

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК МАЛОЙ МОЩНОСТИ. РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВСПЫШЕК ПО ПЛОЩАДИ, ЯРКОСТИ И БАЛЛАМ

STATISTICAL STUDIES OF LOW-POWER SOLAR FLARES. DISTRIBUTION OF FLARES BY AREA, BRIGHTNESS, AND CLASSES

А.В. Боровик

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия, aborovik@iszf.irk.ru*

А.А. Жданов

*Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Иркутск, Россия*

A.V. Borovik

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia, aborovik@iszf.irk.ru*

A.A. Zhdanov

*Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS,
Irkutsk, Russia*

Аннотация. Создана электронная база данных для 123801 солнечных вспышек, произошедших на Солнце с 1972 по 2010 гг. Основу составили каталоги Solar Geophysical Data (SGD) и квартального бюллетеня (Quarterly Bulletin on Solar Activity). С помощью разработанного пакета программ проведена предварительная статистическая обработка данных. Первые результаты позволили выявить ряд новых особенностей в распределении параметров солнечных вспышек, отличных от полученных ранее. Установлено, что более 90 % всех происходящих на Солнце вспышек имеют малую мощность. Самый многочисленный класс составляют вспышки балла SF (64 %). Вспышечная активность показывает хорошо выраженную цикличность и высокую корреляцию с числами Вольфа. Самые высокие коэффициенты корреляции имеют вспышки классов площади S и 1. Существует также высокая корреляция между отдельными классами вспышек: S и 1, 1 и (2–4).

Полученные ранее [Mitra et al., 1972] результаты, свидетельствующие о превалировании на Солнце вспышек балла SN (47 %) и существовании значимых пиков в распределении для вспышек баллов SN и 1N, не подтвердились. Распределение числа солнечных вспышек с ростом оптического балла имеет плавный спад без существенных отклонений. С ростом оптического балла происходит постепенное перераспределение вспышек в сторону увеличения класса яркости. Большое число вспышек баллов SN и 1N, присутствующее на распределениях [Mitra et al., 1972], по всей вероятности, связано с недостаточной статистикой.

Ключевые слова: солнечная активность, вспышки.

Abstract. An electronic database has been created for 123801 solar flares that occurred on the Sun over the period from 1972 to 2010. It is based on catalogs of the Solar Geophysical Data (SGD) and Quarterly Bulletin on Solar Activity.

A software package has been used for statistical data preprocessing. The first results revealed a number of new features in the distribution of parameters of solar flares, which differ from those obtained previously. We have found that more than 90 % of all solar flares are low-power. The most numerous class comprises SF flares (64 %). Flare activity shows a pronounced cyclicity and high correlation with Wolf numbers. The highest correlation coefficients indicate S and 1 solar flares. There is also a high correlation between individual flare classes: S and 1, 1 and (2–4).

The results obtained previously [Mitra et al., 1972] which provide evidence of the prevalence of SN solar flares (47 %) and the existence of significant peaks for SN and 1N flares, have not been confirmed. The distribution of the number of solar flares with increasing optical importance smoothly decreases without significant deviations. With increasing optical importance, solar flares are gradually redistributed toward an increase in brightness class. The excess of the number of SN and 1N solar flares present in the distributions obtained in [Mitra et al., 1972] are most likely associated with poor statistics.

Keywords: solar activity, flares.

ВВЕДЕНИЕ

Пространственные и временные параметры солнечных вспышек в оптическом диапазоне длин волн были подробно изучены еще в годы становления международного вспышечного патруля, в период комплексного изучения глобальных геофизических процессов в рамках международных программ МГГ. Наблюдения велись в линиях H α , H

и K CaII и в меньшей степени в других бальмеровских линиях. Патруль проводился в основном в линии H α ($\lambda=6563$ Å). Большинство станций использовали разные по своим оптическим характеристикам приборы и инструменты: спектрогелиографы (спектрогелиоскопы), фильтры Лию с полосой пропускания от 0.5 до 0.75 Å. Не все станции применяли автоматическую кино съемку и стандартизованные методы измерений.

По первой, введенной в 1956 г. международной классификации солнечные вспышки делились по баллам в зависимости от площади участка хромосферы, охваченного вспышкой. В 1966 г. была введена новая классификация, согласно которой балл вспышки определялся по полной энергии W , излучаемой в линии $H\alpha$:

$$W = S_0 I t,$$

где S_0 — площадь вспышки, исправленная за перспективное сокращение в момент максимальной яркости; I — интенсивность; t — продолжительность.

По новой оптической классификации, вспышки по площади подразделялись на пять классов – S, 1, 2, 3, 4 (таблица 1). Площадь вспышки выражалась в квадратных градусах (кв. град), миллионных долях площади солнечного диска (м.д.д.) или миллионных долях площади полусферы (м.д.п.). В центре диска 1 кв. град = 97 м.д.д. = 48.5 м.д.п. Каждый класс площади делился на три класса яркости: F (слабые вспышки), N (нормальные) и B (яркие). Эта классификация широко используется до настоящего времени.

Таблица 1
Классификация солнечных вспышек по наблюдениям в линии $H\alpha$

Интенсивность	Площадь, кв. град				
	≤ 2.0	2.1–5.1	5.2–12.4	12.5–24.7	>24.7
Слабая (F)	S	1	2	3	4
Нормальная (N)	S	1	2	3	4
Яркая (B)	S	1	2	3	4

Солнечные вспышки, имеющие баллы 2B и выше, как правило, являются геоэффективными, особенно если сопровождаются радиовсплесками II и IV типов. Многие геофизические явления обусловлены также воздействием рентгеновского излучения вспышек. Рентгеновские баллы вспышек оцениваются по прямым измерениям максимального потока в диапазоне (1–8 Å) с комплекса спутников GOES [Sotnikova, 2010].

При обработке сводных данных международного вспышечного патруля исследователи столкнулись с целым рядом трудностей [Warwik, 1965; Смит, Смит, 1966; Копецкая, Копецкий, 1971; Ward et al., 1973]. Из-за разных подходов и методов измерений более чем в 30 % случаев различия в площадях достигали 100 %, в 5 % случаев — порядка 500 % [Россада, 1977]. Это было связано с тем, что одни станции определяли площадь вспышки на уровне яркости флоккула, другие учитывали только самые яркие участки. Ошибки возникали также при исправлении площади за перспективное сокращение:

$$S_0 = S_{изм} \sec \theta,$$

где S_0 — исправленная площадь; $S_{изм}$ — площадь, измеренная на момент максимальной яркости вспышки; θ — геоцентрический угол между центром солнечного диска и вспышкой. Поскольку вспышки не являются плоскими образованиями, эту формулу можно было использовать до $\theta = 65^\circ$. После 65° коррекция становилась ненадежной, особенно для малых вспышек. Для вспышек площадью более

2 кв. град вычисления до $\theta \approx 72^\circ$ проводились по формуле

$$S_0/S_{изм} = (\cos \theta + k \sin \theta),$$

где $k = 0.2$ (по мере роста $S_{изм}$ коэффициент увеличивается, достигая для крупных вспышек значения 0.5). Для повышения надежности вычислений привлекались также графики одинаковой частоты встречаемости вспышек в центре и на краю диска, а также другие критерии.

При определении интенсивности вспышки результат сильно зависел от чистоты монохроматора: отношения центральной длины волны к ширине полосы пропускания (полной ширине на уровне 1/2 интенсивности). Необходимую спектроскопическую чистоту обеспечивали в то время спектрогелиоскопы (спектрогелиографы) и интерференционно-поляризационные фильтры (ИПФ). Последние позволяли достичь высокого временного разрешения съемки и благодаря малым габаритам и простоте эксплуатации чаще всего использовались для патрульных наблюдений. При наблюдениях с помощью ИПФ интенсивность вспышек существенно зависела от угла наклона фильтра к оси телескопа, установки лайншифтера, а также от контура полосы пропускания. При ширине полосы 0.5 Å интенсивность вспышки была примерно на 20 % выше интенсивности при полосе пропускания фильтра в 0.7 Å [Абраменко и др., 1960]. Хорошее согласие между станциями в измерениях интенсивности вспышек удавалось получить, если совпадали масштабы изображений, форма и ширина полосы пропускания. В других случаях вводились поправочные коэффициенты (уровнение станции).

Помимо ошибок, вносимых инструментом, фотометрией и методикой измерений, значительную роль при определении параметров вспышек играл субъективный фактор. Известно, что световая кривая вспышки имеет резкий подъем и медленный спад. Начало вспышки устанавливается довольно уверенно. Время, когда вспышка достигает максимальной яркости или полностью заканчивается, определить довольно сложно: одни участки затухают быстро, другие продолжают «гореть» еще долгое время. В результате существовали большие расхождения в определении продолжительности вспышки на разных станциях.

За последние два десятилетия инструментальная база солнечной астрономии продвинулась далеко вперед. Вошли в строй новые телескопы, повысилась разрешающая способность инструментов, существенно возросли оперативность и точность измерений. С применением в астрономии CCD-камер крупного формата (4 мегапикселя и более) новое развитие получили наблюдения в линии $H\alpha$. С 1996 г. они ведутся в обсерватории Биг-Бэр (Big Bear, США) и Центре солнечно-земных исследований Хираисо (Япония). CCD-камеры по своим характеристикам значительно превосходят фотографические приемники: обладают большим динамическим диапазоном амплитуды сигнала, высокой фотометрической точностью, малыми экспозициями, позволяют

оперативно выводить информацию в цифровом виде, передавать и обрабатывать ее с помощью современных компьютерных систем.

Наиболее подробное исследование распределения солнечных вспышек по площади, яркости и баллам в оптическом диапазоне длин волн было выполнено в [Mitra et al., 1972]. Результаты приведены в работе [Алтынцев и др., 1982]. В дальнейшем был проведен подобный анализ для отдельных классов вспышек [Temmer et al., 2001]. Учитывая, что детальных исследований в этой области за последние десятилетия не проводилось, мы поставили цель уточнить статистические характеристики солнечных вспышек по данным международного вспышечного патруля за последние три солнечных цикла (21–23).

БАЗА ДАННЫХ

Подробную информацию о происходящих на Солнце событиях предоставляют архивы отечественных и зарубежных обсерваторий: бюллетень «Солнечные данные» ГАО (1958–1995 гг.), базы данных ИЗМИРАН (вспышки за 23 и 24 солнечных цикла с рентгеновским балом $M1-X > 17.5$), каталоги вспышек с длительным (более 4 ч) затуханием мягкого рентгеновского излучения [Antalova, 1987], каталоги крупных протонных событий и др. В оптическом диапазоне длин волн наиболее полной на сегодняшний день базой солнечных вспышек являются каталоги Solar Geophysical Data (SGD) и Квартального бюллетеня (Quarterly Bulletin on Solar Activity). В соответствии с современной классификацией вспышек SGD предоставляет данные с 1975 по 2010 г., Квартальный бюллетень — с 1972 по 1989 г. Чтобы провести статистический анализ по наибольшему числу вспышек и снизить влияние неоднородности данных, мы дополнили SGD до 1972 г. вспышками из Квартального бюллетеня.

Подавляющее большинство сообщений (66.6 %) в каталогах SGD и Quarterly Bulletin on Solar Activity приходится на четыре станции (рис. 1):

HOLL — Holloman Solar Observatory, база BBC, Нью-Мексико, США;

LEAR — Learmonth Solar Observatory, Австралия;

RAMY — Ramey Solar Observatory, Пуэрто-Рико;

CULG — Rothney Astrophysical Observatory, Канада.

На начальном этапе исследования использовались наблюдения всех станций. Обработка данных проводилась с помощью специально разработанного для этой цели пакета программ. Были исправлены ошибки, опечатки, неточности, встречающиеся в каталогах. Исключено дублирование одних и тех же событий. Учтены случаи, когда станции не сообщали класс площади вспышки, класс яркости, время начала, максимума, окончания вспышки и др. В результате была сформирована электронная база данных из 123 801 вспышек, из которых 110 778 составляли вспышки малой мощности, 11280 имели класс площади 1 и 1743 — класс 2 и выше.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК КЛАССОВ ПЛОЩАДИ S, 1, 2–4 В 21–23 СОЛНЕЧНЫХ ЦИКЛАХ

На рис. 2 приведено распределение числа солнечных вспышек по месяцам с 1972 по 2010 г.

Таблица 2 и рис. 3–5 дают представление о распределении в 21–23 циклах вспышек классов площади S, 1 и 2–4.

Таблица 2

	Цикл 21	Цикл 22	Цикл 23
Класс S	46 945	31 833	20 032
Класс 1	5526	3331	1666
Класс (2–4)	696	565	410
Σ	53 167	35 729	22 108

Самым активным по числу вспышек был 21 солнечный цикл. Распределения и данные таблицы свидетельствуют, что вспышки всех без исключения классов показывают хорошо выраженную цикличность и высокую корреляцию с числами Вольфа W . Коэффициенты корреляции приведены в табл. 3.

Таблица 3

	Цикл 21	Цикл 22	Цикл 23	1972–2010 гг.
$W \leftrightarrow S$	0.96	0.94	0.89	0.89
$W \leftrightarrow 1$	0.90	0.90	0.83	0.83
$W \leftrightarrow (2-4)$	0.77	0.77	0.67	0.76
$S \leftrightarrow 1$	0.90	0.92	0.90	0.91
$S \leftrightarrow (2-4)$	0.76	0.76	0.75	0.74
$1 \leftrightarrow (2-4)$	0.87	0.86	0.82	0.83

Самые высокие коэффициенты корреляции имеют вспышки классов площади S и 1. Существует также высокая корреляция между отдельными классами вспышек: $S \leftrightarrow 1$ и $1 \leftrightarrow (2-4)$.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО КЛАССАМ ПЛОЩАДИ

Для исследования статистических характеристик солнечных вспышек данные предварительно были подвергнуты довольно жесткой селекции. Из-за возможных ошибок в определении класса площади вспышек вблизи края солнечного диска из базы данных были исключены вспышки класса площади S и 1, произошедшие далее 65° от центрального меридиана. Вспышки большого класса площади (2, 3 и 4) не исключались. Надо полагать, для них определить класс площади не представляет трудностей. Из базы данных были исключены также вспышки, наблюдаемые при плохом качестве изображения (в SGD отмечены цифрой 1 по трехбалльной шкале), и вспышки, параметры которых оценивались визуально.

В каталогах SGD все сообщения об одной и той же вспышке, как правило, объединяются в отдельные группы под одним номером. В начале каждой группы приводятся наиболее вероятные параметры вспышки, полученные методом усреднения данных

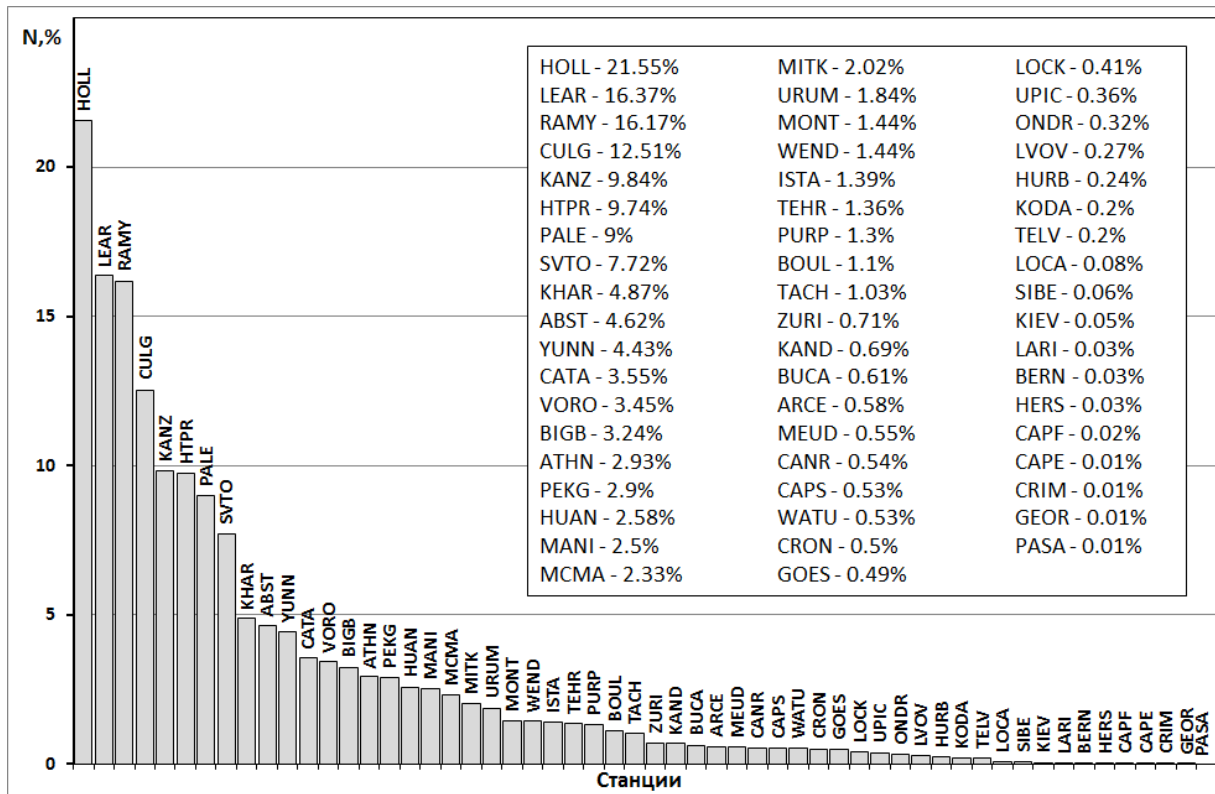


Рис. 1. Распределение числа солнечных вспышек по станциям (в процентах)

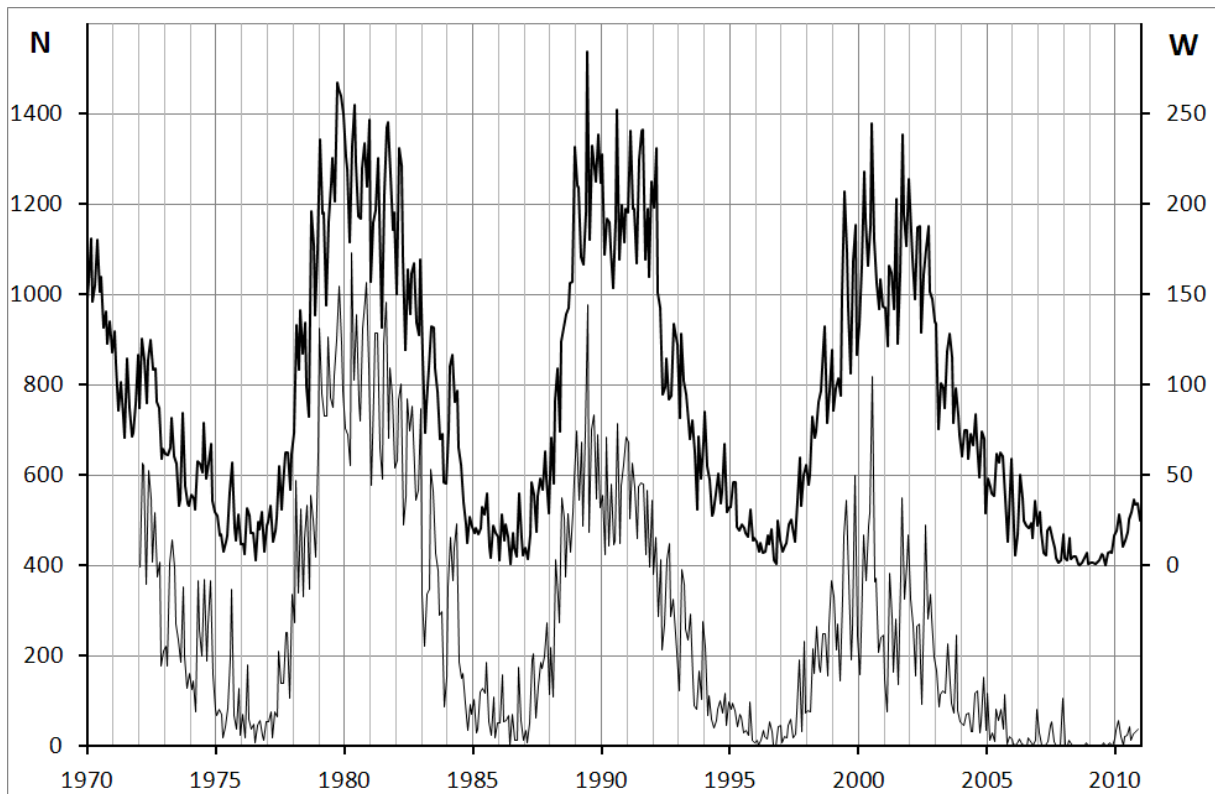


Рис. 2. Распределение солнечных вспышек по месяцам (1972–2010 гг.): N — количество вспышек. Верхний график — изменение чисел Вольфа W

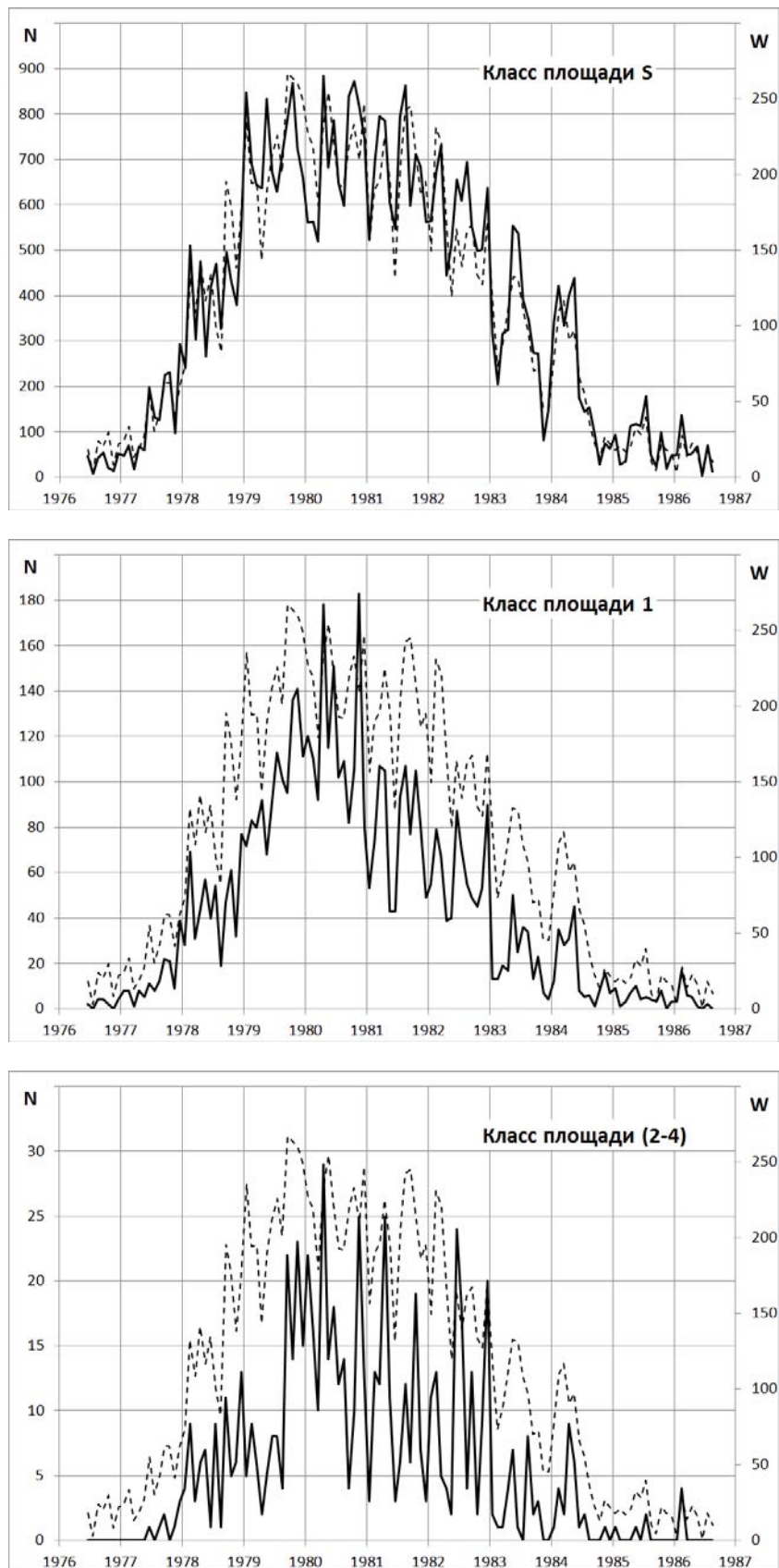


Рис. 3. Распределение солнечных вспышек классов площади S, 1, 2–4 по месяцам в 21 цикле (июнь 1976 г. — сентябрь 1986 г.). Штриховой линией показаны изменения чисел Вольфа W

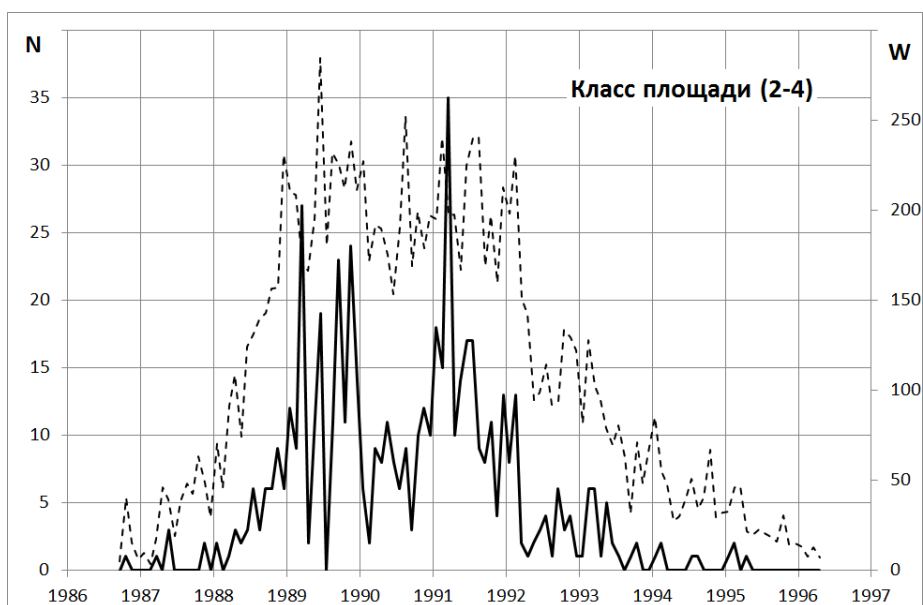
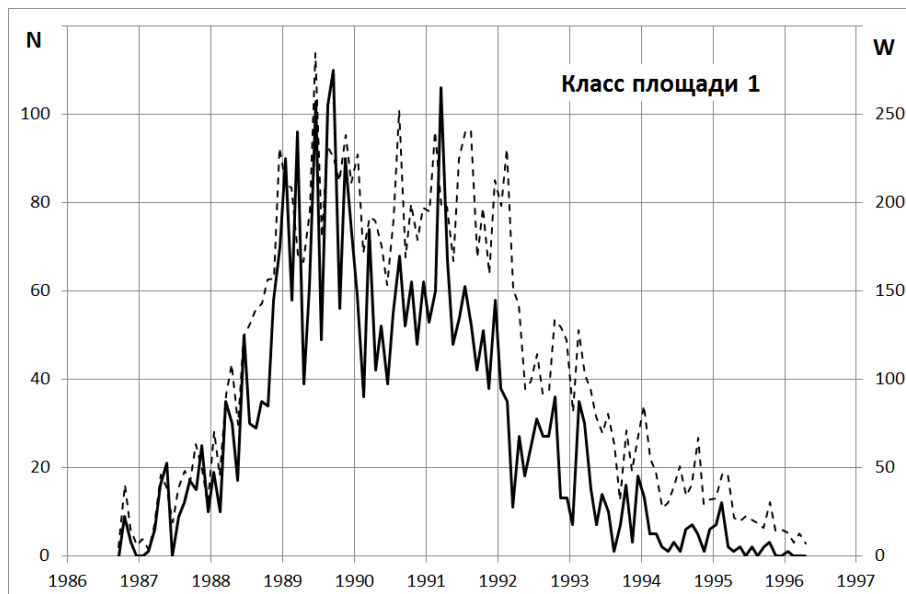
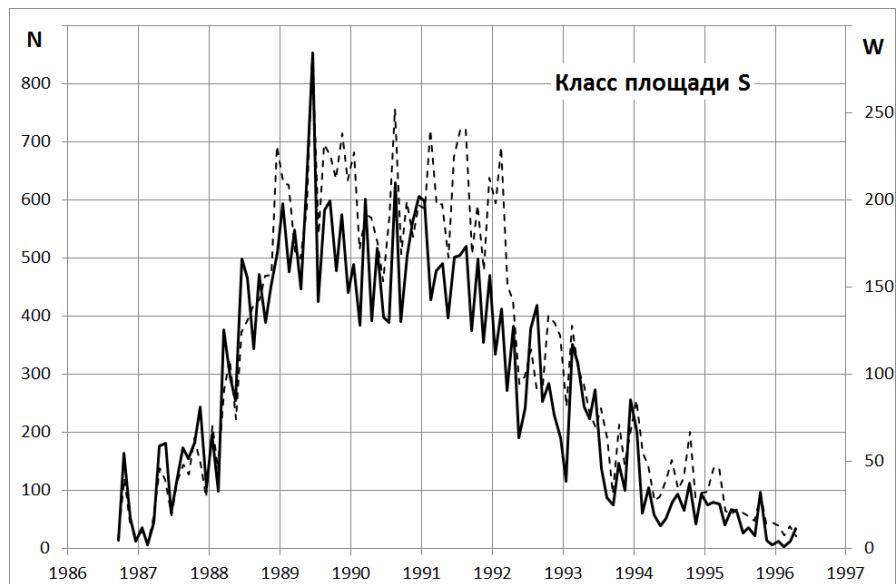


Рис. 4. Распределение солнечных вспышек классов площади S, 1, 2–4 по месяцам в 22 цикле (сентябрь 1986 г. — май 1996 г.)

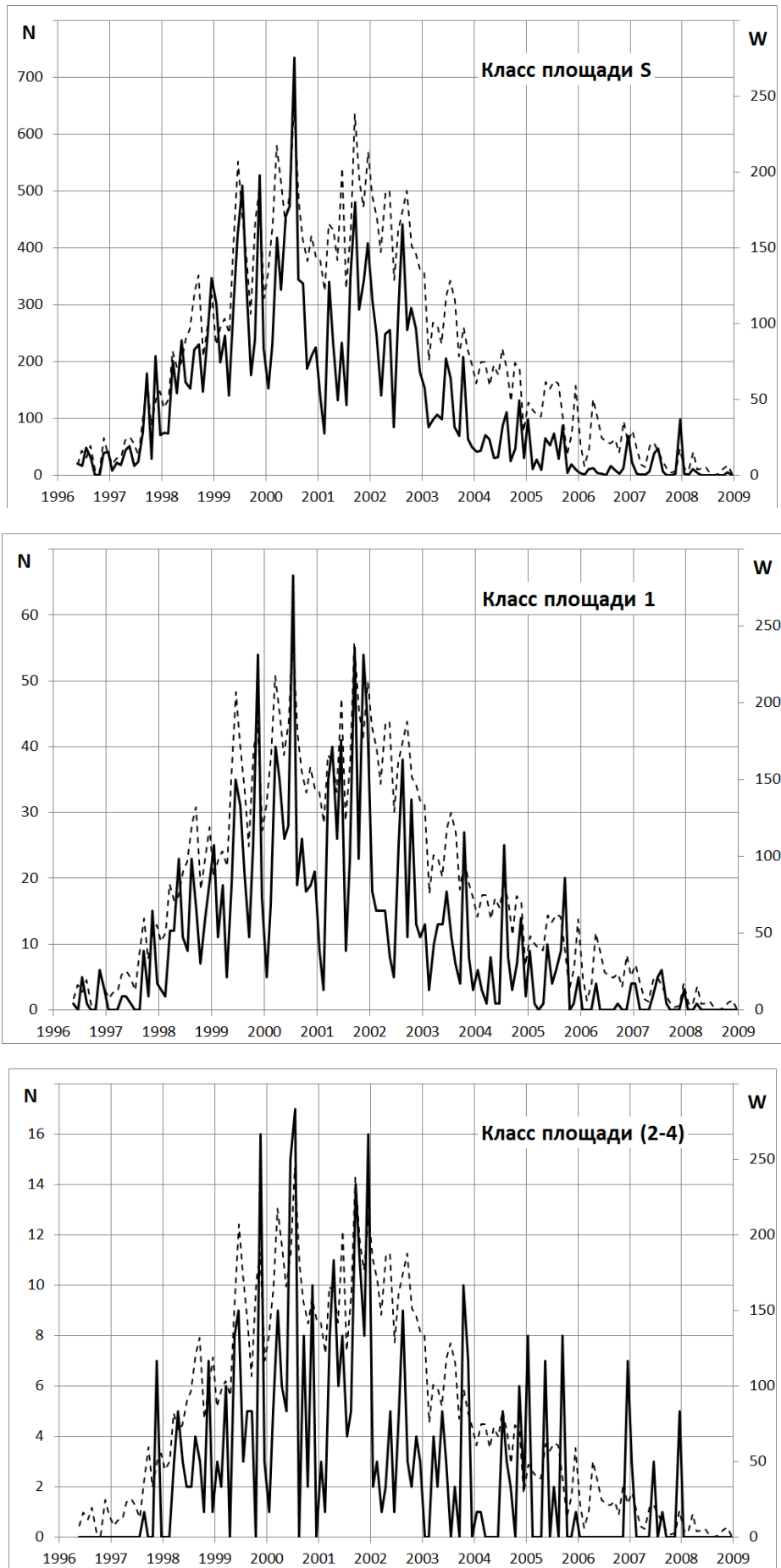


Рис. 5. Распределение солнечных вспышек классов площади S, 1, 2–4 по месяцам в 23 цикле (май 1996 г. — январь 2009 г.)

всех станций, входящих в группу (см. описание таблиц SGD). Таких групп за рассматриваемый период насчитывалось около 40 тыс. В нашем случае мы отказались от использования обобщенных данных. В группах были применены те же критерии отбора, что и для всех вспышек. Из оставшихся станций предпочтение отдавалось той, которая по числу сообщений занимала более высокую ступень в рейтинге (рис. 1). В результате проведенной селекции общее количество вспышек составило 98 225, из которых 88518 имели класс площади S, 8012 относились к классу 1, 1509 вспышек — к классу площади 2 и 186 вспышек — к классу 3 и 4 (табл. 4).

Таблица 4

	F	N	B	Σ
S	62 814	21 354	4350	88 518
1	2591	3569	1852	8012
2	220	598	691	1509
3-4	17	36	133	186
Σ	65 642	25 557	7026	98 225

Распределения вспышек по площади приведены в табл. 4 и 5. В табл. 5 под цифрой I даны результаты [Mitra et al., 1972] по 8230 вспышкам; под цифрой II — результаты, полученные в работе [Temmer et al., 2001] по данным SGD за 1975–1999 гг. для вспышек классов площади S, 1 и >1; под цифрой III — результаты авторов (на рисунках выделены жирным шрифтом). На рис. 6 и далее на всех рисунках распределения, полученные в [Mitra et al., 1972], показаны штриховой линией, данные работы [Temmer et al., 2001] взяты в скобки и на отдельных рисунках показаны тонкой линией.

Таблица 5

Класс площади	Встречаемость по классам яркости, %									Σ, %		
	F			N			B			I	II	III
	I	II	III	I	II	III	I	II	III			
S	27.3	59.30	63.95	47.4	26.15	21.74	7.7	3.87	4.43	82.4	89.32	90.12
1	2.3	2.35	2.64	9.7	5.32	3.63	3.7	1.84	1.89	15.7	9.52	8.16
2	0.1	0.09	0.22	0.7	0.50	0.61	1	0.57	0.70	1.8	1.16	1.54
3-4	—	—	0.02	0.02	0.04	0.11	—	—	0.14	0.1	—	0.19
Σ, %	29.7	61.74	66.83	57.8	31.97	26.02	12.5	6.29	7.15			

Результаты свидетельствуют, что из суммарного числа вспышек (98 225) подавляющее большинство имеет класс площади S (90.1 %). Это на 7.7 % выше значения, полученного в [Mitra et al., 1972] и практически совпадает с данными работы [Temmer et al., 2001]. Для класса площади 1 число вспышек на 7.5 % ниже, чем в [Mitra et al., 1972]; для класса 2 — ниже на 0.3 % и для классов 3–4 — выше на 0.09 %. По сравнению с работой [Temmer et al., 2001] для вспышек класса 1 полученный результат на 1.4 % ниже. Соотношения между отдельными классами площади по числу вспышек следующие: $N_S/N_1=11.0$; $N_S/N_2=58.7$; $N_S/N_{3-4}=475.9$; $N_1/N_2=5.3$; $N_1/N_{3-4}=43.1$; $N_2/N_{3-4}=8.1$.

Соотношения получены делением числа вспышек одного класса площади на число вспышек другого (табл. 4).

На рис. 7 (табл. 4, 6) представлены распределения вспышек по классам площади отдельно для каждого класса яркости F, N, B.

Таблица 6

Класс площади	Класс яркости								
	F			N			B		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
S	92.0	96.05	95.69	82.0	81.79	83.55	61.8	61.55	61.91
1	7.7	3.81	3.95	16.8	16.65	13.96	29.6	29.35	26.36
2	0.3	0.14	0.34	1.2	1.56	2.34	7.7	9.10	9.83
3-4	—	—	0.03	0.04	—	0.14	0.9	—	1.89

В классе яркости F кривые распределений показывают довольно крутой спад. По мере продвижения к классу B кривые постепенно выпрямляются и становятся более пологими за счет увеличения числа ярких вспышек высоких классов площади. В целом характер полученных кривых почти идентичен распределениям [Mitra et al., 1972]. Небольшие изменения произошли в классе яркости F (рис. 7, а): на 3.7 % возросло количество вспышек класса площади S и практически на такую же величину уменьшилось количество вспышек класса площади 1. В классах яркости N и B отличия (в большую или меньшую сторону) находятся в пределах 0.1–3.2 % (рис. 7, б, в).

Для слабых S вспышек данные [Temmer et al., 2001] практически совпадают с полученными нами результатами. Для вспышек класса площади 1 (нормальных N и ярких B) число вспышек примерно на 3 % выше, что ближе к результатам [Mitra et al., 1972].

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО КЛАССАМ ЯРКОСТИ

Существенные отличия от результатов, полученных ранее, были установлены в распределениях вспышек по яркости. Согласно [Mitra et al., 1972], на Солнце происходят преимущественно умеренные по яркости вспышки класса N (рис. 8).

Из полученных нами результатов следует, что чаще всего на Солнце происходят слабые F вспышки. С увеличением класса яркости число вспышек резко снижается. Это подтверждается и данными работы [Temmer et al., 2001]. Разница в значениях для F и N вспышек составляет примерно 5 %.

Соотношения между числом вспышек в соответствующих классах яркости следующие: $N_F/N_N=2.6$; $N_F/N_B=9.3$; $N_N/N_B=3.6$

Существенные отличия были получены также в распределении вспышек по яркости в пределах каждого класса площади (рис. 9, табл. 7).

Таблица 7

Класс яркости	Класс площади									
	S			1			2		3-4	
	I	II	III	I	II	III	I	III	I	III
F	33.1	66.39	70.96	14.5	24.69	32.34	5.5	14.58	—	9.14
N	57.5	29.28	24.12	61.8	55.93	44.55	39.7	39.63	18.2	19.35
B	9.4	4.33	4.91	23.7	19.38	23.12	54.8	45.79	81.8	71.51

По сравнению с данными [Mitra et al., 1972] вспышек слабой яркости F происходит в 2.1 раза больше, умеренных N, наоборот, в 2.4 раза меньше. В 1.9 раза меньше ярких B-вспышек. Для малых S-вспышек полученная гистограмма свидетельствует о том, что от класса яркости F до класса яркости B число вспышек резко снижается. Пик, при-

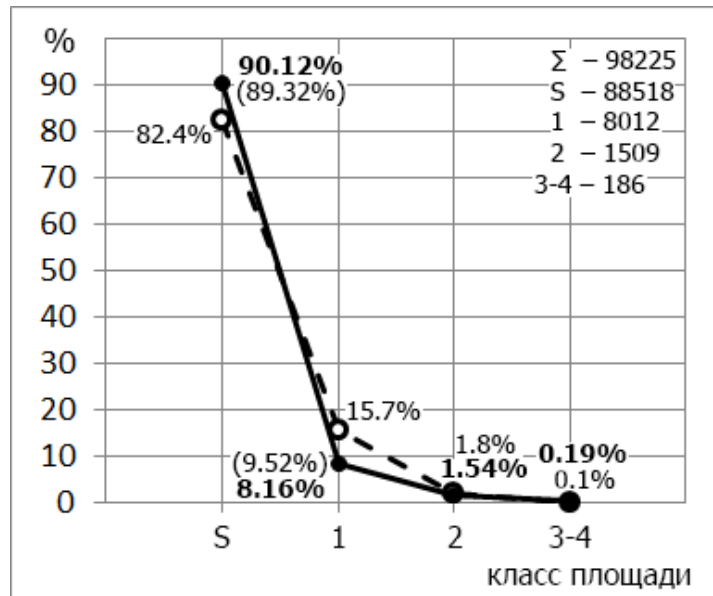


Рис. 6. Распределение солнечных вспышек по классам площади

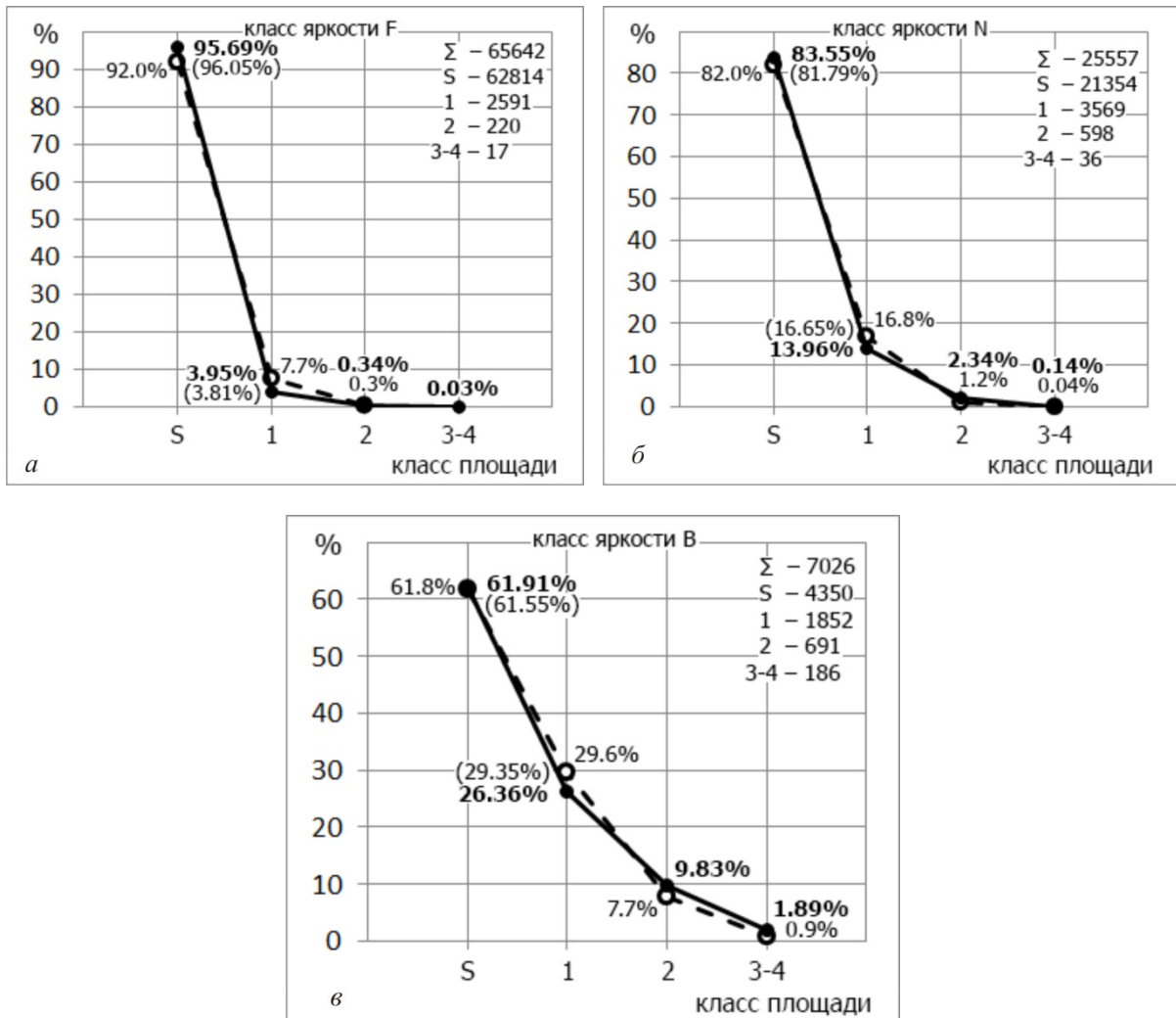


Рис. 7. Распределения вспышек по площади: а — для класса яркости F; б — для класса яркости N; в — для класса яркости B

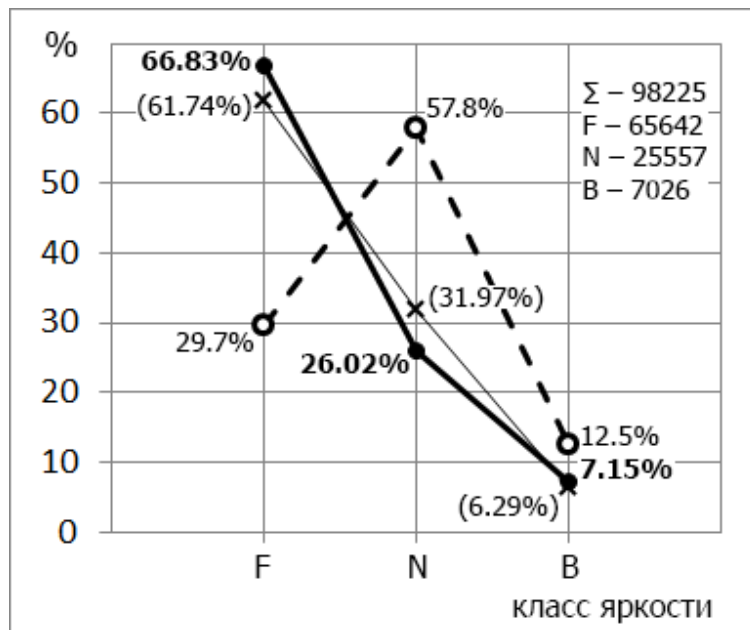


Рис. 8. Распределение солнечных вспышек 1972–2010 гг. по классам яркости

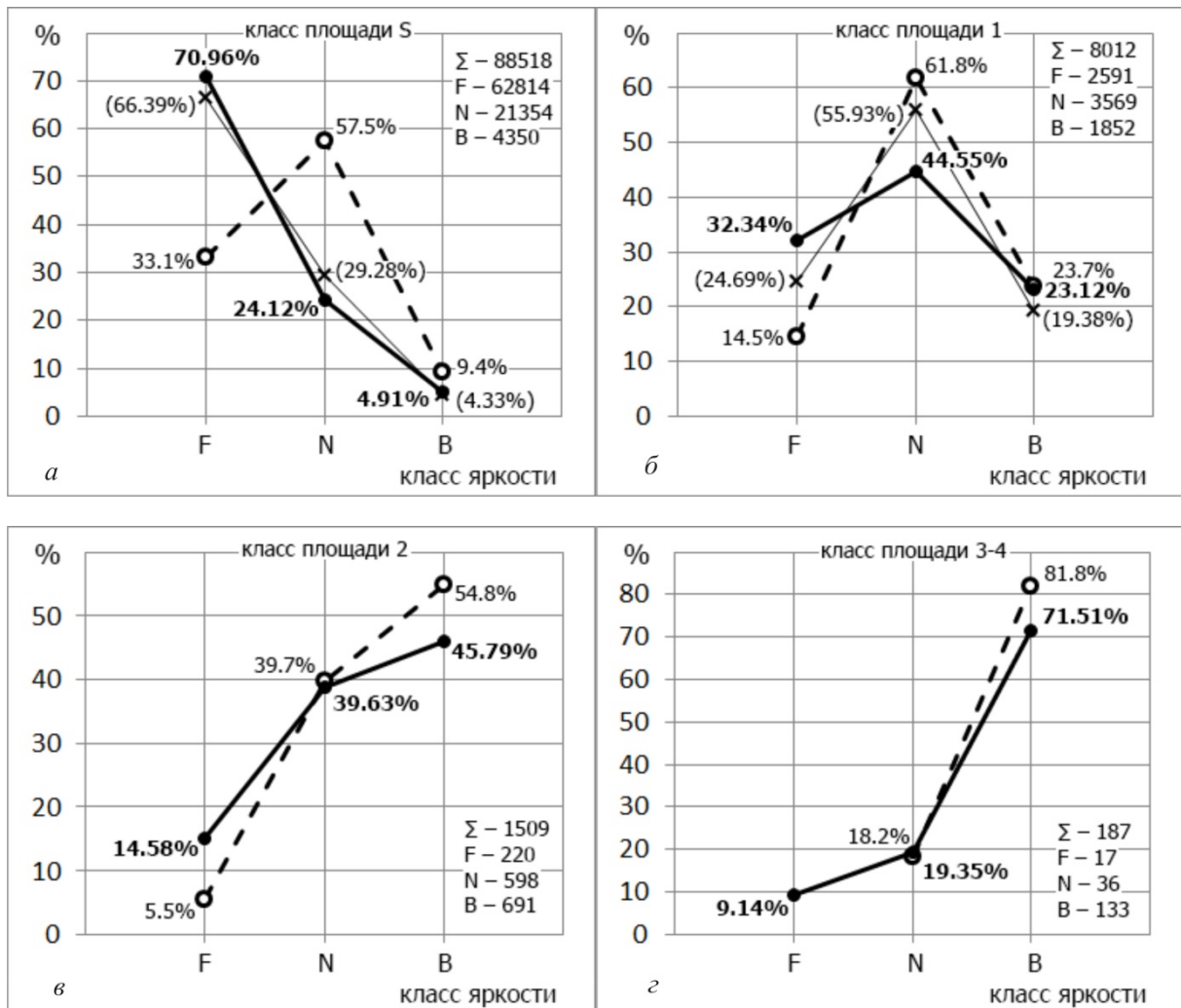


Рис. 9. Распределение по классам яркости: а — S-вспышек; б — вспышек класса площади 1; в — вспышек класса 2; г — вспышек класса 3–4

Таблица 8

\vec{r}	SF	SN	SB	1F	1N	1B	2F	2N	2B	(3-4)F	(3-4)N	(3-4)B
SF		2.942	14.440	24.243	17.600	33.917	285.518	105.040	90.903	3694.941	1744.833	472.286
SN	0.340		4.909	8.242	5.983	11.530	97.064	35.709	30.903	1256.118	593.167	160.556
SB	0.069	0.204		1.679	1.219	2.349	19.773	7.274	6.295	255.882	120.833	32.707
1F	0.041	0.121	0.596		0.726	1.399	11.777	4.333	3.750	152.412	71.972	19.481
1N	0.057	0.167	0.820	1.377		1.927	16.223	5.968	5.165	209.941	99.139	26.835
1B	0.029	0.087	0.426	0.715	0.519		8.418	3.097	2.680	108.941	51.444	13.925
2F	0.004	0.010	0.051	0.085	0.062	0.119		0.368	0.318	12.941	6.111	1.654
2N	0.010	0.028	0.137	0.231	0.168	0.323	2.718		0.865	35.176	16.611	4.496
2B	0.011	0.032	0.159	0.267	0.194	0.373	3.141	1.156		40.647	19.194	5.195
(3-4)F	0.0003	0.0008	0.0039	0.007	0.005	0.009	0.077	0.028	0.025		0.472	0.128
(3-4)N	0.0006	0.0017	0.0083	0.014	0.010	0.019	0.164	0.060	0.052	2.118		0.271
(3-4)B	0.0021	0.0062	0.0306	0.051	0.037	0.072	0.605	0.222	0.192	7.824	3.694	

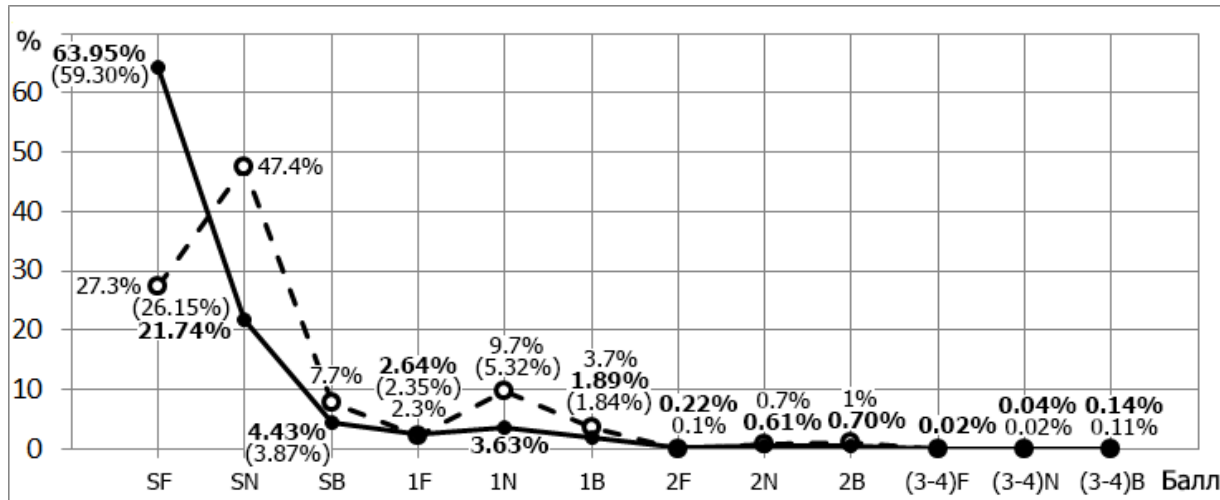


Рис. 10. Распределение солнечных вспышек по баллам

сутствующий на распределении [Mitra et al., 1972] (рис. 9, а) для N-вспышек, полностью отсутствует. Это подтверждают и данные работы [Temmer et al., 2001], которые дают значения примерно на 5 % ниже для F-вспышек, выше на 5 % для N-вспышек и практически совпадают с полученными для B-вспышек. Соотношения между числом вспышек в соответствующих классах яркости выглядят следующим образом: $N_{SF}/N_{SN}=2.9$; $N_{SF}/N_{SB}=14.3$; $N_{SN}/N_{SB}=4.9$.

Для других классов площади полученные гистограммы в целом ведут себя аналогично за исключением отдельных количественных показателей.

Для класса площади 1 число N-вспышек значительно выше, чем для F- и B-классов, и составляет 44.55 % (на 17.1 % ниже полученных в [Mitra et al., 1972], и на 11 % ниже результатов работы [Temmer et al., 2001]). Количество ярких вспышек на 9.3 % меньше, чем слабых и на 21.4 % меньше, чем нормальных.

Для класса площади 2 количество слабых вспышек меньше, чем нормальных, примерно в 2.7 раза и меньше, чем ярких, в 3.1 раза (согласно [Mitra et al., 1972], количество ярких вспышек в 1.4 раза превышает количество нормальных).

Для классов площади 3–4 наблюдаются преимущественно яркие B-вспышки (71.51 %), N-вспышек примерно в четыре раза меньше. Слабые F-вспышки составляют всего 9.1 %. Согласно [Mitra et al., 1972], яркие вспышки составляют 81.8 %, нормальные — 18.2 %. По F-вспышкам сведений не приводится.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК ПО БАЛЛАМ

На рис. 10 приведено распределение вспышек по баллам в соответствии с оптической классификацией 1966 г. (табл. 4).

Распределения показывают тенденцию сокращения числа вспышек с ростом оптического балла. Согласно распределению [Mitra et al., 1972], как и в случае распределения вспышек по яркости, на Солнце преобладают вспышки балла SN (47.4 %). Присутствует также значимый пик для балла 1N (9.7 %) и небольшое превышение числа вспышек для баллов 2B (1 %) и (3–4)B (0.11 %). Согласно полученным результатам, максимум для SN-вспышек отсутствует, подавляющее большинство вспышек приходится на балл SF (63.95 %). От балла SF до балла 1F число вспышек резко снижается. Для балла 1N наблюдается небольшое превышение числа вспышек (3.63 %), но оно в 2.7 раза меньше, чем по данным [Mitra et al., 1972], и в 1.5 раза меньше, чем в работе [Temmer et al., 2001].

Вспышек баллов 2N и 2B соответственно в 2.8 и 3.2 раза больше, чем 2F. Среди вспышек класса площади (3–4) больше всего встречается ярких вспышек (0.14 %) и мало слабых (0.02 %).

В заключение в табл. 8 приводится матрица соотношений между разными баллами вспышек (по стрелке).

ВЫВОДЫ

Согласно полученным результатам, можно сделать следующие выводы.

1. Вспышки всех без исключения классов площади показывают хорошо выраженную цикличность и высокую корреляцию с числами Вольфа. Самые высокие коэффициенты корреляции имеют вспышки классов площади S и 1. Существует также высокая корреляция между классами вспышек S и 1, 1 и (2–4).

2. Подавляющее большинство происходящих на Солнце вспышек составляют вспышки малой мощности (более 90 %), из которых самый многочисленный класс — вспышки балла SF (64 %). С ростом оптического балла происходит постепенное перераспределение вспышек в сторону увеличения класса яркости.

3. Распределение числа солнечных вспышек с ростом оптического балла, как следует из полученных результатов, имеет плавный спад без существенных отклонений. Превышения числа вспышек баллов SN и 1N, присутствующие на распределениях [Mitra et al., 1972], по всей вероятности, связаны с недостаточной статистикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абраменко С.И., Дубов Э.Е., Огирь М.Б., Штешенко Н.Е., Шапошников Е.Ф., Цап Т.Т. Фотометрия солнечных вспышек // Известия КрАО. 1960. Т. 23, С. 341–361.

Алтынцев А.Т., Банин В.Г., Куклин Г.В., Томозов В.М. Солнечные вспышки. М.: Наука, 1982. 246 с.

Копецкая Ф., Копецкий М. Характеристики больших хромосферных вспышек каталога Фритцевой, Копецкого, Швестки // Иссл. по геомагнетизму, аэронамии и физике Солнца. 1971. Вып. 2. С. 117–130.

Россада В.М. Статистический анализ 6600 вспышек за 1965–1966 гг. // Вестник Киевского государственного университета. Сер. Астрономия. 1977. № 19. С. 49–55.

Смит Г., Смит Э. Солнечные вспышки. М.: Мир, 1966. 426 с.

Antalova A. Catalogue of the LDE flares (January 1969 — March 1986) // Contr. Astron. Obs. Skalnatom Pleso. 1987. V. 16. P. 79–90.

Mitra R.K., Sarkar S.R., Das Gupta M.K. Some studies on solar optical flares reported under new classification // Indian J. Radio and Space Phys. 1972. V. 1. P. 170.

Sotnikova R.T. Energy spectrum of X-ray flares associated with sunspot groups of different classes in three solar cycles // Geomagnetism and Aeronomy. 2010. V. 50, N 7. P. 905–907.

Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., Otruba W., Messerotti M. Statistical analysis of solar H α flares // Astron. Astrophys. 2001. V. 375. P. 1049–1061.

Warwik C.S. Solar flare frequency and observing-time patterns // Astrophys. J. 1965. V. 142, N 2. P. 767–771.

Ward F., Cornevall R.F., Hendle R. Solar flare observations from a pair of matched instruments // Solar Phys. 1973. V. 31. P. 131.

REFERENCES

Abramenko S.I., Dubov E.E., Ogir' M.B., Steshenko N.E., Shaposhnikov E.F., Tsap T.T. Photometry of solar flares. *Izvestiya KrAO* [Bulletin of the Crimean Astrophysical Observatory]. 1960, vol. 23, pp. 341–361. (In Russian).

Altyntsev A.T., Banin V.G., Kuklin G.V., Tomozov V.M. *Solnechnye vspyshki* [Solar Flares]. Moscow, Nauka Publ., 1982, 246 p. (In Russian).

Kopetskaya F., Kopetsky M. Characteristics of power chromospheric flares from catalogues by Frititseva, Kopetsky, Šhvestka. *Issledovaniya po geomagnetizmu, aeronomii i fizike Solntsa* [Research on Geomagnetism, Aeronomy and Solar Phys.]. 1971, iss. 2, pp. 117–130. (In Russian).

Mitra R.K., Sarkar S.R., Das Gupta M.K. Some studies on solar optical flares reported under new classification. *Indian J. Radio and Space Phys.* 1972, vol. 1, p. 170.

Rossada V.M. Statistical analysis of 6600 flares for 1965–1966. *Vestnik Kievskogo universiteta. Ser. Astronomiya* [Bulletin of Kiev University]. 1977, no. 19, pp. 49–55. (In Russian).

Smith H., Smith E. *Solnechnye vspyshki* [Solar Flares]. Moscow, Mir Publ., 1966, 426 p. (In Russian).

Antalova A. Catalogue of the LDE flares (January 1969 — March 1986). *Contr. Astron. Obs. Skalnatom Pleso.* 1987, vol. 16, pp. 79–90.

Sotnikova R.T. Energy spectrum of X-ray flares associated with sunspot groups of different classes in three solar cycles. *Geomagnetism and Aeronomy.* 2010, vol. 50, no. 7, pp. 905–907.

Temmer M., Veronig A., Hanslmeier A., Otruba W., Messerotti M. Statistical analysis of solar H α flares. *Astron. Astrophys.* 2001, vol. 375, pp. 1049–1061.

Warwik C.S. Solar flare frequency and observing-time patterns. *Astrophys. J.* 1965, vol. 142, no. 2, pp. 767–771.

Ward F., Cornevall R.F., Hendle R. Solar flare observations from a pair of matched instruments. *Solar Phys.* 1973, vol. 31, p. 131.