

АТМОСФЕРНАЯ РАДИАЦИЯ, ОПТИЧЕСКАЯ ПОГОДА И КЛИМАТ

УДК 551.521.11

Изменчивость продолжительности солнечного сияния в Томске за период 1961–2018 гг.

Т.К. Складнева, Б.Д. Белан*

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

Поступила в редакцию 13.09.2019 г.

В работе анализируются изменения продолжительности солнечного сияния (ПСС) в Томске за период 1961–2018 гг. и отдельно за 1961–1990 и 1981–2010 гг. с использованием информации об облачности. Установлено, что фактическое значение средней многолетней месячной ПСС колеблется от 44 ч в декабре до 317 ч в июне–июле. Анализ многолетнего хода ПСС показал, что с 1961 до 1989 г. наблюдался рост, а с 1999 г. — уменьшение ПСС, обусловленное ростом балла нижней облачности и высокой повторяемостью сплошной облачности. В настоящее время ПСС в Томске увеличилась относительно исторического периода 1961–1990 гг. Получены уравнения регрессии между ПСС и суммарной солнечной радиацией, измеренной на TOR-станции ИОА СО РАН в период 1996–2018 гг.

Ключевые слова: атмосфера, продолжительность, радиация, регрессия, солнечное сияние; *atmosphere, duration, radiation, regression, sunlight.*

Введение

Солнечная радиация является источником энергии почти всех природных процессов на Земле, одним из основных климатообразующих факторов и возобновляемым энергетическим ресурсом планеты [1–3]. Поэтому ведутся исследования притока солнечной радиации как по всему земному шару [4–7], так и в отдельных регионах [8–12]. В результате этих исследований установлены глобальные закономерности изменчивости радиационного баланса планеты и ее региональные особенности, требующие дальнейшего изучения. Особенно актуальным это стало в условиях изменяющегося климата [13, 14].

Для территории Томской области (ТО) в [15] сделаны оценки потенциальных гелиоэнергетических ресурсов на основе данных измерений на метеорологических и актинометрических станциях до 1970 г. Показано, что в ТО повторяемость ясного неба (0–2 балла) не превышала 10% с октября по март и 20–26% в остальные месяцы, а повторяемость пасмурного неба (8–10 баллов) составила 51–79%. Средняя продолжительность солнечного сияния (ПСС) изменялась от 1514 до 1846 ч, а действительная ПСС за год составила 35–41% от возможной (продолжительность солнечного сияния — это период суток, в течение которого Солнце находится над горизонтом, не закрыто облаками, туманом, мглой и т.д. и его прямые лучи освещают поверхность земли).

В годовом ходе максимум месячных сумм суммарной радиации при ясном небе приходится

на июнь, когда отмечается наибольшая высота Солнца. На основе полученных результатов в ТО выделено три зоны с различными потенциальными гелиоэнергетическими ресурсами: зона I с ресурсом 1100...1200 кВт·ч/м², зона II — 1000...1100 кВт·ч/м², зона III — 900...1000 кВт·ч/м². В последние десятилетия наметились новые тенденции изменений радиационных параметров атмосферы, поэтому целесообразно проводить исследования с использованием более поздних данных.

Томская область располагается в умеренных широтах Северного полушария, в непосредственной близости к географическому центру Азии. Данное обстоятельство оказывает определяющее влияние на формирование ее климата. Климат ТО — переходный от умеренно-континентального Восточно-Европейской равнины к резко-континентальному Восточной Сибири. Большой протяженностью ТО с юга на север обусловлены значительные изменения во времени восхода, захода Солнца и в длительности светового дня в течение года. С 1991 г. количество актинометрических станций на этой территории существенно сократилось. Однако на многих оставшихся метеорологических станциях ведутся наблюдения за ПСС. Наличие связи между ПСС и солнечной радиацией [16] позволяет использовать эти данные для расчета сумм суммарной радиации с учетом широты места, склонения Солнца и облачности в районах, не обеспеченных актинометрическими наблюдениями.

В настоящей работе проведен анализ изменения продолжительности солнечного сияния в Томске с 1961 по 2018 г. и получены уравнения регрессии между ПСС и суммарной солнечной радиацией (Q).

* Татьяна Константиновна Складнева (tatyana@iao.ru); Борис Денисович Белан (bbd@iao.ru).

Исходные данные

В работе использована информация из Мирового центра данных (<http://meteo.ru/data>) о продолжительности солнечного сияния за 1961–2018 гг., а также за периоды 1961–1990 и 1981–2010 гг., рекомендованные ВМО в качестве исторического и текущего базовых периодов для расчета «исторической» и «текущей» норм метеорологических параметров. Для анализа изменчивости ПСС привлекались данные об облачности, а для регрессионного анализа — данные о суммарной солнечной радиации, полученные на TOR-станции ИОА СО РАН [17] в 1996–2018 гг.

Важно отметить, что в реальных условиях изменение режима облачности и прозрачности атмосферы (помимо астрономических факторов) влияет на ПСС. Поэтому по измеренным значениям ПСС рассчитывается его относительная продолжительность — отношение наблюдаемой продолжительности к возможной, выраженное в процентах. Максимальная ПСС, определяемая астрономическими факторами (склонением Солнца, его высотой над горизонтом и географической широтой места наблюдения), характеризует его возможную продолжительность и является показателем солнечного сияния для любого региона. В табл. 1 приведены значения возможной ПСС в Томске на 15-е число каждого месяца, которые будут использоваться при анализе. В течение года возможная месячная ПСС

Результаты

Результаты обработки данных измерений ПСС для различных временных периодов представлены в табл. 2, из которой следует, что значение средней многолетней месячной ПСС колеблется от 44 ч в декабре до 317 ч в июне-июле. Самый пасмурный месяц в году в Томске — декабрь: среднее значение относительной ПСС — 21%; минимальная ПСС составила 10 ч в 1998 г. и 13 ч в 2015 г.; наибольшая ПСС отмечена в 2005 г. — 109 ч. Следующим в рейтинге пасмурных месяцев стоит январь: минимальная ПСС — 19 ч в 1966 г., максимальная — 151 ч в 2016 г., относительная — 30%. Коэффициент вариации значений ПСС в декабре-январе ($42 \div 44\%$) — максимальный в году. Самый солнечный период в Томске — с апреля по август. В это время средние значения ПСС достигают $53 \div 60\%$, а максимальные — $75 \div 80\%$ от возможной. Для этого периода максимальная ПСС (433 ч) зарегистрирована в июле 1981 г., а минимальная (318 ч) — в апреле 1990 г.

Облачность является основным фактором, влияющим на межгодовые изменения ПСС. На рис. 1 показаны многолетние изменения годовых значений ПСС и облачности.

Из рис. 1 видно, что до 1989 г. наблюдался рост ПСС, а с 1999 г. наметилась противоположная тенденция. ПСС в Томске в настоящее время увеличилась относительно исторического периода. Средние годовые значения ПСС за 1996–2018 гг. больше ис-

Таблица 1

Возможная продолжительность солнечного сияния в Томске (56°29'52" с.ш., 84°58'28" в.д.)

Характеристика	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Возможная ПСС	7 ч	9 ч	11 ч	14 ч	16 ч	17 ч	17 ч	15 ч	12 ч	10 ч	8 ч	6 ч
Восход	28 мин	31 мин	43 мин	10 мин	21 мин	42 мин	10 мин	13 мин	51 мин	10 мин	14 мин	53 мин
Заход	09:46	08:49	07:38	06:16	05:07	04:30	04:51	05:49	06:51	07:51	08:58	09:49
Высота Солнца, град	17:14	18:21	19:22	20:26	21:28	22:12	22:02	21:03	19:42	18:22	17:13	16:42
	12,8	20,9	31,8	43,7	52,8	57,3	55,6	48,2	37,1	25,6	15,6	10,7

изменяется от 214 ч в декабре до 525 ч в июне — июле. Хотя основной фактор, определяющий годовой ход ПСС, — продолжительность светового дня, особенности фактического хода в значительной степени обусловлены режимом облачности.

Ранее было показано [18], что в Томске число случаев ясного неба в дневные часы не превышает 9%, в остальных случаях наблюдались облачные образования. На долю облаков нижнего яруса приходится 56% случаев, среднего — 49%, верхнего — 74%. Независимо от сезона, наиболее распространены облака среднего ($As + Ac$) и верхнего ($Si + Cs + Cc$) ярусов. Частота появления остальных форм облачности имеет выраженный сезонный ход: максимум повторяемости облаков вертикального развития (54%) приходится на летний период, когда преобладают конвективные процессы, тогда как облака типа ($St + Sc$) чаще всего наблюдаются осенью (27%). В сентябре — ноябре повторяемость сплошной облачности нижнего яруса составляет 31%.

исторической нормы на 5%. В то же время существенного роста ПСС относительно текущего базового периода не наблюдается [18]. На рисунке также приведены среднегодовые значения балла нижней облачности с 1996 по 2018 г. Тенденции изменения этих параметров противоположны. Уменьшение ПСС с 1999 г. обусловлено ростом балла нижней облачности и высокой повторяемостью сплошной облачности (до 30%). Такой же эффект отмечен и в других работах [19–21].

Рост повторяемости облачности, возможно, связан с наличием обратных связей, которые постулирует М. Кулмала с коллегами [22–24]. Суть постулата состоит в том, что повышение концентрации CO_2 приводит к росту температуры и продуктивности растений, стимулируя эмиссию легколетучих органических соединений и повышая концентрацию облачных ядер конденсации и рост самой облачности. Частичным подтверждением этой гипотезы можно считать работу [25].

Статистические характеристики месячной продолжительности солнечного сияния в Томске

Характери- стика	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1961–2018 гг.													
ПСС, ч	69	108	180	226	272	317	317	256	170	93	55	44	2115
V, %	42	25	21	15	17	14	13	17	24	28	34	44	7
ПСС _{min} , ч (год)	19 (1966)	53 (2014)	102 (2001)	144 (1985)	167 (2013)	223 (1995)	194 (2016)	165 (1978)	79 (1992)	36 (1972)	27 (1966)	10 (1998)	1626 (1972)
ПСС _{max} , ч (год)	151 (2016)	166 (1996)	277 (1998)	318 (1990)	387 (1999)	433 (1981)	420 (1998)	334 (1995)	266 (2016)	153 (1981)	116 (1981)	109 (2005)	2500 (1999)
ПСС, %	30	41	49	53	54	60	60	55	44	29	22	21	47
ПСС _{min} , %	8	20	28	34	33	42	37	35	21	11	11	5	36
ПСС _{max} , %	65	63	76	75	77	82	80	72	69	48	46	51	56
1961–1990 гг.													
ПСС, ч	57	104	169	224	258	314	316	256	173	87	52	41	2064
d, %	–17	–4	–6	–1	–5	–1	0	0	2	–7	–6	–9	–2
ПСС, %	25	39	46	53	51	60	60	55	45	27	21	19	46
Δ, %	–5	–2	–3	0	–3	–1	0	0	1	–2	–1	–2	–1
1981–2010 гг.													
ПСС, ч	71	113	188	226	289	319	321	269	165	100	60	48	2170
d, %	4	5	5	0	6	1	2	5	–3	7	9	8	3
ПСС, %	31	43	52	53	57	61	61	58	43	31	24	22	48
Δ, %	1	2	2	0	3	0	1	3	–1	2	2	2	1
1996–2018 гг.													
K	0,86	0,72	0,78	0,82	0,84	0,81	0,76	0,83	0,93	0,76	0,71	0,81	0,55

Примечание. d – относительная разность значений ПСС за отдельные периоды (1961–1990; 1981–2010 гг.) и полный период (1961–2018 гг.) наблюдений по отношению к ПСС полного периода; Δ – соответствующая разница между ПСС отдельных и полного периодов; V – коэффициент вариации; K – коэффициент корреляции между значениями ПСС и месячными суммами суммарной радиации.

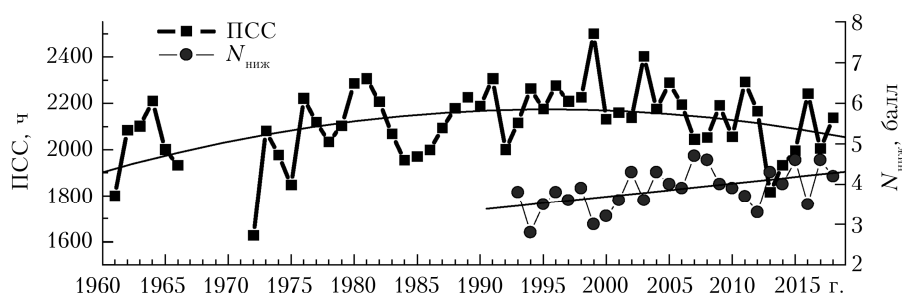


Рис. 1. Многолетние изменения балла нижней облачности и годовых значений ПСС

Наличие корреляционной связи между ПСС и солнечной радиацией позволяет использовать данные ПСС для расчета суммарной солнечной радиации. Ранее [16] были разработаны методы оценки месячных сумм суммарной радиации по данным наблюдений 1960–1980-х гг. с использованием абсолютной ПСС и учетом высоты полуденного солнца. Авторы [15] получили уравнение множественной регрессии трех переменных, связывающих годовые суммы суммарной радиации, широту места и годовые суммы ПСС; погрешность расчета годовых сумм суммарной радиации в ТО не превышала 3–4%. Так как в последние десятилетия наметились новые тенденции изменений радиационных и метеорологических параметров атмосферы [26–28], мы сопоставили месячные суммы суммарной радиации, измеренной на ТОР-станции ИОА СО РАН, и ПСС для Томска за 1996–2018 гг. (23 случая). Выявлена количественная связь между параметрами для этого периода (табл. 3). На рис. 2 для примера показана

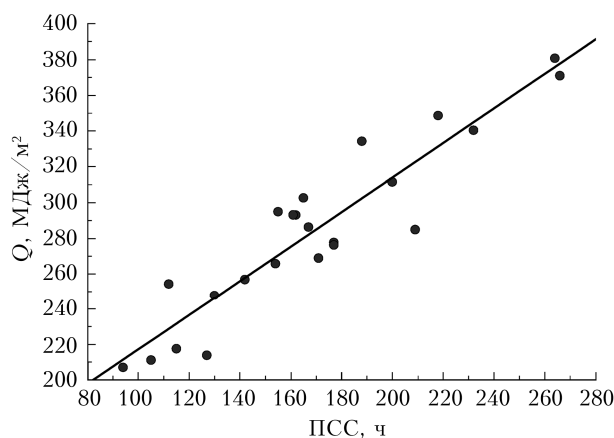


Рис. 2. Зависимость между ПСС и месячными суммами суммарной радиации

зависимость между ПСС и месячными суммами суммарной радиации в сентябре.

Таблица 3

Коэффициенты в уравнении регрессии $Q = a \cdot \text{ПСС} + b$ для месячных значений Q и ПСС												
Коэффициент	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
a	0,402	0,455	0,689	1,230	1,260	1,085	0,847	1,028	0,967	0,688	0,519	0,342
b	45,37	104,55	191,04	153,22	201,85	273,74	335,46	208,97	120,66	75,85	41,24	30,09
R^2	0,861	0,722	0,784	0,820	0,844	0,807	0,756	0,829	0,929	0,763	0,708	0,808

Примечание. Коэффициент a показывает, насколько увеличивается приход суммарной радиации при изменении ПСС на единицу времени; b – месячная сумма суммарной радиации при пасмурном небе (т.е. сумма рассеянной радиации).

Таблица 4

Сравнение измеренных и рассчитанных значений месячных сумм суммарной солнечной радиации												
Характеристика	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1996–2018 гг.												
Q_1	79,7	156,7	319,2	435,7	556,0	621,0	599,0	469,6	284,2	143,2	71,8	47,4
Q_2	56,7	138,2	281,1	422,5	548,0	622,1	596,7	479,3	315,1	170,3	70,3	27,7
$d, \%$	29	12	12	3	1	0	0	–2	–11	–19	2	42
2018 г.												
Q_1	90,4	164,0	324,3	382,9	415,5	582,9	606,7	491,5	268,9	152,3	69,0	66,7
Q_2	67,8	147,3	284,4	366,8	432,4	613,8	632,3	504,4	316,9	185,9	59,5	51,4
$d, \%$	25	10	12	4	–4	–5	–4	–3	–18	–22	14	23

Примечание. $d = (Q_1 - Q_2) / Q_1 \cdot 100\%$, Q_1 – измеренные данные, Q_2 – рассчитанные данные.

В [29] получены уравнения регрессии с коэффициентами a и b для суточных и месячных значений Q и ПСС для Москвы по данным наблюдений Метеорологической обсерватории МГУ с 1955 по 2017 г. Кроме того, была получена формула для расчета месячной суммы суммарной интегральной радиации в любом месте и в любое время года, с учетом зависимости коэффициентов a и b от высоты Солнца в истинный полдень и в предположении, что средние характеристики облачности мало изменяются в пространстве:

$$Q_{\text{мес}} = (\sin h + 0,37) \cdot \text{ПСС} + 373,3 \cdot \sin h - 55,$$

где ПСС – среднее значение ПСС за рассматриваемый период; h – полуденная высота Солнца 15-го числа месяца.

Сравнение наблюдаемых и рассчитанных по этой формуле значений суммарной радиации за период 1996–2018 гг. для Томска показало, что различия между ними с апреля по август меньше 5%, а в зимние месяцы увеличиваются до 40% (табл. 4).

Если для расчета суммарной радиации использовать соотношения для каждого конкретного месяца, то различия в зимние месяцы уменьшаются и составляют от 10 до 25%. В табл. 4 для примера приведены расчеты для 2018 г. Таким образом, в нашем регионе предложенную в [29] формулу можно использовать только в весенне-летний период, когда повторяемость пасмурной погоды незначительна, а вероятность малооблачной погоды велика.

Заключение

Проведенное исследование показало, что возможная месячная ПСС в ТО может изменяться от 214 ч в декабре до 525 ч в июне–июле. Фактическое значение средней многолетней месячной ПСС колеблет-

ся от 44 ч в декабре до 317 ч в июне–июле. Коэффициент вариации значений ПСС в декабре–январе (42 ÷ 44%) – максимальный в году. Самый солнечный период в Томске – с апреля по август. В это время средние значения ПСС достигают 53 ÷ 60%, а максимальные – 75 ÷ 80% от возможной. Для этого периода максимальная ПСС (433 ч) зарегистрирована в июле 1981 г., а минимальная (318 ч) – в апреле 1990 г.

Анализ многолетнего хода ПСС показал, что с 1961 до 1989 г. наблюдался рост, а с 1999 г. началось уменьшение ПСС за счет увеличения количества облаков нижнего яруса и высокой повторяемостью сплошной облачности (до 30%).

Продолжительность солнечного сияния в Томске в настоящее время увеличилась относительно исторического периода. Средние годовые значения ПСС за 1996–2018 гг. больше исторической нормы на 5%.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 17-17-01095. Для выполнения гранта использовалась инфраструктура ИОА СО РАН, созданная и эксплуатируемая по госзаданию № АААА-А17-117021310142-5, включая ЦКП «Атмосфера».

1. *Lean J.* The Sun's variable radiation and its relevance for Earth // *Ann. Rev. Astrophys.* 1997. V. 35, N 1. P. 33–67.
2. *Le Moue J.-L., Blanter E., Shnirman M., Courtillot V.* Evidence for solar forcing in variability of temperatures and pressures in Europe // *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.* 2009. V. 71, N 12. P. 1309–1321.
3. *Coddington O., Lean J.L., Pilewskie P., Snow M., Lindholm D.* A solar irradiance climate data record // *Bull. Am. Math. Soc.* 2016. V. 97, N 7. P. 1265–1282.
4. *Kato S.* Interannual variability of the global radiation budget // *J. Climate.* 2009. V. 22, N 18. P. 4893–4907.
5. *Kodera K., Thiéblemont R., Yukimoto S., Matthes K.* How can we understand the global distribution of the solar cycle signal on the Earth's surface? // *Atmos. Chem. Phys.* 2016. V. 16, N 20. P. 12925–12944.

6. Soon W., Legates D.R. Solar irradiance modulation of Equator-to-Pole (Arctic) temperature gradients: Empirical evidence for climate variation on multi-decadal time-scales // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2013. V. 93. P. 45–56.
7. Bakirci K. Prediction of global solar radiation and comparison with satellite data // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2017. V. 152. P. 41–49.
8. Хлебникова Е.И., Саль И.А. Региональные климатические изменения основных составляющих радиационного баланса земной поверхности на территории России // Тр. ГГО. 2014. Вып. 570. С.34–49.
9. Махоткина Е.Л., Плахина И.Н. Мониторинг прозрачности атмосферы: результаты измерений за последние десятилетия // Тр. ГГО. 2014. Вып. 572. С. 57–88.
10. Тимофеев Ю.М., Шульгина Е.М. Российские исследования в области атмосферной радиации в 2011–2014 гг. // Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана. 2016. Т. 52, № 5, С. 529–545.
11. de Bock V., de Backer H., van Malderen R., Mangold A., Delcloo A. Relations between erythemal UV dose, global solar radiation, total ozone column and aerosol optical depth at Uccle, Belgium // Atmos. Chem. Phys. 2014. V. 14, N 22. P. 12251–12270.
12. Čížková K., Láška K., Metelka L., Stanek M. Reconstruction and analysis of erythemal UV radiation time series from Hradec Králové (Czech Republic) over the past 50 years // Atmos. Chem. Phys. 2018. V. 18, N 3. P. 1805–1818.
13. Pittcock B. Can solar variations explain variations in the Earth's climate? // Clim. Change. 2009. V. 96, N 4. P. 483–487.
14. Головки В.А. Энергетические аспекты изменения климата Земли: взгляд из космоса // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 5. С. 140–154.
15. Кадастр возможностей // Б.В. Лукутин (ред.). Томск: Изд-во НТЛ. 2002. 280 с.
16. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиацию. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 232 с.
17. Давыдов Д.К., Белан Б.Д., Антохин П.Н., Антохина О.Ю., Антонович В.В., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Ахлестин А.Ю., Белан С.Б., Дудорова Н.В., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Складнева Т.К., Толмачев Г.Н., Фазлиев А.З., Фофонов А.В. Мониторинг атмосферных параметров: 25 лет ТОР-станции ИОА СО РАН // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 10. С. 845–853.
18. Складнева Т.К., Рассказчикова Т.М., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю. Изменение радиационных и метеорологических параметров атмосферы по данным наблюдений в Томске // Оптика атмосф. и океана. 2018. Т. 31, № 4. С. 288–293.
19. Xia X. Significant decreasing cloud cover during 1954–2005 due to more clear-sky days and less overcast days in China and its relation to aerosol // Ann. Geophys. 2012. V. 30, N 3. P. 573–582.
20. Mateos D., di Sarra A., Meloni D., di Biagio C., Sferlazzo D.M. Experimental determination of cloud influence on the spectral UV irradiance and implications for biological effects // J. Atmos. Sol.-Terr. Phys. 2011. V. 73, N 13. P. 1739–1746.
21. Adam M.E.-N., Ahmed E.A. Comparative analysis of cloud effects on ultraviolet-B and broadband solar radiation: Dependence on cloud amount and solar zenith angle // Atmos. Res. 2016. V. 168. P. 149–157.
22. Kulmala M., Suni T., Lehtinen K.E.J., Dal Maso M., Boy M., Reissell A., Rannik Ü., Aalto P., Keronen P., Hakola H., Bäck J., Hoffmann T., Vesala T., Hari P. A new feedback mechanism linking forests, aerosols, and climate // Atmos. Chem. Phys. 2004. V. 4, N 2. P. 557–562.
23. Kulmala M., Nieminen T., Chellapermal R., Makkonen R., Bäck J., Kerminen V.-M. Climate feedbacks linking the increasing atmospheric CO₂ concentration, BVOC emissions, aerosols and clouds in forest ecosystems / Niinemets U., Monson R.K. (eds.) // Biology, controls and model tree volatile organic compound emissions. Springer, Dordrecht, 2010. P. 489–508.
24. Kulmala M., Nieminen T., Nikandrova A., Lehtipalo K., Manninen H.E., Kajos M.K., Kolari P., Lauri A., Petäjä T., Krejci R., Hansson H.-C., Swietlicki E., Lindroth A., Christensen T.R., Arneth A., Hari P., Bäck J., Vesala T., Kerminen V.-M. CO₂-induced terrestrial feedback mechanism: From carbon sink to aerosol source and back // Boreal Environ. Res. 2014. V. 19, suppl. B. P. 122–131.
25. Ezhova E., Ylivinkka I., Kuusk J., Komsaare K., Vana M., Krasnova A., Noe S., Arshinov M., Belan B., Park S., Lavric J., Heimann M., Kolari P., Petäjä T., Hari P., Vesälä T., Bäck J., Rannik U., Kerminen V.-M., Kulmala M. Direct effect of aerosols on solar radiation and gross primary production in boreal forest // Atmos. Chem. Phys. 2018. V. 18, N 24. P. 17863–17881.
26. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. Т. 1. 59 с.
27. Хлебникова Е.И., Махоткина Е.Л., Саль И.А. Облачность и радиационный режим на территории России: наблюдаемые климатические изменения // Тр. ГГО. 2014. Вып. 573. С. 65–91.
28. Горбаренко Е.В. Климатические изменения радиационных параметров атмосферы по данным наблюдений в Метеорологической обсерватории МГУ // Метеорол. и гидрол. 2016. № 12. С. 5–17.
29. Горбаренко Е.В. Изменчивость солнечного сияния в Москве за период 1955–2017 гг. // Метеорол. и гидрол. 2019. № 6. С. 24–36.

T.K. Sklyadneva, B.D. Belan. Variability of sunlight duration in Tomsk in 1961–2018.

Variations in the sunlight duration (SLD) in Tomsk are analyzed for the period from 1961 to 2018 and separately for 1961–1990 and 1981–2010. Data on clouds and total solar radiation obtained at the TOR-station of IAO SB RAS in 1996–2018 are used. The actual long-term monthly mean SLD ranges from 44 hours in December to 317 hours in June–July. The analysis of the long-term variation in SLD shows its increase from 1961 to 1989 and its decrease starting from 1999 caused by an increase in the lower cloud amount and high frequency of continuous clouds. SLD in Tomsk in the modern period has increased relative to the historical period. Regression equations between SLD and the total solar radiation (Q) are derived.