

УДК 523.9-355

**Интегральный спектр Солнца как звезды
в УФ (0.1—0.32 мкм) и ИК (1—50 мкм)-областях****К. А. Бурлов-Васильев, Э. А. Гуртовенко, В. И. Троян**

Выполнен обзор исследований по распределению энергии в спектре Солнца как звезды в УФ- и ИК-диапазонах. Выведено стандартное распределение в УФ-области спектра по результатам анализа наиболее важных 11 рядов независимых наблюдений, принадлежащих, в основном, циклам 20 и 21. Показано, что выведенный нами средневзвешенный ряд для УФ-области несколько отличается от широко используемого в настоящее время ряда Макаровой и Харитонов, в то время как в ИК-области спектра ряд Макаровой и Харитонов является наиболее достоверным и пока не может быть заменен лучшим.

INTEGRAL SPECTRUM OF SUN AS A STAR IN UV (0.1—0.32 μm) AND IR (1—50 μm) REGIONS, by Burlou-Vasil'ev K. A., Gurtovenko E. A., Troyan V. I.— The measurements of the spectral energy distribution of Sun as a star in ultraviolet and infrared are reviewed. The standard distribution in UV is deduced from the analysis of most important sets of independent data. This distribution is shown to differ from widely used Makarova and Kharitonov's set in UV, while for IR region the set by Makarova and Kharitonov are at present the most reliable ones.

Хотя на ультрафиолетовую (УФ) и инфракрасную (ИК) области спектра Солнца приходится незначительная часть суммарной энергии солнечного излучения (соответственно ~1 % и 3.6 %), климат и погода Земли в значительной мере определяются процессами поглощения УФ- и ИК-излучения Солнца в земной атмосфере.

Важное место УФ- и ИК-области спектра занимают и в решении проблем физики Солнца. Именно здесь содержится наиболее полная информация о состоянии верхней солнечной атмосферы и протекающих в ней явлениях. Значительная изменчивость УФ-потока солнечного излучения интересует исследователя прежде всего своей связью с явлениями солнечной активности.

УФ (0.1—0.32 мкм)-область спектра Солнца. Вследствие непрозрачности земной атмосферы в области 0.1—0.32 мкм прямые измерения параметров солнечного излучения в этом диапазоне стали доступны лишь с развитием космической, ракетной, баллонной техники и в настоящее время все еще связаны с большими трудностями.

Внутренняя точность отдельных рядов измерений спектрального распределения потока солнечного излучения в абсолютных энергетических единицах обычно составляет 10—20 %. Однако реальное положение еще хуже, так как систематические различия между рядами разных авторов могут доходить до порядка величины. Между тем уже сейчас существует настоятельная необходимость иметь наиболее надежные данные по спектральному распределению УФ-светимости Солнца как для научных исследований, так и для практического использования, и попытка в этом случае обратиться непосредственно к какому-либо одному «надежному» ряду ни в коей мере не является ни обоснованной, ни удовлетворительной.

К настоящему времени выполнено более 50 независимых измерений спектральной плотности потока солнечного УФ-излучения с использованием различных приборов и методов. Вследствие этого расхождения между ними весьма значительны и зачастую прямо противополо-

ложны ожидаемым из тех условий, что одно получено на более высоком уровне солнечной активности, чем другое.

Работы по анализу имеющихся рядов измерений и сведению их в одну систему для определенного уровня активности Солнца предпринимались и ранее, но за время, прошедшее с периода составления таких сводных данных, появились новые оригинальные измерения, позволившие вывести исследования УФ-излучения Солнца на новый этап.

Мы не будем здесь описывать все имеющиеся ряды измерений, отметим лишь, что о многих из них можно найти сведения в детальных обзорах [1, 3, 7, 18]. Для выведения стандартного распределения в УФ-области спектра Солнца в результате анализа наиболее важных работ нами отобраны 11 рядов независимых наблюдений (табл. 1). Как видно из таблицы, измерения принадлежат, в основном, циклам 20 и 21. Такой выбор позволяет привязать данные к конкретному времени, что представляется нам весьма важным, и в то же время включить в рассмотрение достаточное число независимых измерений. Так как именно между максимумами циклов 20 и 21 получено наибольшее число измерений солнечного УФ-потока, введение в этот ряд более поздних работ представляется необоснованным из-за существующих изменений светимости Солнца в УФ-области от цикла к циклу [8].

В основу отбора рядов данных положены следующие принципы: ряды должны быть с методической точки зрения хорошо обоснованы; не содержать явных систематических ошибок; представлять различные методики; по возможности более равномерно охватывать весь период солнечной активности.

Для получения стандартного распределения мы пользовались принципом среднего взвешенного усреднения независимых рядов, предложенным Е. А. Макаровой и А. В. Харитоновым в [1]. Результирующая точность такого усреднения приведена ниже.

Область спектра, нм	130	175	190	200—250	300
Точность, %	13	7	4	9	4

Отметим, что такое усреднение для УФ-области спектра позволяет устранить разброс рядов, вызванный разным уровнем солнечной активности и различными систематическими ошибками, присущими отдельно взятому ряду, которые в случае усреднения могут выступать как случайные. Полученное стандартное распределение должно соответствовать среднему уровню солнечной активности, обычно определяемому по значению потока радиоизлучения $150 \cdot 10^{-22}$ Вт/м²·Гц на волне 10.7 см на расстоянии 1 а. е.

Все результаты, взятые нами для усреднения, представляют собой интегральный поток от всего Солнца, усредненный по интервалам в 1 нм, причем интервалы приходятся на одни и те же длины волн.

Таблица 1. Распределения энергии в УФ-области спектра Солнца

Номер п/п	Литературный источник	Дата наблюдений	Диапазон, нм	Точность, даваемая авторами, %
1.	Тауси по [1]	13.03.59	200.0—300.0	±20
2.	Бродфут [5]	15.06.70	210.0—320.0	±10
3.	Ротман по [18]	13.12.72	120.0—190.0	±20 ±35
4.	Симон [18]	23.09.72—16.05.73	196.0—320.0	±10 ±20
5.	Семен и Симон [17]	17.04.73	151.0—209.0	±30
6.	Ротман по [18]	30.07.73	120.0—190.0	±20 ±35
7.	Брюкнер [6]	04.09.73	174.0—210.0	±20
8.	Эро и Свирбальо [10]	02.11.73	123.0—194.0	±20
9.	Симон [19]	01.07.76—07.07.77	200.0—330.0	±15 ±10
10.	Хит по [18]	07.11.78	160.0—400.0	±10 ±3
11.	Маунт [14]	05.06.79	120.0—256.0	±15

Исключение составляют ряд Морской исследовательской лаборатории США (МИЛ) (см. [1]), усредненный по интервалу 5 нм и ряд [5], усредненный по интервалу 1 нм, но сдвинутый относительно других на половину шага. Эти ряды включены в обработку с использованием методики приведения интервалов усреднения к единой системе путем аппроксимации ступенчатой кривой спектрального распределения сплайном, сохраняющим площадь каждой ступеньки. Такая методика

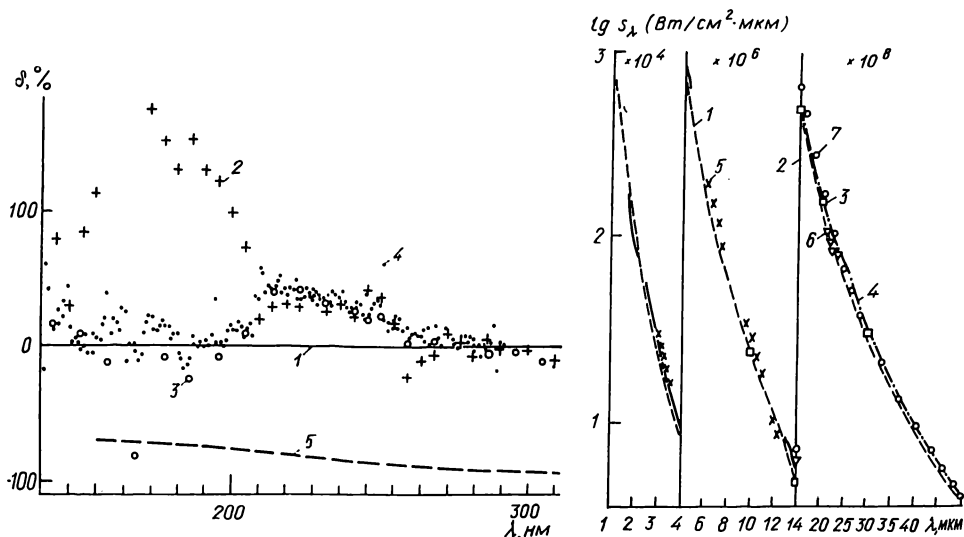


Рис. 1. Сравнение результатов, полученных в данной работе для среднего уровня солнечной активности — 1, с данными Макаровой и Харитоновой — 2, Смита и Готлиба — 3, Доннели и Поупа — 4, модели HSRA — 5 в УФ-области спектра Солнца

Рис. 2. Зависимость потока в интегральном спектре Солнца как звезды от длины волны по данным разных авторов: 1—[1], 2—[15], 3—[3], 4—[14], 5—[2], 6—[4], 7—[10] в ИК-области спектра Солнца

позволяет вычислить также ошибки аппроксимации и обратного преобразования сплайна в ступенчатое распределение для определенных длин волн. Вес ω при усреднении выбирались с учетом оцениваемой авторами погрешности измерений.

Особо следует остановиться на распределении МИЛ, которое мы использовали с исправлениями, данными авторами [1]. Ими показано, что из-за привязки к наземным наблюдениям это распределение оказалось завышенным на 13%. Кроме того, для длин волн меньше 200 нм в результатах МИЛ проявляется систематическое (превышение более чем в два раза) расхождение со всеми другими более поздними распределениями. Такая ситуация присуща всем ранним работам МИЛ, и только в 1976 г. в работе [6] это расхождение устранено. Вероятно, оно вызвано систематической ошибкой в измерениях, что подтверждается также тем, что для 195 нм в ряде МИЛ использовался переход от одной методики к другой. Поэтому значения потока этого ряда для длин волн меньше 200 нм нами в обработке не использовались.

Результаты усреднения по интервалу 1 нм представлены в табл. 2, 3, 4 и содержат полученные нами распределения энергии в УФ-области спектра Солнца, рекомендуемые для дальнейшего использования.

Отметим, что ряды для минимального и максимального уровней активности получены на основании нашего усредненного ряда (табл. 2) и наиболее точных измерений Хинтереггера [18] о переменности УФ-области солнечного спектра.

Сравнение полученных нами результатов для среднего уровня солнечной активности с более ранними сводными данными [1, 3, 20] ($\delta = (F - F_{cp}) / F_{cp} \cdot 100\%$) приведено на рис. 1.

Анализ рис. 1 показывает, что данные Е. А. Макаровой и А. В. Харитоновна значительно превышают наши результаты для длин волн меньше 200 нм. Расхождение становится понятным, так как авторы [1] использовали ранние измерения МИЛ, содержащие систематическую ошибку. Хорошее согласие наблюдается с рядом [20], и, пожалуй, самое лучшее — с рядом Доннели и Поупа [3].

Таблица 2. Распределение энергии в УФ-области спектра Солнца для среднего уровня солнечной активности

λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$
130.5	117 +04	9.5	741 +04	7.5	164 +06	5.5	690 +06	3.5	491 +07
1.5	218 +03	170.5	878 +04	8.5	194 +06	6.5	676 +06	4.5	358 +07
2.5	196 +03	1.5	898 +04	9.5	282 +06	7.5	754 +06	5.5	248 +07
3.5	863 +03	2.5	954 +04	210.5	351 +06	8.5	619 +06	6.5	488 +07
4.5	196 +03	3.5	976 +04	1.5	446 +06	9.5	744 +06	7.5	507 +07
5.5	385 +03	4.5	111 +05	2.5	415 +06	250.5	819 +06	8.5	483 +07
6.5	278 +03	5.5	130 +05	3.5	438 +06	1.5	613 +06	9.5	704 +07
7.5	276 +03	6.5	141 +05	4.5	569 +06	2.5	569 +06	290.5	906 +07
8.5	275 +03	7.5	166 +05	5.5	492 +06	3.5	293 +06	1.5	856 +07
9.5	701 +03	8.5	176 +05	6.5	450 +06	4.5	799 +06	2.5	816 +07
140.5	778 +03	9.5	175 +05	7.5	475 +06	5.5	921 +06	3.5	799 +07
1.5	486 +03	180.5	219 +05	8.5	617 +06	6.5	147 +07	4.5	767 +07
2.5	506 +03	1.5	259 +05	9.5	649 +06	7.5	179 +07	5.5	836 +07
3.5	616 +03	2.5	256 +05	220.5	648 +06	8.5	179 +07	6.5	767 +07
4.5	602 +03	3.5	252 +05	1.5	536 +06	9.5	149 +07	7.5	711 +07
5.5	655 +03	4.5	226 +05	2.5	685 +06	260.5	128 +07	8.5	766 +07
6.5	826 +03	5.5	274 +05	3.5	843 +06	1.5	140 +07	9.5	729 +07
7.5	103 +04	6.5	319 +05	4.5	817 +06	2.5	160 +07	300.5	583 +07
8.5	103 +04	7.5	363 +05	5.5	724 +06	3.5	230 +07	1.5	606 +07
9.5	982 +03	8.5	386 +05	6.5	531 +06	4.5	362 +07	2.5	735 +07
150.5	111 +04	9.5	428 +05	7.5	528 +06	5.5	375 +07	3.5	887 +07
1.5	118 +04	190.5	444 +05	8.5	712 +06	6.5	374 +07	4.5	841 +07
2.5	142 +04	1.5	488 +05	9.5	640 +06	7.5	374 +07	5.5	803 +07
3.5	156 +04	2.5	503 +05	230.5	719 +06	8.5	362 +07	6.5	794 +07
4.5	213 +04	3.5	437 +05	1.5	677 +06	9.5	358 +07	7.5	865 +07
5.5	230 +04	4.5	632 +05	2.5	721 +06	270.5	400 +07	8.5	848 +07
6.5	209 +04	5.5	691 +05	3.5	594 +06	1.5	335 +07	9.5	994 +07
7.5	188 +04	6.5	751 +05	4.5	527 +06	2.5	295 +07	310.5	103 +08
8.5	184 +04	7.5	791 +05	5.5	710 +06	3.5	293 +07	1.5	116 +08
9.5	173 +04	8.5	795 +05	6.5	668 +06	4.5	771 +07	2.5	106 +08
160.5	199 +04	9.5	842 +05	7.5	651 +06	5.5	269 +07	3.5	116 +08
1.5	293 +04	200.5	931 +05	8.5	539 +06	6.5	369 +07	4.5	103 +08
2.5	319 +04	1.5	103 +06	9.5	589 +06	7.5	351 +07	5.5	955 +08
3.5	394 +04	2.5	106 +06	240.5	529 +06	8.5	251 +07	6.5	108 +08
4.5	441 +04	3.5	118 +06	1.5	705 +06	9.5	134 +07	7.5	121 +08
5.5	680 +04	4.5	134 +06	2.5	980 +06	280.5	157 +07	8.5	108 +08
6.5	544 +04	5.5	138 +06	3.5	913 +06	1.5	316 +07	9.5	108 +08
7.5	534 +04	6.5	144 +06	4.5	836 +06	2.5	450 +07	320.5	136 +08
8.5	585 +04								

Примечание. λ — длина волны, нм; $F_{\text{ср}}$ — средняя интенсивность излучения диска, Вт/м²·ср·мкм. 117+04 означает 0.117×10^4 .

Различие для области спектра 209.5—250.5 нм объясняется тем, что в сравниваемых работах использовались данные [5], которые считались наиболее точными. Однако, как показано в работе [14], эти данные систематически завышались. Поэтому мы считаем, что представленный нами ряд наиболее точно отражает абсолютное распределение энергии в спектре Солнца как звезды в УФ-диапазоне для среднего уровня солнечной активности. Вполне надежными являются ряды для максимума и минимума активности Солнца (табл. 3, 4).

Отдельно следует остановиться на области спектра 100—130 нм, так как она содержит наиболее сильную в УФ-диапазоне линию L_{α} .

Излучение Солнца в линии L_{α} мощнее, чем во всем остальном более коротковолновом диапазоне. Поэтому измерения жесткого ультрафиолетового излучения сводятся к измерению линии L_{α} .

Таблица 3. Распределение энергии в УФ-области спектра Солнца для минимального уровня солнечной активности. После λ 209.5 нм следует принять распределение табл. 2 (обозначения те же)

λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$
130.5	924 +03	6.5	611 +03	2.5	266 +03	8.5	158 +05	4.5	588 +05
1.5	141 +03	7.5	776 +03	3.5	329 +03	9.5	158 +05	5.5	643 +05
2.5	116. +03	8.5	794 +03	4.5	370 +03	180.5	198 +05	6.5	699 +05
3.5	557 +03	9.5	761 +03	5.5	575 +03	1.5	231 +05	7.5	736 +05
4.5	115 +06	150.5	861 +03	6.5	463 +04	2.5	231 +05	8.5	740 +05
5.5	254 +03	1.5	926 +03	7.5	457 +04	3.5	228 +05	9.5	783 +05
6.5	172 +03	2.5	111 +03	8.5	504 +04	4.5	204 +05	200.5	887 +05
7.5	164 +03	3.5	123 +03	9.5	647 +04	5.5	251 +05	1.5	981 +05
8.5	168 +03	4.5	169 +03	170.5	772 +04	6.5	292 +05	2.5	101 +06
9.5	442 +03	5.5	184 +03	1.5	790 +04	7.5	333 +05	3.5	112 +06
140.5	505 +03	6.5	168 +03	2.5	850 +04	8.5	354 +05	4.5	128 +06
1.5	323 +03	7.5	152 +03	3.5	876 +04	9.5	392 +05	5.5	131 +06
2.5	347 +03	8.5	150 +03	4.5	996 +04	190.5	413 +05	6.5	137 +06
3.5	429 +03	9.5	142 +03	5.5	117 +05	1.5	454 +05	7.5	156 +06
4.5	426 +03	160.5	164 +03	6.5	127 +05	2.5	468 +05	8.5	184 +06
5.5	474 +03	1.5	241 +03	7.5	149 +05	3.5	407 +05	9.5	268 +06

Таблица 4. Распределение энергии в УФ-области спектра Солнца для максимального уровня солнечной активности. После λ 209.5 нм следует принять распределение табл. 2 (обозначения те же)

λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$
130.5	142 +04	6.5	104 +04	2.5	371 +04	8.5	191 +05	4.5	676 +05
1.5	295 +03	7.5	129 +04	3.5	459 +04	9.5	191 +05	5.5	739 +05
2.5	275 +03	8.5	127 +04	4.5	511 +04	180.5	237 +05	6.5	804 +05
3.5	117 +04	9.5	120 +04	5.5	786 +04	1.5	277 +05	7.5	846 +05
4.5	278 +03	150.5	136 +04	6.5	625 +04	2.5	277 +05	8.5	851 +05
5.5	517 +03	1.5	143 +04	7.5	610 +04	3.5	273 +05	9.5	900 +05
6.5	385 +03	2.5	172 +04	8.5	665 +04	4.5	244 +05	200.5	976 +05
7.5	389 +03	3.5	189 +04	9.5	835 +04	5.5	301 +05	1.5	108 +06
8.5	383 +03	4.5	257 +04	170.5	984 +04	6.5	345 +05	2.5	111 +06
9.5	961 +03	5.5	277 +04	1.5	101 +05	7.5	394 +05	3.5	123 +06
140.5	105 +04	6.5	250 +04	2.5	106 +05	8.5	419 +05	4.5	140 +06
1.5	648 +03	7.5	224 +04	3.5	108 +05	9.5	464 +05	5.5	144 +06
2.5	665 +03	8.5	219 +04	4.5	122 +05	190.5	475 +05	6.5	151 +06
3.5	802 +03	9.5	205 +04	5.5	144 +05	1.5	522 +05	7.5	172 +06
4.5	777 +03	160.5	234 +04	6.5	154 +05	2.5	538 +05	8.5	202 +06
5.5	836 +03	1.5	344 +04	7.5	181 +05	3.5	468 +05	9.5	295 +06

Наиболее важными работами по измерению абсолютной светимости Солнца в линии L_{α} , опубликованными за последнее время, являются исследования Видал-Мадьяра и др. (см. [18]), в которых приводятся измерения потока солнечного L_{α} излучения вблизи минимума солнечной активности. Показано, что интенсивность линии меняется в два раза от максимума солнечной активности к минимуму, причем минимум наступает за год до минимума по пятнам. Распределение энергии в области спектра вблизи L_{α} для среднего уровня солнечной активности представлено в табл. 5. Источниками для него послужили ракетные данные Рутмана (см. [18]) и результаты исследований Доннелли и Поупа (см. [3]).

В работе [18] дан обзор последних наблюдений L_{α} , где проводится анализ измерений не только для одной линии, но и по результатам для широкого интервала длин волн. Для оценки изменения потока в L_{α} при различных уровнях солнечной активности можно использовать результаты этой работы, где приводится изменение L_{α} излучения во время солнечных циклов 20 и 21.

Таблица 5. Распределение энергии в области линии L_{α} для среднего уровня солнечной активности (обозначения те же, что и в табл. 2)

λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$	λ	$F_{\text{ср}}$
100.5	441 +02	110.5	397 +02	120.5	144 +04
1.5	441 +02	1.5	353 +02	1.5	618 +05
2.5	104 +04	2.5	168 +03	2.5	430 +03
3.5	118 +04	3.5	265 +02	3.5	345 +03
4.5	412 +02	4.5	235 +02	4.5	221 +03
5.5	353 +02	5.5	265 +02	5.5	263 +03
6.5	368 +02	6.5	234 +03	6.5	288 +03
7.5	353 +02	7.5	688 +03	7.5	180 +03
8.5	194 +03	8.5	196 +03	8.5	147 +03
9.5	426 +02	9.5	411 +03	9.5	169 +03

После 1981 г. появились новые работы, относящиеся к измерениям солнечного УФ-спектра на спаде активности цикла 21. Продолжались измерения на баллонах группой Симона (в [19] опубликованы данные за 1980 г., в пределах точности согласующиеся с измерениями Маунта, Хита и Ротмана и Маунта — Ротмана [13]), которые близки к данным эпохи минимума. Для абсолютизации использовалось синхротронное излучение, что позволило, по мнению авторов, достичь точности $\sim 8\%$ в области $\lambda < 230$ нм и $\sim 12\%$ в области 250—300 нм. Переменности солнечного УФ-спектра посвящена работа [15], выполненная по результатам измерений на борту спутника АЕ-Е. В работе отмечена хорошая корреляция между переменностью солнечного УФ-потока и радиоизлучением на волне 10.7 см. В работе [8] приведены результаты пяти измерений интегральной светимости Солнца в полосе 235—287 нм и отмечено ее постоянство в пределах $\sim 3\%$. Наблюдения проводились на баллонах в 1977, 1978, 1980 и 1983 гг. Измерения в полосе 275—360 нм в апреле—декабре 1979 г. и первой половине 1980 г. по результатам наблюдений на ИСЗ Nimbus-7 даны в [11]. Работа [12] содержит результаты измерений спектрального потока УФ-излучения Солнца в области 150—200 нм на ракетах в мае 1978, 1980 и октябре 1981 гг. Для абсолютизации использовалось синхротронное излучение (абсолютизация проводилась до и после полета, ошибка составляет $\sim 12\%$ при длинах волн меньше 185 нм и $\sim 18\%$ для больших длин волн). В работе содержатся данные с разрешением в 1 нм. Отмечено, что эти измерения показывают уменьшение УФ-потока с 1980 г. по 1981 г. на 15%, что согласуется с данными Маунта и Ротмана. Работа [22] выполнена по измерениям 1983 г. на борту космической станции Spacelab-1. Измерялся солнечный поток в 1950 полосах с полушириной 1 нм в УФ-области, для абсолютизации использовалось чернотельное излучение. Отмечено, что внутренняя точность измерений составила $\sim 30\%$ вместо ожидаемой $\sim 5\%$. Это еще раз показывает, что трудности измерения абсолютного распределения солнечной энергии в УФ-области остаются значительными и в настоящее время.

ИК (1—50 мкм)-область спектра Солнца. Наблюдения ИК-светимости Солнца в абсолютных энергетических единицах значительно отличаются от аналогичных наблюдений в УФ-области.

Во-первых, из-за слабой интенсивности ИК-спектра Солнца отличается процесс стандартизации, поскольку требуется низкотемпературная модель черного тела ($T \sim 1500$ К), которая может непосредственно сравниваться с излучением Солнца. По оценкам различных авторов, это обстоятельство повышает внутреннюю точность рядов наблюдений до нескольких процентов вследствие уменьшения числа редуций.

Во-вторых, в этом диапазоне практически отсутствуют линии поглощения. Это дает более надежную шкалу интенсивностей, а следовательно, и лучшее согласие рядов наблюдений разных авторов, особенно при сравнении наблюдений, выполненных с разной дисперсией.

В-третьих, в рассматриваемой области спектра земная атмосфера частично прозрачна для ИК-излучения (поглощение полосами водяного пара, углекислого газа, озона и др.), что позволяет в «окнах прозрачности» производить надежные наблюдения. Это несомненно облегчает и упрощает натурные измерения, но вызывает ошибки, связанные с экстраполяцией за атмосферу и учетом влияния теллурических полос.

В целом, рассматриваемая область солнечного излучения описывается наиболее просто с физической точки зрения. Это излучение возникает в условиях ЛТР и обусловлено хорошо изученными механизмами. Результаты разных авторов, как правило, достаточно хорошо согласуются друг с другом ($\sim 4-5\%$, редко до десятка процентов). Поэтому в последнее время появилось мало работ, посвященных этой теме.

Наибольшее количество наблюдений Солнца в ИК-диапазоне выполнено до начала 70-х годов и все они уже сведены в несколько различных систем. Немногие новейшие исследования в этой области, по-видимому, могут лишь дать возможность выбора оптимальной системы и, возможно, указать на спорные или требующие дополнительных исследований участки спектра.

В настоящее время наиболее известными сводными рядами являются: ряд Е. А. Макаровой и А. В. Харитоновой [1], Смита и Готлиба [20], сводный ряд, приведенный в сборнике [3] и, наконец, ряд комитета по солнечной радиации США [21]. Построение этих рядов и используемые первоисточники подробно описаны в каждой из этих работ.

Четыре вышеуказанные сводные распределения представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, в целом, ряды согласуются неплохо. Различия, достигающие нескольких десятков процентов, существуют лишь в области $2-5$ мкм, 14 мкм и 25 мкм.

Можно с уверенностью сказать, чем вызван подъем ряда Смита и Готлиба [20] в области 25 мкм. Именно на этой длине волны, где стыкуются две спектральные области ($10-24$ мкм и 25 мкм $\div 2$ см), которые обрабатывались авторами независимо друг от друга, они просто перешли от одних источников данных к другим [20]. Между тем такой скачок в интенсивности дает увеличение яркостной температуры Солнца в этой области спектра на 500 К. Становится очевидным, что здесь данными Смита и Готлиба пользоваться нельзя. В более коротковолновой области их данные представляют собой сглаженные значения (меньшее разрешение) данных комитета по солнечной радиации США [21]. Данные [3] в диапазоне $10-50$ мкм имеют очень низкое разрешение и близки к данным Е. А. Макаровой и А. В. Харитоновой. Таким образом, в этой области все распределения сводятся лишь к двум рядам: ряду [1] и ряду стандарта США [21]. Основное различие между ними приходится на область спектра $2-5$ мкм. Авторы [1] довольно убедительно обосновали, что это различие вызвано серьезными ошибками наблюдений на монохроматоре Перкина — Эльмера, использовавшимся для выведения стандарта США.

Из новейших исследований нами выделены данные [4, 16] и результаты измерений, полученные на орбитальной станции «Салют-5» [2] (рис. 2).

Анализ рис. 2 показывает хорошее согласие результатов [1] и [4]. Данные [16] ближе к данным [20], но они совершенно не стыкуются с результатами измерений [2], которые в свою очередь хорошо согласуются с рядом Макаровой и Харитонова. Сами авторы работы [2] считают, что отклонения их распределения заключены в пределах 5%. Лишь на участках $5 \div 7$ и $9 \div 10$ мкм различия достигают 10% (при наблюдениях с Земли здесь сказывается поглощение парами воды и озоном).

Таким образом, в рассматриваемой области спектра Солнца, по видимому, наиболее достоверным является ряд Макаровой и Харитонова, который в настоящее время пока не может быть заменен лучшим.

1. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная.— М.: Наука, 1972.—288 с.
2. Марков М. Н., Волинов Б. В., Жолобов В. М. и др. Спектр и переменность излучения Солнца в диапазоне 3—13 мкм («Салют-5») // Космич. исслед.—1980.—18, № 3.—С. 408—414.
3. Поток энергии Солнца и его измерения / Под ред. О. Уайта.— М.: Мир, 1980.—558 с.
4. Baluteau J. P. Solar brightness measurement between 12 and 24 microns // *Astron. and Astrophys.*—1971.—14, N 3.—P. 428—436.
5. Broadfoot A. L. The solar spectrum 2100—3200 Å // *Astrophys. J.*—1972.—173, N 3.—P. 681—689.
6. Brueckner G. E., Bartoc J.—D. F., Moe O. K., van Hoosier M. E. Absolute solar ultraviolet intensities and their variations with solar activity. I. The wavelength region 1750—2100 Å // *Astrophys. J.*—1976.—209, N 3.—P. 935—944.
7. Brueckner G. E. The variability of the sun's ultraviolet radiation // *Stratospheric workshop.*—Hampton: NASA/NOAA, 1981.—15 p.
8. Hall L. A., Anderson G. P. Solar ultraviolet variation between 1977 and 1983 // *J. Geophys. Res.*—1984.—D89, N 5.—P. 7322.
9. Heath Donald F. A review of observational evidence for short and long term ultraviolet flux variability of the Sun // *Soleil et Clim. Journ. etud. int. Toulouse*, 1981, P. 447—471.
10. Heroux L., Swirbalus R. A. Full-disk solar fluxes between 1230 and 1940 Å // *J. Geophys. Res.*—1976.—81, N 3.—P. 436—440.
11. Hickey J. R., Alton B. M., Griffin F. J. et al. Indications of solar variability in the near UV from the Nimbus-7. ERB experiment // *Symp. Sol. Constant and Spectral Distr. Sol. Irradiance*, Hamburg, 17—28 Aug. 1981, *Collect. Extend. Abstr.*—Boulder: Colo., 1982.—P. 103—109.
12. Mentall J. E., Guenther B., Williams D. The solar spectral irradiance between 150 and 200 nm // *J. Geophys. Res.*—1985.—D90, N 1.—P. 2265—2271.
13. Mount G. H., Rottman G. J. The solar absolute spectral irradiance 1150—3173 Å: May 17, 1982. // *Ibid.*—1983.—C88, N 9.—P. 5403—5410.
14. Mount G. H., Rottman G. J., Timothy J. G. The solar spectral irradiance 1200—2550 Å at solar maximum // *Ibid.*—1980.—85, N 9.—P. 4271—4274.
15. Oster L. Solar irradiance variations. 2. Analysis of extreme ultraviolet measurements on board the AE—E satellite // *Ibid.*—1983.—A88, N 11.—P. 9037—9052.
16. Rast J., Cartier F., Kneubühl F. K. et al. Measurement of the absolute solar brightness temperature in the far-infrared with a balloon-borne interferometer // *Astron. and Astrophys.*—1980.—83, N 1/2.—P. 199—200.
17. Samain P., Simon P. C. Solar flux determination in the spectral range 150—210 nm // *Solar Phys.*—1976.—49, N 1.—P. 33—41.
18. Simon P. C. Solar irradiance between 120 and 400 nm and its variations // *Ibid.*—1981.—74, N 1.—P. 273—291.
19. Simon P. C., Pastiels R., Nevejans D. Balloon observations of solar ultraviolet irradiance at solar minimum // *Planet. Space Sci.*—1982.—30, N 2.—P. 67—71.
20. Smith V. P., Gottlieb M. Solar flux and its variations // *Space Sci. Rev.*—1974.—16, N 3.—P. 771—802.
21. Thekaekara M. P., Drummond A. J. Standard values for the solar constant and its spectral components // *Nature.*—1971.—229, N 1.—P. 6—9.
22. Thuillier G., Goutail J. P., Simon P. C. et al. Measurements of the solar spectral irradiance from 200 to 3000 nanometers // *Science.*—1984.—225, N 4658.—P. 182—184.