

Е.Р. Милотин, Ю.И. Яременко

### СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНТЕНСИВНОСТИ РАССЕЯННОГО СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АТМОСФЕРЕ

Приводятся результаты статистической обработки интенсивности рассеянного солнечного излучения (РСИ) по данным актинометрических наблюдений. Показано, что среднегодовые и большинство месячных функций распределения интенсивности РСИ подчиняются экспоненциальному закону.

Оценки эффективности работы и помехозащищенности атмосферных оптических систем различного назначения невозможны без знания статистических характеристик естественных фоновых помех, важнейшим элементом которых является рассеянное солнечное излучение (РСИ).

Ранее в ряде работ [1–5] исследовались энергетические и спектральные характеристики РСИ в атмосфере. Так, в [2] на основе наблюдений в г. Осло было выполнено сравнение эмпирических и нескольких теоретических распределений интенсивности РСИ в зависимости от угла места Солнца, но каких-либо однозначных выводов не сделано. В то же время в [3], где использовались данные метеорологической обсерватории МГУ, указывалось на хорошую аппроксимацию изменения среднего уровня интенсивности излучения логарифмически нормальным распределением, параметры которого являются функциями метеорологической дальности видимости. В обзорной работе [5] отмечалось, что распределение флуктуаций фонового излучения в ряде спектральных областей подчинялось нормальному закону, а в тех спектральных областях, где среди фонов преобладало РСИ, — экспоненциальному.

Вышеуказанные расхождения в результатах измерений и их интерпретации привели к необходимости исследования закона распределения и статистических моментов интенсивности  $I$  РСИ.

С этой целью были, обработаны с помощью ЭВМ данные ежедневных стандартных (с интервалами в 3 часа) наблюдений  $I$  (рассеянной коротковолновой солнечной радиации, измеряемой на перпендикулярной по отношению к солнечному излучению площадке) метеостанции пос. Воейково Ленинградской области за 3 года (1980–1982 гг.). Общее число наблюдений (объем выборки) составило 3890. Весь диапазон значений  $I \left( \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2} \right)$  был разделен на 19 интервалов: 0–0,01; 0,01–0,02; 0,02–0,03; 0,03–0,04; 0,04–0,05; 0,05–0,06; 0,06–0,07; 0,07–0,08; 0,08–0,09; 0,09–0,1; 0,1–0,15; 0,15–0,2; 0,2–0,25; 0,25–0,3; 0,3–0,35; 0,35–0,4; 0,4–0,45; 0,45–0,5; 0,5–0,55.

Обработка измеренных величин осуществлялась по методике, изложенной в [6, 7]. Результаты расчетов оценок среднего  $\bar{m}$ , дисперсии  $\bar{D}$ , третьего и четвертого центральных выборочных моментов  $\bar{\mu}_3$  и  $\bar{\mu}_4$ , коэффициентов асимметрии  $\bar{\gamma}_1$  и эксцесса  $\bar{\gamma}_2$ , а также связанных с ними параметров Пирсона  $\bar{\beta}_1$  и  $\bar{\beta}_2$  и отношения среднего к среднеквадратическому отклонению  $m / \bar{\sigma}$  для каждого месяца и среднегодовые представлены в таблице. В последнем столбце таблицы приведено относительное число наблюдений, в которых не регистрировалось РСИ в процентах по отношению к общему числу наблюдений. Отсутствие регистрации РСИ в этих случаях при высоте Солнца больше  $0^\circ$  объясняется настолько плохими условиями распространения РСИ, что величина РСИ оказывалась меньше порога чувствительности измерительного прибора.

Доверительный интервал оценок выборочных моментов не превышает 2,5% их абсолютных значений с доверительной вероятностью 0,99.

На величину интенсивности РСИ влияют высота Солнца, прозрачность атмосферы и облачность [8]. Влияние этих факторов взаимосвязано и неоднозначно. Например, ухудшение прозрачности атмосферы, связанное с увеличением числа рассеивателей или появлением облачности, с одной стороны, приводит к увеличению интенсивности рассеянного излучения, а с другой стороны — к большему его ослаблению. Также и при увеличении высоты Солнца, с одной стороны, уменьшается оптическая длина пути взаимодействия излучения с рассеивателями, а с другой — уменьшается ослабление излучения.

Несмотря на сложный характер взаимодействия вышеуказанных факторов, анализ результатов выполненного статистического исследования генеральной совокупности данных позволяет сделать некоторые выводы, частично отраженные в таблице. Из таблицы видно, что наибольшая средняя интенсивность РСИ наблюдается в июне, когда, как следует из многолетних наблюдений в этой же Ленинградской области [6, 7], среднее количество облаков минимально, метеорологическая дальность видимости максимальна и, кроме того, как известно, высота Солнца максимальна (до  $53^\circ$ ). Наименьшее же среднее значение интенсивности РСИ отмечается в декабре, в котором, наряду с ноябрем, среднее количество облаков максимальна и вместе с этим максимальна оптическая длина пути РСИ в облаках вследствие мини-

мальной высоты Солнца (до 6°). Сопоставление годового хода среднего значения интенсивности РСИ с годовым ходом среднего количества облаков [7] показывает, что с учетом высоты Солнца величина среднего значения РСИ определяется, главным образом, облачностью и оптической длиной пути в облаках.

Месяц	Параметр									
	$\bar{m}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$\bar{D}$	$\bar{\mu}_3$	$\bar{\mu}_4$	$\bar{\gamma}_1$	$\bar{\gamma}_2$	$\bar{\beta}_1$	$\bar{\beta}_2$	$\bar{m} / \bar{\sigma}$	$\sigma t$ , %
Январь	$3,61 \cdot 10^{-2}$	$7,41 \cdot 10^{-4}$	$2,44 \cdot 10^{-5}$	$2,31 \cdot 10^{-6}$	1,210	1,213	1,463	4,213	1,326	6,2
Февраль	$7,46 \cdot 10^{-2}$	$2,24 \cdot 10^{-3}$	$1,19 \cdot 10^{-4}$	$2,34 \cdot 10^{-5}$	1,120	1,652	1,254	4,652	1,57	0
Март	0,121	$5,35 \cdot 10^{-3}$	$2,05 \cdot 10^{-4}$	$8,25 \cdot 10^{-5}$	0,524	-0,120	0,275	2,880	1,659	4,3
Апрель	0,128	$8,19 \cdot 10^{-3}$	$5,70 \cdot 10^{-4}$	$1,88 \cdot 10^{-4}$	0,770	-0,199	0,592	2,801	1,418	2,2
Май	0,160	$9,80 \cdot 10^{-3}$	$8,43 \cdot 10^{-4}$	$2,95 \cdot 10^{-4}$	0,868	0,071	0,754	3,071	1,618	0,4
Июнь	0,164	$8,31 \cdot 10^{-3}$	$6,73 \cdot 10^{-4}$	$2,34 \cdot 10^{-4}$	0,889	0,396	0,790	3,396	1,796	0
Июль	0,162	$8,90 \cdot 10^{-3}$	$7,70 \cdot 10^{-4}$	$2,59 \cdot 10^{-4}$	0,917	0,268	0,841	3,267	1,720	0
Август	0,141	$9,80 \cdot 10^{-3}$	$7,80 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-4}$	0,804	0,118	0,647	3,118	1,427	0,2
Сентябрь	0,110	$6,33 \cdot 10^{-3}$	$2,98 \cdot 10^{-4}$	$9,32 \cdot 10^{-5}$	0,591	-0,675	0,349	2,325	1,384	2,3
Октябрь	$6,15 \cdot 10^{-2}$	$2,40 \cdot 10^{-3}$	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$3,23 \cdot 10^{-5}$	1,358	2,615	1,843	5,015	1,225	4,5
Ноябрь	0,042	$1,13 \cdot 10^{-3}$	$7,30 \cdot 10^{-5}$	$1,13 \cdot 10^{-5}$	1,926	5,883	3,709	8,883	1,259	9,6
Декабрь	$2,69 \cdot 10^{-2}$	$3,22 \cdot 10^{-4}$	$6,88 \cdot 10^{-6}$	$4,23 \cdot 10^{-7}$	1,191	1,079	1,418	4,079	1,501	16,7
Ср. год.	0,117	$8,41 \cdot 10^{-3}$	$8,25 \cdot 10^{-4}$	$2,67 \cdot 10^{-4}$	1,071	0,774	1,147	3,774	1,280	2,8

Анализ генеральной совокупности данных интенсивности РСИ и сопоставление их с данными по количеству облаков в этом же регионе, фиксируемыми в актинометрических ежемесячниках, показывают, что при регистрации РСИ можно выделить два типичных случая: 1) в основном рассеяние облаками и 2) молекулярное и аэрозольное рассеяние. Первый случай для всего рассматриваемого периода наблюдений был характерен для ноября—января, причем особенно ярко проявился в декабре. Второй случай наблюдался преимущественно в мае—августе, наиболее часто реализуясь в июне.

Эмпирические функции распределения  $F(I)$  интенсивности, РСИ представлены на рис. 1—3 в следующем порядке: среднегодовая; для декабря и марта; для июня и сентября. Выполненный с помощью ЭВМ анализ показал, что для первого случая (рассеивание облаками) наилучшей аппроксимацией эмпирических полигонов является экспоненциальное распределение (рис. 2, декабрь), а для второго — рэлеевское (рис. 3, июнь). Среднегодовой полигон также хорошо аппроксимируется экспоненциальным распределением (рис. 1).

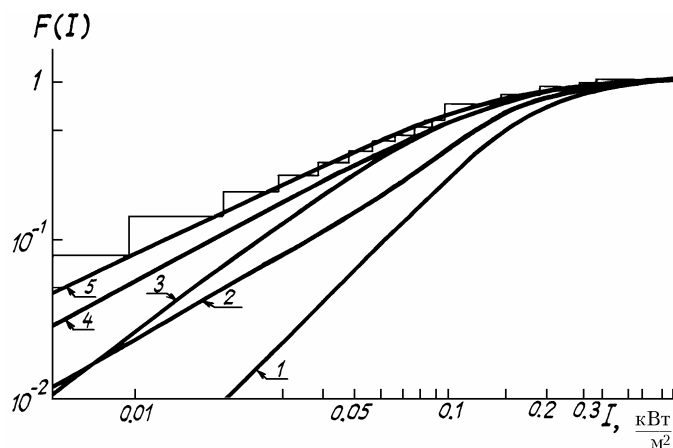


Рис. 1. Эмпирическая (ступенчатая кривая) и теоретические среднегодовые функции распределения интенсивности РСИ. Кривая 1 — усеченное рэлеевское; 2 — усеченное нормальное; 3 — гамма-распределение; 4 — бета-распределение; 5 — усеченное экспоненциальное

Полигоны для весенних и осенних месяцев, когда наблюдаются оба случая, также удовлетворительно описываются экспоненциальным законом, причем чем больше среднемесячное количество облаков, тем, точнее экспоненциальная аппроксимация (рис. 2 и 3, март и сентябрь).

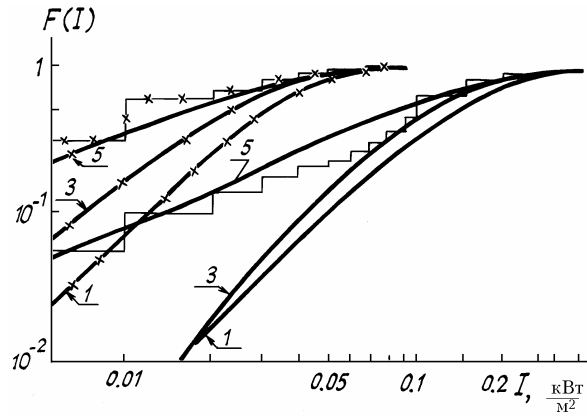


Рис. 2. Эмпирические (ступенчатые кривые) и теоретические функции распределения интенсивности РСИ для марта и декабря (кривые с крестиками). (Номера теоретических кривых соответствуют обозначениям рис. 1)

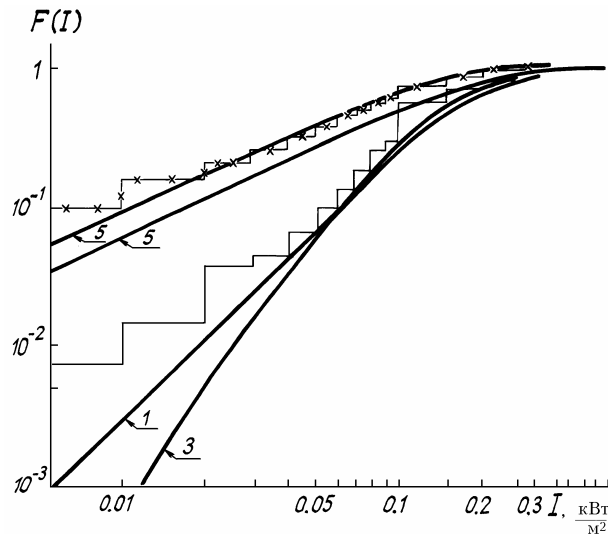


Рис. 3. Эмпирические (ступенчатые кривые) и теоретические функции распределения интенсивности РСИ для июля и сентября (кривые с крестиками). (Номера теоретических кривых соответствуют обозначениям рис. 1)

Таким образом, можно сделать вывод, что функция распределения интенсивности РСИ в ситуациях, когда солнечное излучение, в основном, рассеивается облаками, хорошо отображается экспоненциальным законом, что совпадает с результатами, приведенными в [5], тогда как в случаях молекулярного и аэрозольного рассеяний в практических расчетах необходимо использовать рэлеевский закон распределения интенсивности РСИ.

1. Бартечева О. Д., Полякова Е. А., Русин Н. П. Режим естественной освещенности на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 238 с.
2. Staveland L. //Proc. Astron. Observ. Skalnatom Plese. 1976. V. 6. P. 387–380.
3. Павлов Н. М., Шутова Л. А. //Сб. научных трудов ЦНИИ связи. 1978. № 1. С. 10–15.
4. Koreika N. S. //Journ. Opt. Soc. of Amer. 1982. V. 72. № 5. P. 548–551.
5. Фираго В. А., Ханох Б. Ю., Долин В. В. //Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1984. Т. 27. № 11. С. 1355–1381.
6. Милютин Е. Р., Яременко Ю. И. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1988. Т. 24. № 2. С. 198–204.
7. Милютин Е. Р., Яременко Ю. И. Метеорология и гидрология. 1981. № 3. С. 32–38.
8. Матвеев Л. Т. Курс общей метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
9. Милютин Е. Р., Яременко Ю. И. Метеорология и гидрология. 1991. № 12. С. 72–76.

Ленинградский электротехнический институт связи  
им. М. А. Бонч-Бруевича

Поступила в редакцию  
18 июля 1991 г.

E. R. Milutin, Yu. I. Yaremenko. **Statistical Characteristics of the Diffuse Solar Radiation Intensity in the Atmosphere.**

Some results of statistical analysis of the data on diffuse solar radiation intensity in the atmosphere obtained from actinometric observations are presented. It is shown that the annual mean and most of the monthly mean distribution functions of the diffuse solar radiation intensity values obey the exponential law.