–7,0	1,3	10,4	15,9	18,7	15,7	9,0	1,7	–8,3	–15,1	0,9
1996–2016 гг.	–18,8	–14,5	–6,2	2,5	10,6	16,7	18,8	15,6	9,2	1,6	–8,2	–14,8	1,0
$d_1, \%$	–5,3	14,1	23,5	251,4	17,4	5,7	0,4	3,1	–0,4	164,2	7,7	5,0	593,1
$d_2, \%$	–9,6	1,1	10,5	97,0	2,0	5,1	0,4	–0,2	2,5	–8,5	0,8	1,5	18,4

Заключение

В работе проведены исследования изменения суммарной солнечной радиации, облачности, продолжительности солнечного сияния и приземной температуры воздуха за период 1996–2016 гг. в Томске. В итоге получено, что сокращается продолжительность солнечного сияния, уменьшается суммарная солнечная радиация и в то же время увеличиваются приземная температура воздуха, количество общей и нижней облачности. В общей облачности наблюдаются тенденции увеличения вклада облаков верхнего яруса и уменьшения — облаков среднего яруса. Замедлился рост температуры. Июнь стал теплее, январь и октябрь холоднее относительно текущего базового периода.

Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 17-17-01095).

1. URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs> (last access: 20.09.2017).
2. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* / S. Solomon, Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.) New York: Cambridge University Press, 2007. 996 p.
3. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*. М.: Росгидромет, 2014. Т. 1. 59 с.
4. *Хлебникова Е.И., Махоткина Е.Л., Салль И.А.* Облачность и радиационный режим на территории России: наблюдаемые климатические изменения // *Тр. ГГО*. 2014. Вып. 573. С. 65–91.
5. *Горбаренко Е.В.* Климатические изменения радиационных параметров атмосферы по данным наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ // *Метеорол. и гидрол.* 2016. № 12. С. 5–17.
6. *Оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* М.: Росгидромет, 2008. Т. 1. 28 с.
7. *Хлебникова Е.И., Салль И.А.* Особенности климатических изменений облачного покрова над территорией России // *Метеорол. и гидрол.* 2009. № 7. С. 5–13.
8. *Chernokulsky A.V., Bulygina O.N., Mokhov I.I.* Recent variations of cloudiness over Russia from surface daytime observations // *Environ. Res. Lett.* 2011. V. 6. P. 035202. DOI:10.1088/1748-9326/6/3/035202.
9. *Белан Б.Д., Складнева Т.К.* Радиационный режим в районе г. Томска в 1995–2005 гг. // *Оптика атмосф. и океана*. 2007. Т. 20, № 1. С. 62–67.
10. *Белан Б.Д., Ивлев Г.А., Складнева Т.К.* Многолетний мониторинг суммарной и ультрафиолетовой (В) радиации в районе г. Томска // *Оптика атмосф. и океана*. 2012. Т. 25, № 1. С. 61–65; *Belan B.D., Ivlev G.A., Sklyadneva T.K.* Long-term monitoring of total and UV-B radiation in Tomsk // *Atmos. Ocean. Opt.* 2012. V. 25, N 4. P. 281–285.
11. *Складнева Т.К., Журавлева Т.Б.* Повторяемость основных форм облачности над г. Томском: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // *Оптика атмосф. и океана*. 2008. Т. 21, № 1. С. 65–68.
12. *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.
13. *Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Рассказчикова Т.М.* Аномально теплое лето 2016 г. в Западной Сибири? // *Тез. докл. XXIII Рабочей группы «Аэрозоли Сибири»*, 29 ноября – 2 декабря 2016 г. Томск: Изд-во ИОА СО РАН, 2016. С. 58.
14. *Научно-прикладной справочник по климату СССР*. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. Вып. 20. 375 с.
15. *Хлебникова Е.И., Салль И.А.* Региональные климатические изменения основных составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России // *Тр. ГГО*. 2014. Вып. 570. С. 5–33.
16. *Сакерин С.М., Горбаренко Е.В., Кабанов Д.М.* Особенности многолетней изменчивости аэрозольной оптической толщины атмосферы и оценки влияния различных факторов // *Оптика атмосф. и океана*. 2008. Т. 21, № 7. С. 625–631.
17. *Комаров В.С., Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В., Ильин С.Н.* Изменение климатов пограничного слоя атмосферы Сибири в период глобального потепления. Часть 1. Аномалии и тренды температуры воздуха // *Оптика атмосф. и океана*. 2010. Т. 23, № 11. С. 942–951.
18. *Харюткина Е.В., Логинов С.В., Ипполитов И.И.* Роль радиационных и циркуляционных факторов в изменении климата Западной Сибири в конце XX и начале XXI веков // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2016. Т. 52, № 6. С. 651–659.
19. *Комаров В.С., Ильин С.Н., Ломакина Н.Я., Лавриненко А.В.* Линейные тренды среднесезонной приземной температуры воздуха и современные тенденции изменения регионального климата Сибири // *Оптика атмосф. и океана*. 2017. Т. 30, № 1. С. 35–41.

T.K. Sklyadneva, T.M. Rasskazchikova, V.G. Arshinova, M.Yu. Arshinov. Changes in radiation and meteorological parameters of the atmosphere from observation data in Tomsk.

The results of the study of changes in the total solar radiation, cloudiness, sunshine duration, and surface air temperature in Tomsk for the period 1996–2016 are presented. It is shown that decrease in the total solar radiation and sunshine duration and, vice versa, increase in the surface air temperature and total and inferior cloud amount are observed. There is a tendency to increase in the contribution of upper tier clouds and decrease in that of middle layer clouds.