

21. Tunaev E.L., Gorbatenko V.P., Podnebesnykh N.V. (2017), "Features of cyclogenesis over the territory of Western Siberia for the period 1976-2015", *Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, no. 364. pp. 81-92.

22. Filandysheva, L.B. (2012), "Analysis of the dynamic variants of structure of the winter season of the year and their climatic characteristics in the South-West of the West Siberian Plain", *Bulletin of Tomsk State University*, Issue. 364, pp. 196-202.

23. Shklyayev V.A. and Shklyayeva L.S. (2011), "Estimation of changes in air temperature and precipitation in the Middle and Southern Urals in the 20th century", *Bulletin of the Chelyabinsk State University*, Issue. 5, no. 5 (220). pp. 61-69.

24. Climate Prediction Center. Access mode: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov> (Accessed 25 April 2016).

Поступила в редакцию: 28.04.2018

Сведения об авторе

Литвинова Ольга Сергеевна

кандидат географических наук,
доцент кафедры географии, регионоведения и
туризма, Новосибирский государственный
педагогический университет;
Россия, 630126, Новосибирск,
ул. Вилуйская, 28

About the author

Olga S. Litvinova

Candidate of Geographical Sciences,
Associate Professor, Novosibirsk State Pedagogical
University;
28, Viluyskaya st., Novosibirsk, 630126, Russia

e-mail: olg.litwino2011@yandex.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Литвинова О.С. Макроциркуляционные условия зимнего сезона юго-востока Западной Сибири // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 67–77. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77

Please cite this article in English as:

Litvinova O.S. Macrocirculation conditions of the winter season in the south-east of Western Siberia// Geographical bulletin. 2018. №4(47). P. 67–77. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-67-77

УДК 551.582

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-77-90

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ СОЛНЕЧНОГО СИЯНИЯ В ЛЕСНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Юлия Александровна Мишенина

e-mail jaselezneva29@gmail.com

Томский государственный университет, Томск

Владимир Вениаминович Севастьянов

SPIN-код: 6232-2079, Author ID: 154809

e-mail: vvs187@mail.ru

Томский государственный университет, Томск

Рассматривается пространственная и временная изменчивость показателей продолжительности солнечного сияния в лесной зоне Западно-Сибирской равнины. Лесная зона в Западной Сибири располагается между 56 и 66 °с.ш. Эта территория интенсивно осваивается. В работе использованы результаты многолетних наблюдений за продолжительностью солнечного сияния на 33 метеорологических станциях, расположенных в различных частях лесной зоны. В южной части лесной зоны наблюдается до 2000 ч солнечного сияния за год. На севере эта величина составляет

лишь 1600 ч. Существенно изменяются с широтой местности число пасмурных дней и отношение фактической продолжительности солнечного сияния к возможной. Отмечены значимые тесные корреляционные связи месячных и годовых показателей продолжительности солнечного сияния от географической широты местности. Результаты многолетних наблюдений показали, что увеличение широты местности на один градус соответствует убыли годовых сумм продолжительности солнечного сияния на 40 ч, уменьшению отношения фактических сумм часов солнечного сияния к возможным на один процент и увеличению на семь дней количества пасмурных дней. Это связано с изменениями продолжительности светового дня и увеличением количества облаков в северном направлении. Полученные материалы могут быть использованы для оценки световых, гелиоэнергетических ресурсов и радиационного баланса лесной зоны Западной Сибири.

Ключевые слова: солнечная радиация, Западная Сибирь, лесная зона, продолжительность солнечного сияния.

SUNSHINE DURATION IN THE FOREST ZONE OF THE WEST SIBERIAN PLAIN

Yulia A. Mishenina

e-mail: jaselezneva29@gmail.com

Tomsk State University, Tomsk

Vladimir V. Sevastyanov

SPIN-code: 6232-2079, Author ID: 154809

e-mail: vvs187@mail.ru

Tomsk State University, Tomsk

The radiation regime of the West Siberian Plain has been little studied, owing to a sparse network of actinometric stations. The forest zone is situated between 56 and 66°N. The territory is being intensively developed. We used data of long-term observations of sunshine duration from 36 meteorological stations in different parts of the zone. In its southern part, 2,000 sunshine hours per year is observed. In the northern part, the value is only 1,600 hours. The number of misty days and the ratio of actual to expected sunshine duration considerably vary with latitude. A significantly close correlation between the monthly and annual sunshine duration values and geographic latitude is registered. According to the results of observations, an increase of latitude by 1 degree corresponds to a decrease in the annual sunshine duration by 40 hours; at the same time, the ratio of actual to expected sunshine duration decreases by 1%, while the number of misty days increases by 7 days. These results are explained by changes in the length of daylight at different latitudes and an increase of cloud cover to the north. In general, a small increase in the sunshine duration is observed over the territory of the forest zone in the period spanning 60 years. However, as a result of the peculiarities of atmospheric circulation, there is a tendency for a decrease in sunshine duration in the eastern part. Apparently, this is due to the weakening intensity and decreasing frequency of anticyclonal types of weather during the 60-year period. Additionally, long-term trends were calculated for two periods. The first is a 'dimming period' from 1958 to 1985 with a negative trend, and the second is a 'brightness period' from 1985 to 2013 with a positive trend. The research can be used to assess the potential for solar energy resources and the radiation balance in the forest zone of the West Siberian Plain.

Keywords: solar radiation, Western Siberia, forest zone, sunshine duration, cloudiness.

Введение

В России, как и в других странах, существует огромная потребность изучения составляющих радиационного баланса на малоизученных территориях лесной зоны Западной Сибири. Это связано с проблемами изучения современных изменений климата и его воздействием на природу, а также с внедрением энергосберегающих промышленных технологий и ускоренного развития экологически безопасных энергоресурсов. Подобные исследования достаточно интенсивно проводятся в различных регионах в Германии, Швеции, Испании, Дании, Финляндии и других странах [20–24].

Западно-Сибирская равнина представляет собой обширный регион с отчетливым проявлением широтного физико-географического деления на зоны и провинции. Смена природных зон определяется главным образом пространственным изменением показателей тепла и влаги. На территории Западной Сибири географические исследования, в том числе гидрометеорологические, проводятся достаточно регулярно. Выполнены крупные обобщения исследований климата Западной

Сибири в монографиях, атласах [5; 12; 14; 16]. Радиационный режим Западно-Сибирской равнины изучен относительно мало в связи с крайне редкой сетью актинометрических станций [2; 8; 10; 12; 14]. В то же время известно, что режим солнечной радиации является важнейшей характеристикой для всех проявлений жизни на Земле.

В работе рассматриваются характеристики режима прихода солнечной радиации в лесной зоне Западной Сибири, располагающейся между 56–66,5° с.ш. [8]. На этой территории сеть актинометрических станций крайне мала. Поэтому большое внимание уделяется одному из важных показателей радиационного режима – продолжительности солнечного сияния (ПСС), наблюдения за которым проводятся на большом количестве станций.

Продолжительность солнечного сияния, как известно, является интегральным показателем, характеризующим приход солнечной радиации [14]. Продолжительность солнечного сияния зависит не только от широты местности, сезона года, но и режима облачности, который, в свою очередь, зависит от особенностей циркуляционных процессов. На метеорологических станциях облачность определяется визуально.

Степень изученности ПСС освещена в работах [2; 12]. Отмечается, что благодаря большей степени континентальности климата и меньшему числу пасмурных дней центральные районы Западной Сибири получают больше солнечного тепла и света, чем районы Европейской территории России, расположенные на той же широте.

Учет продолжительности солнечного сияния необходим, в частности, при застройке городов, планировании различных сельскохозяйственных работ, для оценки гелиоэнергетических ресурсов и других видов деятельности. Режим солнечной радиации является определяющим в функционировании, динамике преобразований природной системы. Поэтому очевидна актуальность получения более глубокого представления о режиме солнечной радиации в равнинной лесной зоне Западной Сибири. Интерес к лесной зоне обусловлен тем, что она занимает самую обширную площадь в центральной части исследуемого региона, и именно в ней ведется различная хозяйственная деятельность.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является режим солнечной радиации зоны лесов Западно-Сибирской равнины. Начиная с середины XX в. проблеме климатического районирования уделялось большое внимание как важному звену в физико-географических исследованиях. К этому времени уже был сформулирован закон географической зональности, который увязывает размещение географических зон с климатическими энергетическими факторами [4]. Приведенная в работе [8] схема природного районирования Западной Сибири позволяет выделить внутризональные различия природы, связанные как с условиями рельефа, так и климата. Она приведена на рис. 1.

Эта схема позволяет выделить внутри зон и подзон более мелкие единицы, которые названы географическими провинциями. Провинции обладают достаточной степенью внутренней однородности как в отношении природных условий, так и комплекса климатических ресурсов. В табл. 1 приведены физико-географические характеристики подзон и провинций лесной зоны Западно-Сибирской равнины [8], а также расположенные в них метеорологические станции и проводящие измерения ПСС.

Для исследуемой территории характерен умеренно-континентальный климат за счет атлантических воздушных масс [18]. Среднегодовые значения суммарной радиации на территории Западной Сибири варьируются от 3495 до 4506 МДж/м² [3]. Причем период времени до 1990 гг. характеризуется уменьшением годовых сумм суммарной и прямой солнечной радиации и увеличением рассеянной радиации [1; 6]. Более подробное представление о климате Западной Сибири дано в работах, посвященных классификации климатов и климатическому районированию. Эта проблема освещена в [4; 15] и др. Из последних работ по этой тематике важно отметить статью [19], авторы которой дают комплексное климатическое районирование Западной Сибири с учетом детальной проработки схемы классификации климатов, заключающейся в выборе значимых показателей и индексов тепла, влаги и их градаций.

В качестве исходного материала были использованы данные о ПСС по 33 метеорологическим станциям, входящим в лесную зону Западно-Сибирской равнины и соседних прилегающих территорий. Перечень станций приведен в табл. 1. Были использованы данные справочников по климату СССР [17], научно-прикладных справочников по климату СССР [11], а также информация о

ПСС из архивов ВНИИГМИ-МЦД с начала наблюдений по 2014 г. Период наблюдений на большинстве станций составляет более 80 лет [13].

Комплексный анализ всех исходных материалов позволил достаточно подробно исследовать пространственно-временное распределение ПСС, отношение фактического числа часов ПСС к возможной ПСС, число пасмурных дней и другие характеристики по территории лесной зоны Западной Сибири.

При анализе данных применялись методы статистической обработки результатов наблюдений. Методы корреляционного и регрессионного анализов использованы для оценки взаимных связей характеристик ПСС. Оценка значимости коэффициентов корреляции, определение статистической значимости различий средних значений ПСС за различные периоды наблюдений были проведены с помощью t-критерия Стьюдента при уровне значимости $\alpha=0,05$.

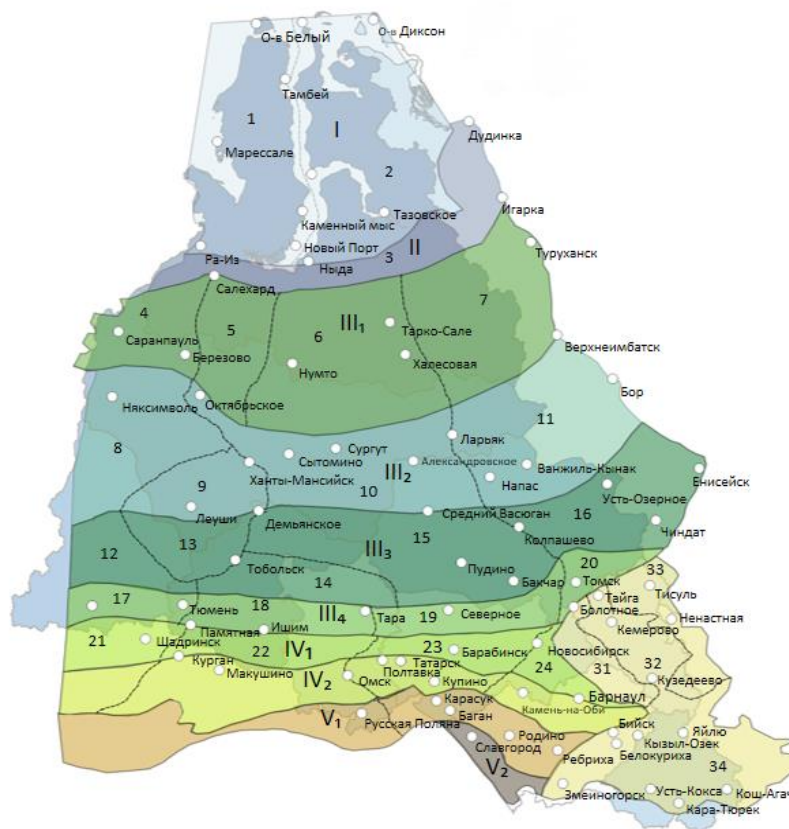


Рис. 1. Схема природного районирования Западно-Сибирской равнины [8]

Зоны и подзоны: I – зона тундры; II – зона лесотундры; III – зона лесов; III₁ – подзона северотаежных лесов; III₂ – подзона среднетаежных лесов; III₃ – подзона южнотаежных лесов; III₄ – подзона осиново-березовых лесов; IV – зона лесостепи; IV₁ – подзона северной лесостепи; IV₂ – подзона южной лесостепи; V – зона степи; V₁ – подзона разнотравно-типчачково-ковыльных степей; V₂ – подзона сухих типчачково-ковыльных степей. Географические провинции: 1 – полуостров Ямал; 2 – Гыданский полуостров; 3 – Обско-Тазовская лесотундра; 4 – левобережье Оби; 5 – Приказымье; 6 – Надым-Пуровская; 7 – Таз-Туруханская; 8 – Северо-Сосьвинская; 9 – Кондинское левобережье; 10 – Приобская; 11 – Вах-Тымская; 12 – Приуральская; 13 – Кондо-Тавдинская; 14 – Тоболо-Иртышская; 15 – Васюганье; 16 – Кеть-Чулымская; 17 – Затобольская; 18 – Ишимская; 19 – Барабинская; 20 – Заобская; 21 – Тобольская лесостепь; 22 – Ишимская лесостепь; 23 – Барабинская лесостепь; 24 – Приобская лесостепь; 25 – Прииртышская степь; 26 – Кулундинская степь; 31 – Салаирский кряж; 32 – Кузнецкая котловина; 33 – Кузнецкий Алатау и Горная Шория; 34 – Алтай. Границы: — — зон; --- — провинций

Таблица 1

Подзоны и провинции зоны леса Западной Сибири, метеорологические станции

<i>Подзона, провинции, станции</i>	<i>Характеристика подзон</i>
Северотаежные леса <i>Левобережье Оби</i> (Березово, Саранпауль); <i>Прикаzymье</i> (Салехард); <i>Надым-Пуровская</i> (Тарко-Сале, Халесовая, Нумто); <i>Таз-Туруханская</i> (Туруханск)	Занимает обширную территорию в северной части Западной Сибири. На севере ее граница проходит несколько южнее полярного круга. В предуральской части равнины и особенно на восточном склоне Уральских гор северная граница смещается на юг. Южная граница подзоны на равнине спускается до 61–62° с.ш. Общая ее протяженность с севера на юг составляет примерно 560 км
Среднетаежные леса <i>Северо-Сосьвинское</i> (Октябрьское, Нямсикволь); <i>Кондинское левобережье</i> (Ханты-Мансийск, Леуши); <i>Приобская</i> (Ларьяк, Александровское, Средний Васюган, Сургут, Сытомино); <i>Вах-Тымская</i> (Верхнеимбатское, Напас, Важиль-Кынак)	Протягивается от Уральских гор до Средне-Сибирского плоскогорья между 59 и 62° с.ш. (более 300 км). На востоке и западе она значительно отклоняется к северу, а в слабо приподнятой над уровнем моря центральной части Западно-Сибирской равнины отступает к югу
Южнотаежные леса <i>Приуральская</i> (Верхнее Дуброво); <i>Кондо-Тавдинская</i> (Демьянское); <i>Тоболо-Иртышская</i> (Тобольск); <i>Васюганье</i> (Бакчар, Пудино, Колпашево); <i>Кеть-Чулымская</i> (Енисейск, Усть-Озерное)	Подзона южнотаежных лесов располагается примерно между 57 и 60° с.ш. (протяженность с севера на юг более 300 км). Так же, как и подзона среднетаежных лесов, она несколько отклоняется к северу
Осиново-березовые леса <i>Затобольская</i> (Тюмень); <i>Ишимская</i> (Ишим); <i>Барабинская</i> (Северное); <i>Заобская</i> (Томск, Тайга, Болотная)	Самая южная подзона. Протягивается узкой полосой между 56 и 57° с.ш. (около 100 км)

Результаты и их обсуждение

Сравнение средних значений продолжительности солнечного сияния при разной длине рядов наблюдений

В имеющихся информационных источниках данные о ПСС приводятся за разные периоды. В различных источниках указаны сведения не по всем станциям, что существенно уменьшает и так достаточно скудную информационную базу по территории Западной Сибири. Было проведено сравнение средних значений ПСС, приведенных в Справочнике по климату СССР [17], Научно-прикладном справочнике [11] и на сайте ВНИИГМИ-МЦД [13]. Важно было выяснить, как изменяются средние величины ПСС при различной длине рядов наблюдений. Оценка статистической значимости различий средних месячных и годовых значений ПСС проводилась по критерию Стьюдента [9].

Исследования показали следующее:

- на всех метеорологических станциях, по данным справочников [11; 17], различия в средних месячных и годовых значениях ПСС за разные периоды (от начала наблюдений по 1960-е и по 1980 г. соответственно) статистически незначимы. Статистически значимо различаются только годовые суммы ПСС при сравнении их значений из справочников со средними, рассчитанными по длинным рядам (до 2014 г.). Данные о ПСС за длинный период получены из архивов ВНИИГМИ-МЦД [13]. Отмечается тенденция увеличения годовых сумм часов солнечного сияния на 5–6% за последние 35 лет;
- с увеличением длины рядов ПСС средние квадратические отклонения и погрешности средних значений ПСС уменьшаются.

Полученные результаты позволяют отметить, что допускается проводить пространственно-временной анализ распределения ПСС по территории Западной Сибири за все месяцы, используя при этом ряды наблюдений различной продолжительности. Большое внимание обращалось на наличие статистически значимых различий средних месячных и средних годовых сумм ПСС на станциях в

разных провинциях в пределах отдельных подзон лесного пояса. В результате было выявлено, что существенные мезоклиматические различия в провинциях в основном не выделяются за некоторыми исключениями в подзонах северотаежных и березово-осиновых лесов.

В подзоне северотаежных лесов выделяют четыре провинции, на территории которых располагаются пять станций (табл. 1). Результаты расчетов показали, что на большинстве этих станций в подзоне средние годовые суммы часов солнечного сияния существенно не различаются. Только на станции Березово годовые суммы часов солнечного сияния несколько больше, чем в других провинциях. Это связано с тем, что станция Березово располагается ближе всего к восточному склону Уральского хребта. Вероятно, там проявляются фёновый эффект переваливания воздушных масс и размывание облачности. Наличие этих процессов подтверждается наименьшим количеством пасмурных дней на станции Березово по сравнению с другими станциями, расположенными в подзоне северотаежных лесов. В других провинциях ПСС меняется незначительно. Это говорит о том, что облачность распределяется равномерно по территории.

В подзоне среднетаежных лесов выделено четыре провинции, в которых расположены 12 станций. На всех станциях существенных различий между средними годовыми значениями ПСС не отмечено. В подзоне южнотаежных лесов выделяются пять провинций, в которых располагаются восемь метеорологических станций. На всех станциях существенные различия между средними годовыми значениями числа часов ПСС также не отмечаются.

В самой южной подзоне осиново-березовых лесов выделено четыре подзоны, в которых находятся шесть метеорологических станций. В подзоне осиново-березовых лесов было выявлено, что для станции Томск характерно наименьшее число часов солнечного сияния, и отмечается наибольшее количество облачности. Это подтверждает вывод, полученный в [7], о том, что над юго-востоком Томской области наблюдается большая повторяемость проходящих атмосферных фронтов.

Результаты проведенных расчетов показали, что в большинстве случаев наблюдаются статистически незначимые различия числа часов солнечного сияния между станциями внутри всех подзон лесной зоны. Полученные результаты исследования пространственно-временной структуры рядов ПСС показали высокую степень надежности данных и репрезентативности местоположения метеорологических станций в лесной зоне Западно-Сибирской равнины.

Влияние географических факторов на продолжительность солнечного сияния

Наиболее сильное влияние на ПСС оказывает географическая широта места, так как от широты зависит продолжительность светового дня в течение года. По данным о ПСС на станциях, приведенным в научно-прикладных справочниках [11, 17], установлено наличие тесных, статистически значимых корреляционных связей между ПСС за год и широтой места (табл. 2). Особенно заметно эта связь проявляется в зимние месяцы (в декабре $r=0,91$).

Зимой радиационные условия обусловлены малой высотой солнца и небольшой продолжительностью дня. Так, на широте 55° в день зимнего солнцестояния продолжительность дня составляет всего лишь семь часов при полуденной высоте солнца $11,5^\circ$. К северу продолжительность дня уменьшается и с широты полярного круга начинается полярная ночь, продолжительность которой возрастает с увеличением широты. В летний период севернее полярного круга на широте 70° продолжительность непрерывного полярного дня возрастает до 68 суток.

Уравнения регрессии для определения средних значений суммы часов солнечного сияния в разные месяцы и за год в целом по значениям географической широты в лесной зоне приведены в табл. 2, в которой также указаны соответствующие статистически значимые коэффициенты линейной корреляции.

На рис. 2 видно, что в целом за год происходит уменьшение ПСС с увеличением широты к северу. Такая закономерность наблюдается во все месяцы года за исключением июля. Только в этом месяце отмечается увеличение ПСС с ростом широты. Это связано с тем, что с увеличением широты местности происходит увеличение продолжительности светового дня. Следует заметить, что в летние месяцы теснота корреляционной связи между ПСС и широтой ослабевает (особенно в июле, $r=0,32$).

Исследования изменчивости ПСС в зависимости от географической долготы местности на территории Западной Сибири показали отсутствие значимых корреляционных связей. Это означает, что в западных и восточных районах Западной Сибири формы циркуляции атмосферы и связанный с ними режим облачности существенно не различаются.

Таблица 2
Статистические характеристики зависимости между числом часов солнечного сияния (Y –часы) и широтой местности (X –°с. ш.). Лесная зона Западной Сибири

Месяц	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
Январь	$y = -5,7x + 385$	$0,89 \pm 0,10$
Февраль	$y = -4,7x + 380$	$0,81 \pm 0,12$
Март	$y = -3,2x + 355$	$0,80 \pm 0,13$
Апрель	$y = -1,6x + 314$	$0,47 \pm 0,18$
Май	$y = -3,0x + 431$	$0,63 \pm 0,16$
Июнь	$y = -4,1x + 516$	$0,74 \pm 0,14$
Июль	$y = 1,1x + 228$	$0,32 \pm 0,20$
Август	$y = -3,7x + 437$	$0,79 \pm 0,13$
Сентябрь	$y = -7,0x + 558$	$0,92 \pm 0,08$
Октябрь	$y = -3,0x + 252$	$0,70 \pm 0,15$
Ноябрь	$y = -2,9x + 216$	$0,80 \pm 0,13$
Декабрь	$y = -4,8x + 313$	$0,91 \pm 0,09$
Год	$y = -40,1x + 4227$	$0,86 \pm 0,11$

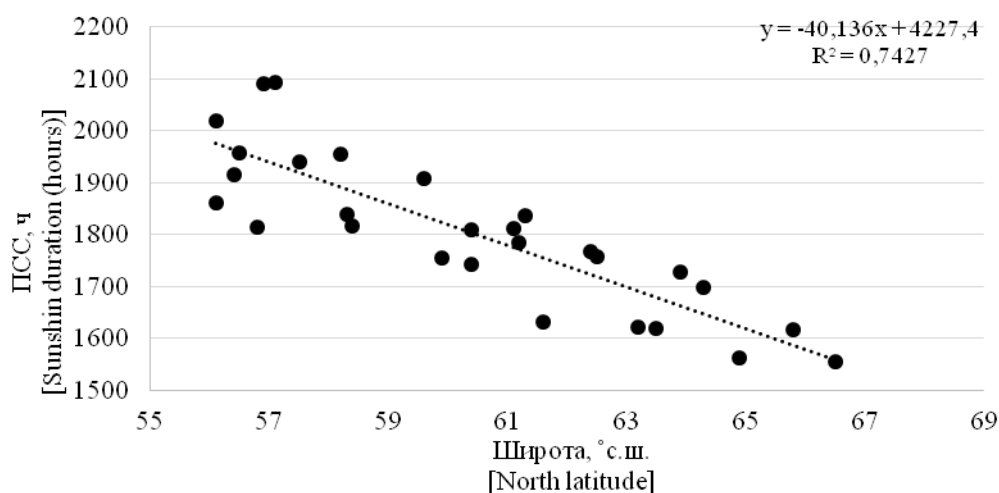


Рис. 2. Зависимость продолжительности солнечного сияния (ПСС, ч) за год от широты местности

Определенный интерес вызывает вопрос об изменчивости средних месячных и средних годовых значений ПСС [11]. Были проанализированы зависимости среднеквадратического отклонения средних сумм числа часов солнечного сияния от широты. Они показали, что корреляционная связь между средним квадратическим отклонением средних месячных и средних годовых значений ПСС и широтой местности отсутствует, т.е. изменчивость этих показателей на разных широтах в лесной зоне в Западной Сибири существенно не меняется. Однако в холодный период и в переходные сезоны наблюдается уменьшение изменчивости ПСС с увеличением широты. В летние месяцы изменчивость ПСС имеет тенденцию увеличения с широтой.

Другой важной характеристикой ПСС является отношение наблюдавшейся ПСС к возможной ее величине при ясном небе. Данные отношения приведены в работе [11].

Линейная зависимость отношения наблюдавшейся ПСС за год к возможной ПСС от широты приведена на рис. 3. Анализ зависимости показал, что отмечаются тесные корреляционные связи между этими характеристиками. За год происходит уменьшение отношения наблюдавшейся ПСС к возможной ПСС от юга к северу примерно на 12%. В целом во все сезоны наблюдается уменьшение этой характеристики в северном направлении, так как северные территории характеризуются большим количеством облачности.

Особое значение в характеристике климата, в том числе в приходе солнечной радиации, имеет повторяемость дней без солнца (рис. 4). Зависимости числа дней без солнца от широты показали, что наблюдаются статистически значимые тесные корреляционные связи между этими характеристиками

как в среднем за год, так и во все сезоны. Здесь прослеживается увеличение числа дней без солнца к северу.

Полученные закономерности пространственно-временного распределения показателей ПСС от географической широты в условиях Западно-Сибирской равнины позволили дать обоснованные дифференциальные характеристики прихода лучистой энергии солнца по подзонам лесной зоны.

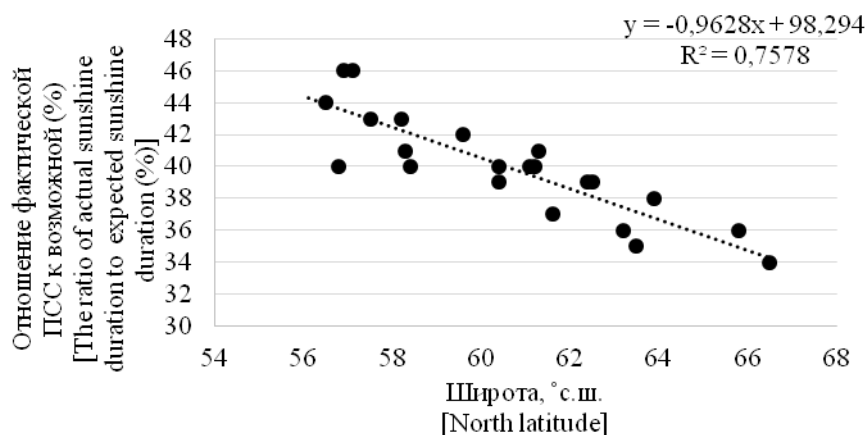


Рис. 3. Зависимость отношения наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к возможной от широты за год, %

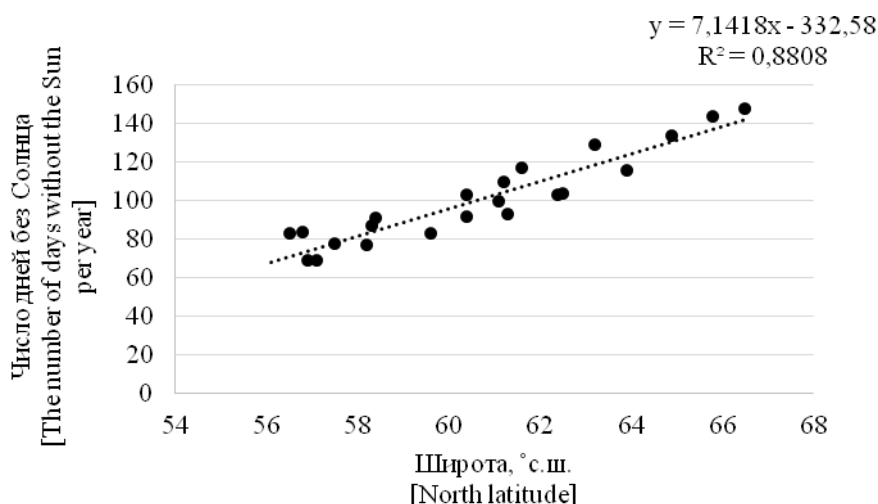


Рис. 4. Зависимость числа дней без Солнца за год от географической широты

Показатели продолжительности солнечного сияния в лесной зоне Западно-Сибирской равнины

Исследование пространственно-временного распределения показателей радиационного режима Западной Сибири показало, что здесь особенно заметно проявляют себя природная и климатическая зональности, однородность и открытость территории. В связи с этим появилась возможность более детально охарактеризовать показатели ПСС по природным зонам. В табл. 2 приведены средние месячные значения числа часов ПСС в интервальной форме для диапазона широт, в которых располагаются различные подзоны лесной зоны. Продолжительность солнечного сияния указана для центральных месяцев сезонов года и за год в целом. Первая величина интервала ПСС относится к северной границе подзоны, вторая величина – к южной границе.

Из табл. 3 видно, что годовые суммы часов солнечного сияния увеличиваются от севера к югу. Летом (июль) отмечается небольшое уменьшение ПСС с уменьшением широты. Этот факт обусловлен тем, что в это время года продолжительность светового дня возрастает с широтой, поэтому различия в ПСС между севером и югом территории не очень велики. В остальные месяцы года средние месячные суммы ПСС убывают с увеличением широты. Максимальные различия в ПСС на юге и на севере лесной зоны в зимние месяцы могут достигать 40–50 ч.

Таблица 3

Средняя продолжительность солнечного сияния в лесной зоне Западной Сибири, ч

Подзона	Широта, °с. ш.	Месяц				Год
		IV	VII	X	XII	
Северотаежные леса	66,5–62	208–215	301–296	53–66	0–15	1560–1740
Среднетаежные леса	62–60	215–218	296–294	66–72	15–25	1740–1820
Южнотаежные леса	60–57	218–223	294–291	72–81	25–39	1820–1940
Осиново-березовых леса	57–56	223–224	291–290	81–84	39–44	1940–1980

Продолжительность солнечного сияния в значительной степени зависит от облачности. Ее влияние особенно отчетливо проявляется в отношении фактической ПСС к возможной ПСС (табл. 4). Возможная продолжительность солнечного сияния – максимально возможное количество часов ПСС, характерных для данной широты, при ясной погоде и без учета закрытости горизонта.

Таблица 4

Отношение фактической к возможной продолжительности солнечного сияния в лесной зоне Западной Сибири, %

Подзона	Широта, °с. ш.	Месяц				Год
		IV	VII	X	XII	
Северотаежные леса	66,5 – 62	43–49	46–52	16–24	0–6	34–39
Среднетаежные леса	62–60	43–51	50–54	15–26	3–19	39–41
Южнотаежные леса	60–57	48–52	50–57	20–26	13–20	41–44
Осиново-березовые леса	57–56	52–55	56–59	25–29	15–26	44–45

В весенний и летний периоды года наблюдается значительное увеличение к югу отношения фактической продолжительности солнечного сияния к возможной вследствие уменьшения облачности. В осенне-зимний период над Западной Сибирью количество облаков значительно больше, чем летом. В декабре в подзоне северотаежных лесов фактическая ПСС и возможная ПСС приближаются к нулю.

Важной характеристикой радиационного режима является число дней без солнца. Этот параметр особенно важен для оценки рекреационных, потенциальных гелиоэнергетических ресурсов территории. В табл. 5 приведено количество дней без солнца для лесной зоны Западной Сибири.

Таблица 5

Число дней без Солнца в лесной зоне Западной Сибири

Подзона	Широта, °с. ш.	Месяц				Год
		IV	VII	X	XII	
Северотаежные леса	66,5–62	3–5	2–3	12–16	27–31	140–108
Среднетаежные леса	62–60	3–5	1–2	11–16	18–28	108–93
Южнотаежные леса	60–57	2–3	1–2	10–13	16–22	93–72
Осиново-березовых леса	57–56	3	1	9–11	14–20	72–65

В направлении с севера на юг наблюдается уменьшение числа дней без солнца. Максимальное число дней без солнца отмечается в декабре, когда его высота и продолжительность светового дня наименьшие. Меньше всего дней без солнца бывает в весенние и летние месяцы. В целом на юге территории в теплое время года (апрель–сентябрь) отмечается небольшое количество дней без солнца, но в холодный период (октябрь–март) происходит их заметное увеличение. Наибольшее число дней без солнца наблюдается в северотаежной зоне, наименьшее – в подзоне осиново-березовых лесов.

*Пространственно-временная изменчивость продолжительности
солнечного сияния за исследуемый период*

В связи с резко возросшим интересом к современным изменениям климата на территории Западной Сибири была исследована динамика годовых сумм ПСС в пределах лесной зоны.

В северо-таежной подзоне в западной ее части (станции Салехард, Березово) наблюдается тенденция к увеличению ПСС на 20 ч/10лет за период с 1957–2014 гг. В восточной части этой территории отмечается отрицательная тенденция такой же величины. Величины трендов в этой подзоне оказываются статистически незначимы по критерию Стьюдента на уровне ($\alpha=0,05$).

В среднетаежной подзоне на западе и в центральной части наблюдается статистически значимая тенденция увеличения ПСС за тот же период (станция Александровское – 67 ч/10 лет). Статистически значимые тенденции роста ПСС отмечаются в теплое время года с июня по сентябрь. В восточной части этой подзоны (Ванжиль-Кынак) уменьшение числа часов ПСС более интенсивно, чем в северо-таежной подзоне.

Южно-таежная область характеризуется относительно небольшой статистически значимой величиной роста ПСС. На станции Колпашево средний рост годовых сумм ПСС составляет 35 ч/10 лет.

В западной части подзоны осиново-березовых лесов отмечается незначительный рост числа часов ПСС за год (станции Тюмень, Тара). На востоке – станция Томск наблюдается статистически значимый рост числа часов ПСС (40 ч/10 лет).

В целом по территории лесной зоны за 60-летний период отмечается небольшой рост ПСС, однако в результате особенностей циркуляции атмосферы в восточной части имеет место тенденция уменьшения ПСС. Вероятно, это связано с ослаблением интенсивности и уменьшением повторяемости антициклональных типов погоды за рассматриваемый период.

Дополнительно проводились исследования долгопериодных изменений ПСС на территории Западной Сибири. Были выбраны два периода 1958–1985 гг. и 1986–2013 гг. для того, чтобы сравнить полученные результаты с исследованиями [22], проведенными в Европе. Период с 1958 по 1985 г. известен как «dimming period темный период», а с 1986 по 2013 – «brightness period светлый период». Первый период на всем протяжении характеризуется наличием отрицательного тренда ПСС, в то время как второй – наличием положительного (Литература). Сходные тенденции отмечаются и в лесной зоне Западной Сибири.

Выводы

В ходе исследования пространственно-временного распределения продолжительности солнечного сияния на территории Западной Сибири были сделаны следующие выводы.

В пределах одной подзоны не наблюдается статистически значимых различий средних значений ПСС на метеорологических станциях за исключением станций Березово и Томск.

Отмечается значимая тесная линейная корреляционная зависимость между средними месячными, среднегодовыми значениями числа часов солнечного сияния, отношением наблюдавшейся ПСС к возможной ПСС, числом дней без Солнца и широтой места.

Результаты исследований показали отсутствие значимых корреляционных связей между ПСС и географической долготой местности.

Корреляционная зависимость между средним квадратическим отклонением ПСС и географической широтой, долготой отсутствует, что показывает однотипность циркуляционных условий атмосферы над Западной Сибирью севернее 56° с.ш.

Средние месячные и годовые суммы часов солнечного сияния закономерно уменьшаются с увеличением широты местности. Только в июле число часов солнечного сияния немного увеличивается с широтой, что обусловлено увеличением продолжительности светового дня в северных широтах.

Отношение средних месячных и годовых сумм числа часов солнечного сияния к возможной величине ПСС при ясном небе уменьшается по мере увеличения широты. В весенне-летний период величина этого отношения изменяется в лесной зоне от 45 до 60 %. В осенне-зимний сезон величина отношения фактической ПСС к возможной величине ПСС становится значительно меньше (10–30%). Это связано с уменьшением количества облачности над Западной Сибирью в теплый период.

Среднее число дней без Солнца в зимние месяцы в подзоне северотаежных лесов достигает 27–30 дней. В южной части лесной зоны число дней без солнца уменьшается до 14–20. В летние месяцы среднее число дней без солнца составляет от одного до трех. В целом за год среднее количество дней без солнца увеличивается с юга лесной зоны на север с 70 до 140. В лесной зоне Западной Сибири наблюдается тенденция к увеличению продолжительности солнечного сияния на большинстве станций.

Полученные результаты будут полезны при разработке косвенных методов расчета солнечной радиации, планировании сельскохозяйственных работ, исследовании гелиоэнергетического потенциала территории, при комплексном климатическом изучении территории Западной Сибири.

Библиографический список

1. Байков И.М. Особенности многолетнего изменения коэффициента прозрачности атмосферы и составляющих солнечной радиации в Сибири и на Дальнем Востоке // Метеорология и гидрология. 1998. №1. С. 29–35.
2. Бахтияров В.Г. Распределение солнечного сияния на территории Западной Сибири // Доклады Томского отдела / Геогр. о-во СССР. Л., 1970. С. 130–134.
3. Белан Б.Д., Наливайко А.А., Сакерин С.М., Скляднева Т.К. Особенности многолетней изменчивости характеристик солнечной радиации в Западно-Сибирском регионе // Оптика атмосферы и океана. 1999. Т. 12. № 3. С. 275–282.
4. Григорьев А.А., Бudyко М.И. Классификация климатов СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. №3. С. 3–19.
5. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 284 с.
6. Житорчук Ю.В., Стадник В.В., Шамина И.Н. Исследование линейных трендов во временных рядах солнечной радиации // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 1994. Т. 30. №3. С. 389–391.
7. Журавлева Т.Б., Рассказчикова Т.М., Скляднева Т.К., Смирнов С.В. Статистика облачности над г. Томск: данные наземных наблюдений 1993–2004 гг. // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19. №10. С. 880–886.
8. *Западная Сибирь* / под ред. Г.Д. Рихтера. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 488 с.
9. Исаев А.А. Статистика в метеорологии и климатологии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 245 с.
10. *Кадастр возможностей* / под ред. Б.В. Лукутина. Томск: Изд-во НТЛ, 2002. 280 с.
11. *Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3: Многолетние данные.* СПб.: Гидрометеиздат, 1990–1998. Вып. 17, 20, 21.
12. Орлова В.В. *Западная Сибирь.* Л.: Гидрометеиздат, 1962. 360 с.
13. Российский гидрометеорологический портал [Электронный ресурс] / «ВНИИГМИ-МЦД» 1998–2014. URL: <http://www.meteo.ru> (дата обращения: 12.02.2016).
14. Севастьянов В.В., Севастьянова Л.М. Современные изменения климата на юге Сибири // Шестое Сибирское совещание по климатологическому мониторингу. Томск, 2005. С. 65–69.
15. Слядnev А.П. Климатическое районирование юго-востока Западно-Сибирской равнины в связи с районированием Западной Сибири // Сиб. геогр. сб. 1964. Вып. 3. С. 19–83.
16. Слядnev А.П. Географические основы климатического районирования и опыт применения его на юго-востоке Западно-Сибирской равнины // География Западной Сибири. Новосибирск, 1965. С. 3–122.
17. *Справочник по климату СССР:* Л.: Гидрометеиздат, 1965–1970. Вып. 17, 20, 21.
18. Трофимова И.Е. Роль климата в современной структурно-функциональной организации болот Западной Сибири // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. М.: ГЕОС, 1999. С. 142–151.
19. Трофимова И.Е., Балыбина А.С. Классификация климатов и климатическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 2014. №12. С. 11–21.
20. Kearney A.T. 2010 Solar Thermal Electricity 2025-Clean Electricity On Demand: Attractive STE Cost Stabilize Energy Production. GmbH Duesseldorf Germany. 52 p.

21. Liang F., Xia X.A. 2005 Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961–2000 *J Ann. Geophys.* Vol 23. 7. P. 2425–32.
22. Norris JR, Wild M. 2007. Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover solar “dimming” and solar “brightening”. *J. Geophys. Res.* 112(D08214): 1–13, doi: 10.1029/2006JD007794.
23. Pinker R.T., Zhang B. and Dutton E.G. 2005 Do satellite detect trends in surface solar radiation? *J Sci.* vol 308. P. 850–54.
24. Zerefos C.S., Eleftheratos K, Meleti C, Kazadzis S and Romanou A 2009 Solar dimming and brightening over Thessaloniki, Greece, and Beijing, China *Tellus.* 61B, 4. P. 657–65.

References

1. Kearney, A.T. (2010), *Solar Thermal Electricity 2025-Clean Electricity On Demand: Attractive STE Cost Stabilize Energy Production.* GmbH Duesseldorf Germany 52 p.
2. Pinker, R.T., Zhang, B. and Dutton, E. G. (2005), “Do satellite detect trends in surface solar radiation?”, *J Sci.* vol. 308 pp 850–854.
3. Zerefos, C.S., Eleftheratos, K., Meleti, C., Kazadzis, S. and Romanou, A. (2009), Solar dimming and brightening over Thessaloniki, Greece, and Beijing, China *Tellus.* 61B, 4 pp. 657–65
4. Liang, F. and Xia, X.A. (2005), “Long-term trends in solar radiation and the associated climatic factors over China for 1961–2000” *J Ann. Geophys.* vol. 23 7 pp. 2425–32
5. Sevast'yanov, V.V. and Sevast'yanova, L.M. (2005), “Sovremennye izmeneniya klimata na yuge Sibiri” [Modern Climate Change in the south of Siberia], *Shestoe Sibirskoe soveshchanie po klimatologicheskomu monitoringu*, Tomsk, 14–16 September 2005, Tomsk. pp. 65–69
6. Orlova, V.V. (1962), *Zapadnaya Sibir'* [Western Siberia], Gidrometeoizdat, L., 360 p.
7. Bakhtiyarov, V.G. (1970), “Raspredelenie solnechnogo siyaniya na territorii Zapadnoy Sibiri” [Distribution of Sunshine Duration in the Western Siberia], *Doklady tomskogo otdela*, L., pp. 130–134.
8. Rikhter G.D. (1963), *Zapadnaya Sibir'* [Western Siberia], Izd-vo Akademii nauk SSSR, M., 488 p.
9. Trofimova, I.E. (1999), “Rol' klimata v sovremennoy strukturno-funktsional'noy organizatsii bolot Zapadnoy Sibiri” [The role of climate in the modern structural and functional organization of the swamps of Western Siberia], *Bolota i zabolochennye lesa v svete zadach ustoychivogo prirodopol'zovaniya*. M.: GEOS, pp. 142–151.
10. Slyadnev, A.P. (1965), “Geograficheskie osnovy klimaticheskogo rayonirovaniya i opyt primeneniya ego na yugo-vostoke Zapadno-Sibirskoy ravniny” [Geographical bases of climatic regions and the experience of its application in the south-east of the West Siberian Plain], *Geografiya Zapadnoy Sibiri*, Novosibirsk, pp. 3–122.
11. Dyukarev, A.G. (2005), *Landshaftno-dinamicheskie aspekty taezhnogo pochvoobrazovaniya v Zapadnoy Sibiri* [Landscape-dynamic aspects of taiga soil formation in the Western Siberia], Tomsk, Izd-vo NTL, 284 p.
12. Zhitorchuk, Yu.V., Stadnik, V.V. and Shamina, I.N. (1994), “Issledovanie lineynykh trendov vo vremennykh ryadakh solnechnoy radiatsii”, [The Research of Linear Trends in the Time Series of Solar Radiation], *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 30, № 3. pp. 389–391.
13. Baykov, I.M. (1998), “Osobennosti mnogoletnego izmeneniya koeffitsienta prozrachnosti atmosfery i sostavlyayushchikh solnechnoy radiatsii v Sibiri i na Dal'nem Vostoke” [Peculiarities of the long-term change in the atmospheric transparency coefficient and components of solar radiation in Siberia and the Far East], *Meteorology and Hydrology*, №1, pp. 29–35.
14. Belan, B.D., Nalivayko, A.A, Sakerin, S.M. and Sklyadneva, T.K. (1999), “Osobennosti mnogoletney izmenchivosti kharakteristik solnechnoy radiatsii v Zapadno-Sibirskom regione” [Features of the long-term variability of solar radiation characteristics in the West Siberian region], *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 12, № 3. pp. 275–282.
15. Lukutina, B.V (ed.) (2002), *Kadastr vozmozhnostey* [Inventory of Opportunities], Tomsk, Izd-vo NTL, 280 p.
16. Slyadnev, A.P. (1964) *Klimaticheskoe rayonirovanie yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy ravniny v svyazi s rayonirovaniem Zapadnoy Sibiri* [Climatic zoning of the southeast of the West Siberian Plain in connection with the zoning of western Siberia], *Sib. geogr. sb.*, vol. 3, pp. 19–83.
17. Grigor'ev, A.A. and Budyko, M.I. (1959), *Klassifikatsiya klimatov SSSR* [Classification of Climate of USSR], *Izv. AN SSSR. Ser. geogr.*, № 3, pp. 3–19.

18. Trofimova, I.E. and Balybina, A.S. (2014), Klassifikatsiya klimatov i klimaticheskoe rayonirovanie Zapadno-Sibirskoy ravniny [Classification of climates and climatic regionalization of the West-Siberian Plain], *Geography and Natural Resources*, №2, pp. 11–21.

19. *Spravochnik po klimatu SSSR* [Climate Guide of USSR], V 34 vyp., ch. 1. L., Gidrometeoizdat, 1965–1970. vol. 17, 20, 21.

20. *Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3: Mnogoletnie dannye* [Scientific-Applied Guide of Climate of USSR], V 34 vol., ch. 1–6. S.-Pb.: Gidrometeoizdat, 1990–1998. vol. 17, 20, 21.

21. Rossiyskiy gidrometeorologicheskii portal (1998–2014) Electronic Resources: «VNIIGMI–MTsD» [Online], Retrieved from: <http://www.meteo.ru> (Accessed 12.02.2016).

22. Isaev, A.A. (1988) *Statistika v meteorologii i klimatologii* [Statistic in Meteorology and Climatology], M., Izd-vo MGU, 245 p.

23. Zhuravleva, T.B., Rasskazchikova, T.M., Sklyadneva, T.K. and Smirnov, S.V. (2006) *Statistika oblachnosti nad g. Tomsk: dannye nazemnykh nablyudeniy 1993–2004 gg.* [Statistics of clouds over Tomsk: data of ground-based observations for 1993-2004 period], *Atmospheric and oceanic optics*, vol. 19, № 10, pp. 880–886.

24. Norris, J.R. and Wild, M. (2007). Trends in aerosol radiative effects over Europe inferred from observed cloud cover solar “dimming” and solar “brightening”. *J. Geophys. Res.* 112(D08214): 1–13, doi: 10.1029/2006JD007794.

Поступила в редакцию: 17.04.2018

Сведения об авторах

About the authors

Мишенина Юлия Александровна

аспирант кафедры метеорологии и климатологии,
Томский государственный университет;
Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, 36

Yulia A. Mishenina

Postgraduate student, Department of Meteorology
and Climatology, Tomsk state university
36, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia

e-mail: jaselezneva29@gmail.com

Севастьянов Владимир Вениаминович

доктор географических наук, профессор кафедры
метеорологии и климатологии,
Томский государственный университет;
Россия, 634050, г. Томск,
пр. Ленина, 36

Vladimir V. Sevastyanov

Doctor of Geographical Sciences, Professor,
Department of Meteorology and Climatology,
Tomsk State University
36, Lenin prospekt, Tomsk, 634050, Russia

e-mail: vvs187@mail.ru

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Мишенина Ю.А., Севастьянов В.В. Продолжительность солнечного сияния в лесной зоне Западно-Сибирской равнины // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 77–89. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-77-89

Please cite this article in English as:

Mishenina Yu.A., Sevastyanov V.V. Sunshine duration in the forest zone of the West Siberian Plain // Geographical bulletin. 2018. №4(47). P. 77–89. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-77-89