

УДК 523.1655;537.591

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ О ПЯТНООБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СОЛНЦА В XVII–XVIII ВЕКАХ – ТОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ИЛИ ПРИБЛИЗИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ?

© 2013 г. М. Г. Огурцов^{1,2}¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, г. С.-Петербург,²Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, г. С.-Петербург

e-mail: maxim.ogurtsov@mail.ioffe.ru

Поступила в редакцию 03.05.2011 г.

Произведен анализ имеющихся данных о числах солнечных пятен, выведенных из телескопических наблюдений. Показано, что неопределенность в данных о числах групп солнечных пятен для XVII–начала XIX веков близка к 30%, а в отдельные годы достигает фактора 2 и более. Это означает, что указанные данные содержат ограниченные сведения об активности Солнца в XVII–XVIII веках, и для ее изучения в указанную эпоху необходимо привлекать сторонние источники, в первую очередь, данные палеоастрофизики. Только начиная с середины XIX века, информация, полученная на основании инструментальных наблюдений, становится достаточно точной для надежных количественных оценок.

DOI: 10.7868/S0016794013050131

1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение временного хода солнечной активности (СА) представляет не только чисто теоретический интерес. Активность Солнца является одним из факторов, существенным образом влияющих на состояние околоземного пространства и, возможно, глобальные и локальные климатические колебания. Поэтому выявление статистических закономерностей изменения различных параметров солнечной активности имеет большое практическое значение. Для решения этой задачи необходимо получение точной и надежной информации об изменении СА на максимально длинных временных шкалах. Число пятен на Солнце является одним из важнейших наблюдаемых индексов СА. Солнечные пятна были открыты в начале XVII века вскоре после изобретения телескопа (в конце 1610 г.). Тогда же начались и телескопические наблюдения за этим астрономическим феноменом. Правда, в начале эти наблюдения были несистематическими, и качество используемых инструментов оставляло желать лучшего – их увеличительная способность в первой половине XVII века обычно не превышала 40 раз. Поэтому Р. Вольфу, обобщившему множество данных астрономов XVII–XVIII веков, удалось построить ряд относительных чисел солнечных пятен R_z (цюрихский ряд) лишь начиная с 1700 года. Определяется R_z или число Вольфа (ЧВ) по формуле:

$$R_z = k(10g + f), \quad (1)$$

где f – полное число отдельных солнечных пятен, g – число групп солнечных пятен и k – нормирующий множитель, учитывающий различия в условиях и способах наблюдений разных обсерваторий.

Даже из самых общих соображений ясно, что надежность различных частей цюрихского ряда неодинакова. Эдди, например, [Eddy, 1976] считал данные по ЧВ в 1700–1748 гг. плохими, в 1749–1817 гг. сомнительными, в 1818–1848 гг. более или менее надежными и только после 1849 г. – вполне точными. Что касается данных XVII века, то для этого промежутка времени ни Вольфу к последней декаде XIX в., ни продолжившему его труд Вальдмайеру к середине XX в. не удалось получить каких-либо количественных оценок R_z . Десять лет назад американские астрономы Д. Хойт и К. Шаттен завершили гигантский труд по пересмотру архивных сведений об инструментальных наблюдениях солнечных пятен. Они включили в рассмотрение целый ряд источников, по всей вероятности, неизвестных Вольфу. Пожалуй, самым ценным из них можно считать данные Парижской обсерватории за 1660–1719 гг. Французским астрономом Ж. Пикару (1620–1682), усовершенствовавшему микрометр с подвижной нитью для угломерных измерений, и его ученику Ф. де Ла Гиру (1640–1718) в рамках программы изучения видимого диаметра Солнца удалось наладить солнечный мониторинг, по тщательности и регулярности беспрецедентный для своей эпохи. Например, де Ла Гир, сменивший Пикара на посту

главного наблюдателя в 1682 г. производил наблюдения солнечного диска практически каждый ясный день (в среднем около 200 дней в году). Качество инструментов к концу XVII века также значительно улучшилось — появились длиннофокусные телескопы, обеспечивающие увеличение до 400 раз [Ribe and Nesme-Ribes, 1993]. В частности, Пикар и де Ла Гир для солнечных наблюдений использовали телескоп с фокусным расстоянием более 16 футов (около 5 м) и более мелкие телескопы с фокусным расстоянием от 32 дюймов до 5 футов (Ribe and Nesme-Ribes, 1993). Апертуры этих телескопов составляли 4.0–7.5 см (Ribe and Nesme-Ribes, 1993), т.е. их “релеевское” разрешение достигало 2–3 угловых секунд. Согласно авторам работы [Ribe and Nesme-Ribes, 1993], этого было достаточно для фиксации достаточно контрастных пятен (пор) размером более 1 угловой секунды (площадью свыше 1 м.д.п.). Как следствие, ряд специалистов считает данные парижской обсерватории высоконадежными [Miya-hara, et al., 2006].

Обобщив 455 242 наблюдения 463 астрономов, Хойт и Шаттен построили новую временную серию — число групп солнечных пятен R_G , охватывающую период, начиная с 1610 года [Hoyt and Schatten, 1998]. Им также удалось оценить погрешность определения числа групп солнечных пятен (ЧГСП). Она оказалась равной примерно 10% до 1653 г., менее 5% в 1653–1727 и 1800–1849, 15–20% в 1728–1799 и не более 1% после 1849 г. Соответственно, R_G в период 1653–1728 гг. считается в работах [Hoyt and Schatten, 1998] определенным вполне надежно и точно. Таким образом, согласно Хойту и Шаттену имеющаяся информация о ЧГСП во второй половине XVII–начале XVIII веков и в первой половине XIX века по качеству лишь ненамного уступает современным данным. Вывод о том, что теперь нам хорошо известна активность Солнца на большей части промежутка 1610–1849 гг., разделяемый многими исследователями (см. например [Usoskin and Mursula, 2003]), чрезвычайно важен и может открыть новые перспективы для исследований в области солнечной физики. Однако, результаты, полученные в работе [Ogurtsov and Jungner, 2011] указывают на то, что наши сведения о пятнообразовательной деятельности Солнца, по крайней мере, в XVIII–первой половине XIX века, значительно менее точны, чем современные. Авторы работы [Ogurtsov and Jungner, 2011] рассмотрели некоторые стандартные “правила” изменений активности Солнца (правило Гневывшева-Оля, амплитудно-периодный эффект, эффект Вальдмайера) отдельно для интервалов 1700–1855 гг. и 1856–1996 гг. Оказалось, что в период 1856–1996 гг. практически все данные статистические “правила” выполняются лучше, чем в 1700–1855 гг. как для чисел групп пятен, так и для чисел Вольфа. Было высказано предположение, что эта разница связана с

недостаточной точностью и надежностью наших знаний о числах солнечных пятен до середины XIX века. В связи с этим в данной работе было проведено дополнительное тестирование качества данных о числах солнечных пятен в эпоху ранних телескопических наблюдений.

2. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЛА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, ОПРЕДЕЛЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ТЕЛЕСКОПНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В XVII–XVIII ВЕКАХ

Отметим для начала, что определение среднего числа солнечных пятен (или другого показателя солнечной активности), отнесенных к какому-то выбранному промежутку времени (т.е. среднедневных, среднедекадных, среднемесечных или среднегодовых) представляет собой не самую простую задачу и зависит: а) от метода наблюдений (визуальный подсчет, анализ зарисовки солнечного диска, анализ фотографического изображения); б) от качества наблюдений, т.е. от квалификации наблюдателя и параметров используемого инструмента; в) от астроклимата обсерватории, т.е. от количества ясных дней и частоты наблюдений; г) от системы подсчета: что считать отдельными пятнами, что считать группой пятен.

Вследствие этого числа солнечных пятен, определенные различными группами исследователей, даже в современную эпоху зачастую заметно отличаются друг от друга [Гневывшев и др., 1985, 1986], а сведение данных различных обсерваторий в единую систему и сегодня представляет непростую задачу. Сопоставление ЧВ, определенных по данным брюссельской и кисловодской обсерваторий, произведено на рис. 1.

Как видно из рис. 1, среднее отношение R_z/R_{zk} в 1981–2005 гг. составляет 0.95. В минимумах солнечных циклов разница достигает 20%, а в максимуме цикла в 1989 г. — 9%. Разница между среднегодовыми значениями цюрихского и американского числа Вольфа в 1940–1970 достигает 20% и более, и лишь после 1970 она снижается до 10% [Koresky and Kuklin, 1980]. Очевидно, что даже в последние несколько десятилетий числа солнечных пятен, определенные различными обсерваториями, могут отличаться друг от друга на 10% и более, что явно превышает 5% — погрешность определения R_G полученную Хойтом и Шаттенем для периода 1653–1728 гг. Особенно сильными оказываются расхождения в минимумах солнечных циклов, когда пятен на Солнце мало, а площади их невелики. В современную эпоху, различные каталоги чисел солнечных пятен, однако, могут быть согласованы друг с другом с помощью переходных коэффициентов при наличии достаточно длительного (не менее 1 солнечного цикла) периода качественных параллельных наблюдений. Поскольку столь длительные параллельные

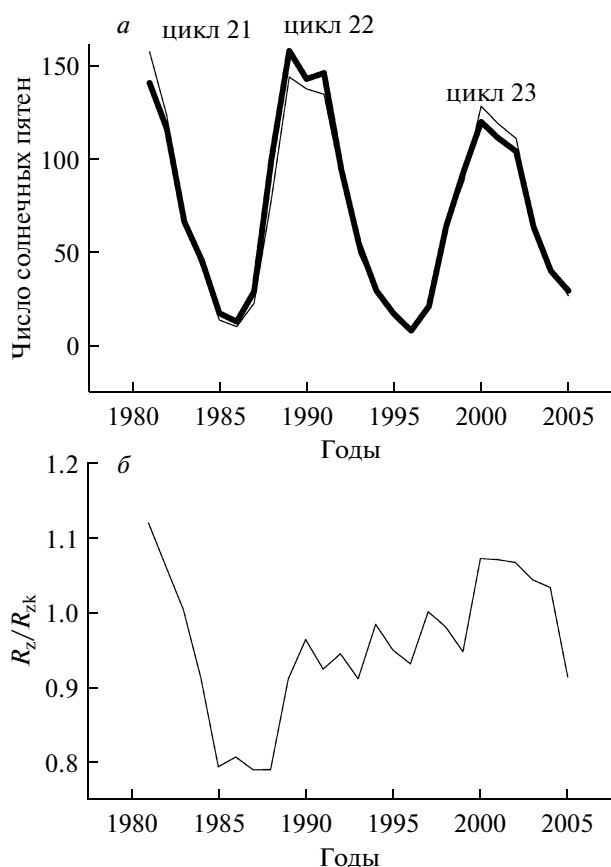


Рис. 1. *a* – жирная линия – число Вольфа R_{zk} определенное в кисловодской системе, тонкая линия – число Вольфа R_z определенное в международной системе; *b* – отношение R_z к R_{zk} . Для всех чисел пятен использованы значения средние за год.

наблюдения Солнца одновременно несколькими астрономами в XVII–XVIII веках производились нечасто, возможность согласования различных данных в указанную эпоху вызывает сомнения даже безотносительно к качеству наблюдений.

Теперь попробуем независимым образом оценить точность данных о R_G в XVII–XVIII веках. Рассмотрим сперва начало XVIII века – промежуток времени, в течение которого: (а) солнечная активность уже начала восстанавливаться после Маундеровского минимума (ММ), т.е. была заметно отличной от крайне низкой, (б) еще продолжала работать Парижская обсерватория, в которой де Ла Гир производил регулярный солнечный мониторинг. Число астрономов, наблюдавших солнечный диск в указанный период не столь уж мало. Однако, за исключением де Ла Гира, все они ограничивались не слишком систематическими или вообще отрывочными наблюдениями – (табл. 1).

Другим недостатком исследователей Солнца в XVII–XVIII веках является то, что лишь часть из них (Гевелиус, де Ла Гир, Кирш, Эйммарт, Плантад и др.) более или менее тщательно документи-

ровала свои наблюдения, фиксируя их даты и результаты [Hoyt and Schatten, 1996]. Другие ограничивались различными общими формулировками (Сиверус, Станкариус, Маральди, Дерхэм и др.). Трактовка записей подобных наблюдателей затруднена и требует различных дополнительных предположений. Анализ данных Хойта и Шаттена указывает на то, что одно из этих предположений было следующим: если некий автор сообщал, что Солнце активно наблюдалось с такого то числа по такое то, считалось, что в указанный промежуток времени наблюдения Солнца проводились ежедневно. Сразу можно отметить, что подобная гипотеза вряд ли всегда оправдана. Например, согласно данным Хойта и Шаттена, Сиверус в Гамбурге наблюдал Солнце в 1679 в течение 356 дней, в 1685 – в течение 358 дней, в 1690 – в течение 358 дней. Однако на восточном побережье Северного моря астроклимат вряд ли позволяет производить наблюдения почти каждый день. Скорее всего, средняя частота телескопических наблюдений Солнца в начале XVIII значительно уступала современной. Теперь рассмотрим качество этих наблюдений. В работе [O'Dell and Van Helden, 1987] выражено сомнение в том, что разрешение телескопов Пикара и де Ла Гира могло достичь 1 угловой секунды, т.к. уцелевшие телескопы XVII века зачастую отличаются (а) невысоким качеством линзового стекла (б) отклонениями формы поверхности линз от сферической. Поэтому трудно представить, чтобы при помощи старинных телескопов, страдавших очевидными оптическими аберрациями, наблюдателям удавалось надежно различать мелкие пятна и низкоконтрастные объекты типа пятен однодневок. А если наблюдатель недостаточно четко отличает мелкие пятна от групп пятен, вклад мелких пятен (особенно во время максимумов активности) может оказаться значительным. Например, после того, как Вольф завершил свои наблюдения около 1882 года, его преемники стали учитывать как отдельные группы уединенные мелкие и мельчайшие пятна (поры), до того не принимавшиеся в расчет, с весом 10 в формуле (1). При этом коэффициент k в формуле (1) уменьшился с 1 до 0.6 [Waldmeier, 1961]. Новое значение k было определено путем параллельных вычислений ЧВ с помощью старой и измененной методик. Но независимо от того, насколько хороши были телескопы в исследуемую эпоху, качество солнечных наблюдений того времени, вряд ли следует считать высоким. Это можно проиллюстрировать на примере наблюдений за пятнами на Солнце в ноябре 1705 года (табл. 2).

Из таблицы 2 видно, что 4 ноября 1705 де Ла Гир не заметил группу пятен, наблюдавшуюся четырьмя астрономами (Дэрхем, Плантад, Манфреди, Лаланд) в трех странах. Эта группа жила, по крайней мере, 10 дней (наблюдалась одновременно Плантадом и Лаландом). Значит, согласно

Таблица 1. Наблюдательная активность некоторых европейских астрономов XVII–XIX веков

Наблюдатель	Годы наблюдений	Число дней с наблюдениями солнечного диска	Отношение числа дней с наблюдениями к полному числу дней
Кирш Г.	1678–1710	481	0.04
Эймарт	1677–1702	2325	0.25
Флэмстид	1676–1714	1500	0.10
де Ла Гир	1682–1718	7170	0.55
Кассини	1700–1709	214	0.07
Плантад	1704–1726	423	0.05
Швабе	1826–1867	11945	0.80
Шмидт	1841–1883	6970	0.45
Ши	1847–1866	5538	0.80
Вольф	1848–1893	10026	0.61
Кэррингтон	1853–1860	1215	0.48
Вебер	1859–1883	6983	0.80
Шперер	1861–1893	6283	0.60
Де Ла Рю	1864–1866	451	0.50

Таблица 2. Число групп солнечных пятен в ноябре 1705 г. по данным наблюдений европейских астрономов

Дата	Де Ла Гир (Париж)	Манфредо (Болонья)	Дэрхем (Апминстер)	Плантад (Монпелье)	Лаланд (Париж)
3 ноября	0	–	1	–	–
4 ноября	0	1	1	1	1
5 ноября	–	–	–	1	1
6 ноября	0	–	–	1	1
7 ноября	0	–	–	1	1
8 ноября	1	–	–	1	1
9 ноября	–	–	–	1	1
10 ноября	1	1	–	1	1
11 ноября	1	–	–	1	1
12 ноября	–	–	–	1	1
13 ноября	–	–	–	1	1

соотношению Вальдмайера-Гневышева, определяющему время жизни группы в днях как произведение ее площади в м.д.п. на 0.1, площадь данной группы составляла свыше 100 м.д.п. Это указывает на то, что даже в лучшей для своего времени Парижской обсерватории наблюдатели могли пропускать достаточно крупные группы пятен. Другой пример – наблюдения в апреле 1717 г. (табл. 3).

Как следует из табл. 3, 14 и 16 апреля 1717 года, Бланчини наблюдал 5 групп пятен а Кирш – всего одну. Таким образом, разница между числами групп пятен, зарегистрированных различными астрономами, достигает фактора 5. Отметим попутно, что де Ла Гир 14 апреля пятен на Солнце вообще не видел (!). Указанные выше расхождения, вероятно, связаны с недостаточной мотиви-

рованностью наблюдений именно пятен, с недостаточной тщательностью фиксации результатов наблюдений, не лучшим качеством использованной аппаратуры и с не очень надежными методами подсчета. То, как могут различаться картины солнечных пятен, зафиксированные разными астрономами в одно и то же время, ярко демонстрируют данные, полученные во время прохождения Меркурия по диску Солнца 11 ноября 1736 г – см. рис. 2 из работы [Vaquero et al., 2007]. Разумеется, делать какие-либо выводы на основе разногласий, описанных в табл. 2, 3, преждевременно, т.к. они представляют собой лишь отдельные примеры, выдернутые из общей канвы солнечных наблюдений начала XVIII века с иллюстративной целью.

Таблица 3. Число групп солнечных пятен в апреле 1717 г. по данным наблюдений европейских астрономов

Дата	Де Ла Гир (Париж)	Кириш (Берлин)	Бланчини (Верона)
5 апреля	4	4	3
6 апреля	4	4	3
7 апреля	4	—	4
8 апреля	—	—	4
9 апреля	4	3	—
10 апреля	4	3	—
11 апреля	—	3	5
12 апреля	2	2	5
13 апреля	2	—	5
14 апреля	0	1	5
15 апреля	—	—	5
16 апреля	—	1	5

Тем не менее, анализ данных по числам солнечных пятен, полученных для данного временного интервала различными исследователями, указывает на то, что эти иллюстрации достаточно точно отражают действительность. Покажем это при помощи данных о числах солнечных пятен, восстановленных по данным наблюдений в работах [Hoyt and Schatten, 1998; Usoskin et al., 2003; Letfus, 2000] для солнечных циклов -3 и -4 . Назовем эти реконструкции R_G , R_{GU} , R_{WL} соответственно. Авторы первых двух работ использовали практически одинаковый набор данных: наблюдения, в первую очередь, де Ла Гира, а также Дерхэма, Флэмстида, семьи Кириш, Кассини, Манфредди, Маральди, Плантада и др., в то время как Летфус [Letfus, 2000] использовал данные семьи Кириш и Плантада. Указанные временные серии (средние за год значения) приведены на рис. 2. Вместо R_{GU} мы использовали в анализе величину $R_{GU}^* = 1.20R_{GU}$ имеющую одинаковое с R_G среднее значение на временном интервале 1700–1819 гг.

($\bar{R}_g = \bar{R}_{GU}^* = 27.0$). Таким образом, мы устранили систематический сдвиг между двумя рядами.

Как видно из рис. 2, даже в максимуме цикла -4 , когда СА заметно отличалось от нулевой, разница между числами пятен, рассчитанными разными исследователями с помощью одинаковых источников информации, достигает 50% и больше. Если сопоставить с данными Летфуса, то разница становится в несколько раз большей. Не лучше ситуация и для цикла -3 . Например, в 1715 г. среднегодовое число Вольфа согласно Летфусу равно 15.5, число групп пятен согласно Хойту и Шатену [1998] — 3.6, а значение R_{GU}^* в 1715 г. равно 2.3. Таким образом, оценки различных данных по числу групп пятен в начале XVIII века, сделанных на основе телескопных наблюдений, свидетельствуют в пользу того, что эта величина известна с точностью до фактора 2 или хуже. Однако, начало XVIII столетия является периодом с пониженной СА, когда активное Солнце еще не вышло полностью из режима Маундеровского минимума (1645–1715 гг.). Как уже было отмечено выше, при низкой активности Солнца точное определение числа пятен затруднено и в современную эпоху. Оценим надежность телескопных данных XVII–XVIII веков в периоды с нормальной активностью.

Для первой половины XVII века — временного промежутка, в течение которого СА не была низкой — имеются лишь разрозненные наблюдения более низкого, по сравнению с Парижской обсерваторией, качества (несовершенные телескопы, худшая оптика и т.д.). На этом интервале разница между различными реконструкциями превышает фактор 2 — см. рис. 1 из работы [Letfus, 2002]. Начиная с цикла -2 , активность Солнца выходит на нормальный уровень, что создает условия для более точного определения ЧГСП. Однако, в это время наступают не лучшие времена для солнечной астрономии. После смерти Кассини (1712) и Ла Гира (1718) большие телескопы почти перестают использоваться, интерес к пятнам на Солнце также убывает [Legrand et al., 1992]. В результате к середине XVIII века количество наблюдений сол-

Таблица 4. Число групп солнечных пятен в апреле 1860 г. по данным наблюдений европейских астрономов

Дата	Вольф (Цюрих)	Швабе (Дессау)	Кэррингтон (Лондон)	Ши (Англия)	Вебер (Пекелон)
3 апреля	—	5	5	6	4
4 апреля	—	4	7	7	5
5 апреля	—	6	—	2	6
6 апреля	—	4	4	3	5
7 апреля	—	6	5	5	6
8 апреля	2	—	—	4	5
9 апреля	—	6	6	4	5
10 апреля	—	6	6	5	7

нечных пятен уменьшается, а качество ухудшается. Примером такого ухудшения могут служить итоги наблюдения астрономами прохождения Венеры по диску Солнца 3 июня 1769 г. описанные в работе [Vaquero et al., 2007a]. Это явление привлекло внимание многих исследователей, поэтому было получено немало сопутствующих наблюдений солнечного диска. Результаты оказались весьма различными: Райт в Канаде обнаружил на Солнце 10 групп пятен, а Дэркье в Париже всего одну [Vaquero, 2007a]. Т.е. разница не в пять раз, как в апреле 1717 г., а уже в десять. Как следствие, сведения о числе солнечных пятен в середине XVIII века оказываются столь же неопределенными, как и в начале, несмотря на значительное усиление солнечной активности. Покажем это с помощью взвешенного ЧГСП, полученного для временного промежутка 1700–1819 гг. в работе [Usoskin et al., 2003] путем анализа того же набора исходных данных, с которым работали Хойт и Шаттен [Hoyt and Schatten, 1998], но с использованием другой статистической процедуры. На рисунке 3а серия $R_{GU}^* = 1.20R_G$ имеющая на исследуемом интервале одинаковое с R_G среднее значение (27.0) показана совместно с R_G .

На рисунке 3б приведено отношение R_{GU}^*/R_G . Как видим из рис. 3б в течение XVIII–начала XIX века разность между двумя анализируемыми оценками ЧГСП часто достигает 50%, а в отдельные годы – 100% и более. В результате на интервале 1700–1819 гг. среднеквадратичное отклонение R_{GU}^* от R_G оказывается равным 8.9 т.е. более 30% от среднего значения. Это означает, что одно лишь изменение методики статистической обработки исходного набора данных способно значительно изменять среднее за год число групп пятен. А что если оценить ЧГСП с помощью исходных данных, не известных Хойту и Шаттену? Вакуэро и др. [Vaquero et al., 2007б] проделали такую работу для 1736–1739 гг. Определенные в работе [Vaquero et al., 2007б] числа групп пятен сопоставлены на рис. 2б с величинами R_G . На промежутке 1736–1739 гг. среднеквадратичная разность между оценками ЧГСП, полученными с помощью различных исходных данных, равна 17.0, т.е. почти 40% от средних величин. В 1739 г. число пятен равно 101 согласно цюрихскому ряду, 55.8 согласно Хойту и Шаттену [1998], 86.4 согласно Летфусу [2000] и 42.2 согласно Вакуэро и др. [2007б]. В конце XVIII и начале XIX веков сведения о пятнах на Солнце становятся настолько неопределенными, что до сих пор продолжают дискуссии о потерянном цикле [Usoskin and Mursula, 2003].

Таким образом, проведенный анализ указывает на то, что в течение XVII–начала XIX столетий принципиально неустранимая неопределенность имеющейся информации о ЧГСП достигает 30%,

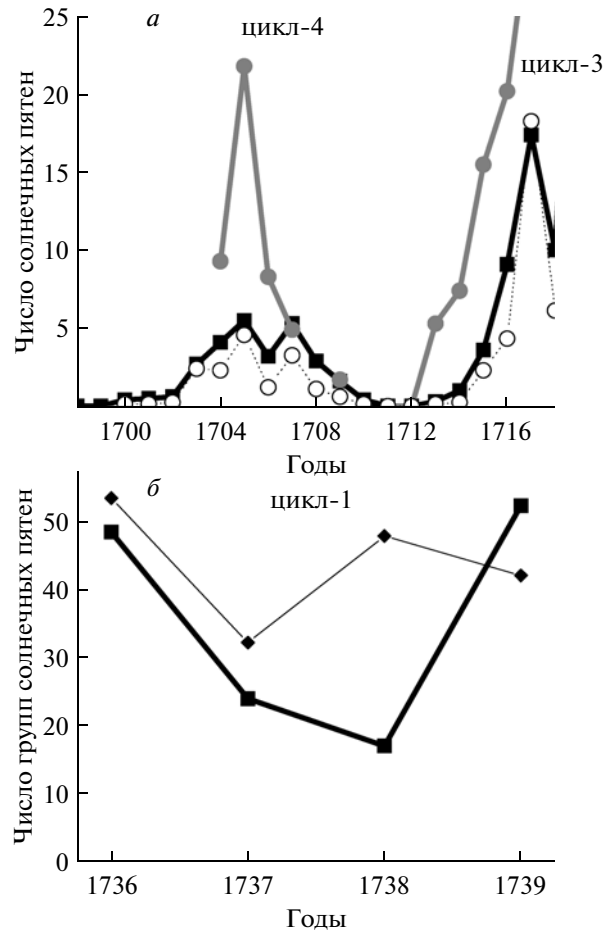


Рис. 2. а – серая линия с кружками (R_{WL}) – число солнечных пятен из работы Летфуса (Letfus, 2002); жирная черная линия с квадратами (R_G) – число групп пятен из работы Хойта и Шаттена (Hoyt and Schatten, 1998); пунктирная линия с кружками (R_{GU}^*) – число групп пятен из работы Усокина и др. (Usoskin et al., 2003) нормированное. б – жирная черная линия с квадратами – число групп пятен из работы (Hoyt and Schatten, 1998); тонкая линия с ромбами – число групп пятен из работы Vaquero et al. (2007). Для всех чисел пятен использованы значения средние за год.

а в отдельные годы – фактора 2, если не больше. Это означает, на интервале времени 1700–1833 гг. оба индекса солнечной активности R_z и R_G известны лишь приблизительно. Очевидно, что значительные погрешности, присутствующие в данных по ЧГСП и ЧВ в период 1700–1833 гг., действительно могут серьезно исказить статистические закономерности активности Солнца и служить заметным препятствием к их выявлению в указанную эпоху.

Не следует забывать и о том, что проведенный Хойтом и Шаттенем учет новых источников, предположительно неизвестных Вольфу, может служить причиной ухудшения качества информации. Действительно, Вольф использовал резуль-

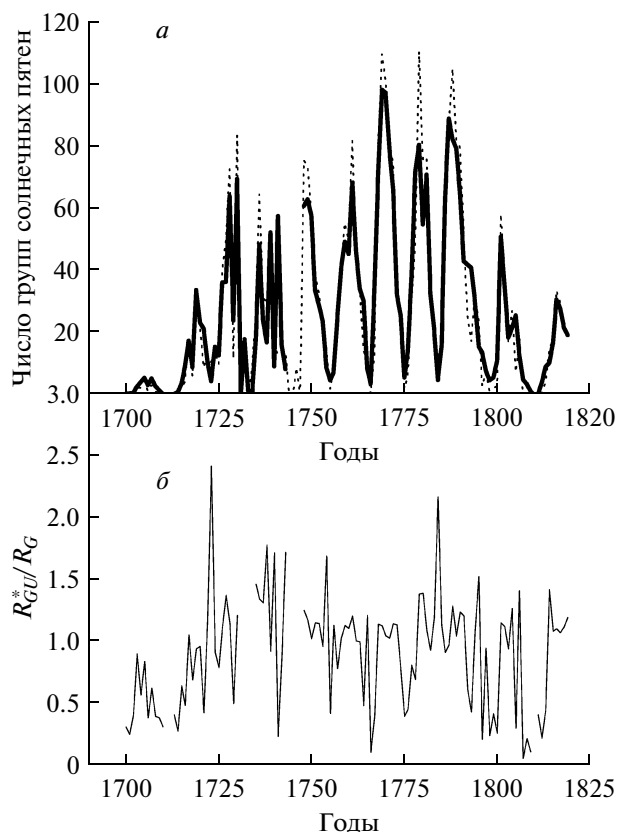


Рис. 3. *а* — пунктирная линия — R_{GU}^* — число групп пятен из работы Усокина и др. (Usoskin et al., 2003) нормированное; жирная линия — R_G — число групп пятен из работы Хойта и Шаттена (Hoyt and Schatten, 1998). *б* — отношение R_{GU}^* к R_G . Для всех чисел пятен использованы значения средние за год.

таты наблюдений, главным образом, наиболее известных астрономов, являвшихся одновременно и наиболее опытными солнечными наблюдателями. Хойт и Шаттен широко использовали данные значительно менее известных исследователей, многие из которых имели очень ограниченный опыт наблюдений за солнечными пятнами. Как следствие, качество их наблюдений могло быть заметно худшим. Подобную возможность нетрудно проиллюстрировать уже упоминавшимся выше наблюдением различными астрономами прохождения Венеры по диску Солнца 3 июня 1769 г. описанным в работе [Vaquero et al., 2007a]. Наиболее опытные из астрономов следивших за этим явлением — Горребов и Стаудахер (они произвели в общей сложности 1532 и 1142 наблюдения солнечных пятен соответственно) — видели 3 июня 1769 г. 4–6 групп пятен. В то время как Дэркье, видевший одну группу пятен, произвел за всю жизнь только 7 солнечных наблюдений, а Райт, зафиксировавший 10 групп — всего одно. Другой пример находим в работе [Vaquero, 2007],

где на основе тщательного анализа первоисточников сделан вывод о том, что во время солнечного затмения 15 сентября 1730 г. на Солнце имелись только 3 группы пятен, а не семь, как указали сами наблюдатели вследствие чего цифра семь и вошла в каталог Хойта и Шаттена.

3. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЧИСЕЛ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН, ОПРЕДЕЛЕННЫХ В XIX ВЕКЕ

В первой половине XIX века солнечная астрономия начинает интенсивно развиваться. Начиная с 1826 г., постоянные наблюдения за пятнами на Солнце проводил Г. Швабе. Р. Вольф начал непрерывный тщательный мониторинг солнечного диска с 1848 г. Затем присоединились Кэррингтон, Вебер, Шперер, де Ла Рю и многие другие. После 1848 г. систематические и непрерывные наблюдения за Солнцем производились одновременно не менее тремя независимыми исследователями (табл. 1). Заметно возросло и качество наблюдательной аппаратуры. Й. Фраунгофер (1787–1826) значительно усовершенствовал технологию изготовления телескопов и добился беспрецедентного в то время улучшения качества этих приборов. Ему удалось: а) значительно увеличить качество оптического стекла, введя новую технологию его варки; б) разработать метод определения формы линз и сконструировать особую машину для их шлифовки; в) соединить в объективе линзы из двух сортов стекла с разным коэффициентом преломления, что существенно уменьшило хроматическую aberrацию. Кроме того, телескопы Фраунгофера, размещенные на параллактической монтировке, были снабжены точными часовыми механизмами с регулятором скорости и окулярными микрометрами. Фраунгофер был также одним из основателей фирмы, наладившей поставку телескопов в крупнейшие обсерватории Европы. К середине XIX века телескопы Фраунгофера стали основными инструментами в европейских обсерваториях. Сам Р. Вольф использовал рефрактор Фраунгофера с апертурой 8 см, фокусным расстоянием 110 см и увеличением 64 раза [Waldmeier, 1961]. Как следствие, качество наблюдений выросло заметным образом. Примером могут служить наблюдения солнечных пятен в апреле 1860 г. (табл. 4).

Как следует из табл. 4, максимальное различие в количестве групп пятен, зафиксированных тогдашними астрономами, возникла 5 апреля 1860 г. когда по данным Ши на Солнце было 2 группы пятен, а по данным Вебера — 6, то есть разница в три раза. 9 февраля 1860 г. разница между данными наблюдателей доходила до 3.5 (см. [Hoyt and Schatten, 1998]). Таким образом, количество групп пятен наблюдаемых астрономами середины XIX века может различаться в 3–3.5 раз, против пяти в 1717 г. и десяти в 1769 г. Значительно увеличилась и точность определения числа Воль-

фа. На рисунке 4 ЧВ, рассчитанные Вилсоном (Wilson, 1998) на основе наблюдений Швабе, приведены совместно с цюрихским значением R_z .

Как видно из рис. 4, в 1848–1868 гг. разница между ЧВ, определенными по наблюдениям Швабе и Вольфа, в основном не превышала 20%, и лишь в минимуме СА достигала 45%. Разница между числами Вольфа R_z и числами групп пятен R_G – индикаторами СА, определенными разными способами (здесь мы не будем заострять внимание на том факте, что строго говоря, R_z и R_G – еще и физически различающиеся индексы СА: [Наговицын, 2005], во второй половине XIX века достигает 40% в минимумах циклов, а в XX веке уже не превышает 20% и в минимумах. Очевидно, что к середине XIX столетия точность телескопных данных о солнечной активности достигла уровня если и не вполне современного, то, во всяком случае, несопоставимого с таковым уровнем для XVII–XVIII веков. Следствием достигнутого к середине XIX века принципиально нового уровня солнечных исследований стал целый ряд крупнейших открытий: обнаружение одиннадцатилетнего солнечного цикла Г. Швабе в 1843 г., открытие закона Шпёрера (широтного дрейфа пятен в ходе цикла) – в конце 50-х гг. того же века (Шпёрер и Кэррингтон), открытие дифференциального вращения Солнца Кэррингтоном в 1863. А с 1874 г. наступила эра исследования физических параметров солнечной активности в современном смысле этого слова [Наговицын, 2005].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в данной работе анализ имеющихся данных о числе солнечных пятен, определенном с использованием телескопических наблюдений, показал, что говорить об уверенных количественных оценках этой величины можно лишь начиная с середины XIX века. Именно с этого времени информация становится надежной и достаточно точной. Но даже в конце XX века расхождения между числами солнечных пятен, определенными в разных системах, могут достигать 20% в минимумах циклов и почти 10% – в максимумах. Это делает согласование различных версий относительного числа пятен непростой задачей, требующей достаточно длительного периода параллельных наблюдений (причем для различных фаз активности).

Что же касается ЧГСП, то для XVII–XVIII веков и начала XIX века эта величина известна лишь приблизительно – неопределенность составляет 30%, а в отдельные годы может увеличиваться до фактора 2 и более. Это означает, что ряд ЧГСП содержит только приблизительные сведения об активности Солнца в указанный временной интервал. Утверждения о том, что данные о числе солнечных пятен в 1653–1728 гг., полученные на

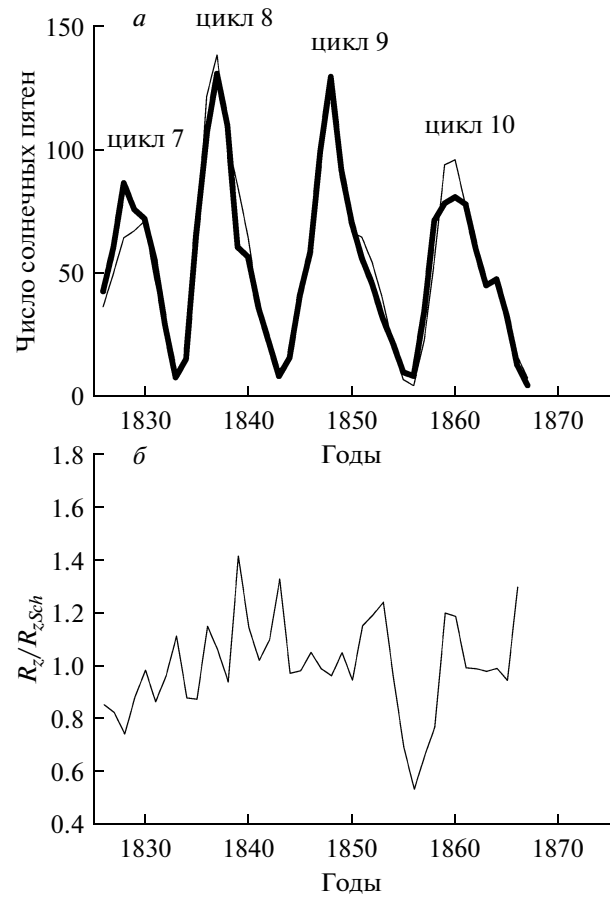


Рис. 4. *a* – жирная линия – цюрихское число Вольфа R_z , тонкая линия – число Вольфа определенное по данным Г. Швабе о кластерах солнечных пятен R_{zSch} ; *б* – отношение R_z к R_{zSch} . Для всех чисел пятен использованы значения средние за год.

основании изучения астрономических наблюдений современников, достоверны и точны, следует считать слишком оптимистичными. В то же время, очевидно, что ряд ЧГСП, полученный в работах [Hoyt and Schatten, 1998], вполне пригоден для качественных (“прикидочных”) оценок временного хода активности Солнца в XVII–XVIII столетиях. Например, после огромной работы, проведенной Хойтом и Шатеном, не приходится сомневаться, что солнечная активность в эпоху Маундеровского минимума – экстремального состояния СА, не имеющего точных аналогов до настоящего времени – действительно была необычайно низкой.

Соответственно, существовавшие еще не так давно предположения о том, что среднегодовое число солнечных пятен в 1645–1715 гг. могло достигать 40–80 [Eddy, 1976; Schove, 1983; Витинский и др., 1986] не подтвердились. Также стало ясно, что во время циклов –3 и, особенно –4, СА была заметно слабее средней за 1700–2000 гг. Оценки Вальдмайера [Waldmeier, 1961] и Шоува

[Schove, 1979], согласно которым ЧВ в 1705 г. достигало 58–68, а в 1717 г. – 63–85 оказались завышенными. Однако, для точных количественных оценок данные XVII–XVIII века по-прежнему не слишком пригодны. Например, ответить на вопрос, какой из циклов в XVIII столетии был средним, а какой – мощным, при помощи телескопических данных бывает непросто. Значительная неопределенность, присутствующая в данных по ЧГСП и ЧВ в период 1700–1833 гг., может служить источником искажения основных статистических закономерностей солнечной активности в указанную эпоху. Из вышеизложенного следует, что при изучении активности Солнца в XVII–XVIII столетиях, временным сериям R_z и R_G не всегда следует отдавать значительное предпочтение перед палеорекострукциями СА, полученными путем анализа косвенных индикаторов, хотя информация, заключенная в последних носит лишь качественный характер [Ogurtsov, 2005; Огурцов, 2007]. Данный вывод подчеркивает важность палеоастрофизических исследований активности Солнца, охватывающих значительно больший временной интервал, чем инструментальные данные о солнечных пятнах, обсуждаемые в этой статье.

Что касается погрешности R_G , определенной в работах [Hoyt and Schatten, 1998], то она является чисто математической погрешностью, возникающей при обработке конкретного набора исходных данных при помощи конкретной статистической процедуры.

Работа была выполнена в рамках программы обмена между Российской и Финской Академиями наук (проект № 16), поддержана грантами РФФИ №№ 09-02-00083, 10-02-00391, 11-02-00755, 13-02-00277, 13-02-00783 и грантом Санкт-Петербургского научного центра за 2011 г. Автор благодарен Ю.А. Наговицыну за обсуждение статьи и ряд полезных советов, которые помогли значительно улучшить ее качество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Витинский Ю.И., Конецкий М., Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. М.: Наука, 296 с. 1986.
- Гневыхив М.Н., Наговицын Ю.А., Наговицына Е.Ю. Исследование стабильности и сравнение различных рядов чисел Вольфа // Солнечные Данные. № 2. С. 72–79. 1985.
- Гневыхив М.Н., Наговицын Ю.А., Наговицына Е.Ю. // Солнечные Данные. № 3. С. 57–62. 1986.
- Наговицын Ю.А. К описанию долговременных вариаций магнитного потока пятен: индекс площадей пятен // Письма в Астрон. Журн. Т. 31. № 8. С. 622–627. 2005.
- Огурцов М.Г. Была ли активность Солнца в последние 100 лет аномально высокой – к вопросу о качестве современных солнечных палеорекострукций // Письма в Астроном. Журн. Т. 33. № 6. С. 472–480. 2007.
- Eddy A. The Maunder minimum // Science. V. 192. P. 1189–1202. 1976.
- Hoyt D., Schatten K.H. How well was the sun observed during the Maunder minimum? // Solar Physics. V. 165. P. 181–192. 1996.
- Hoyt D., Schatten K.H. Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction // Solar Physics. V. 179. P. 189–219. 1998a.
- Hoyt D., Schatten K.H. Group sunspot numbers: a new solar activity reconstruction // Solar Physics. V. 181. P. 491–512. 1998b.
- Kopecky M., Kuklin G.V. On the relative inhomogeneity of long-term series of sunspot indices // Bull. Astronomy Inst. Czechoslovakia. V. 31. № 5. P. 267–283. 1980.
- Legrand J.P., Le Goff M., Mazaudier C., Schroder W. Solar and auroral activities during the seventeenth century // Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica Hungarica. V. 27. № 2–4. P. 251–282. 1992.
- Letfus V. Relative sunspot numbers in the first half of eighteenth century // Solar Physics. V. 194. P. 175–184. 2000.
- Letfus V. Relative sunspot numbers in the first half of the seventeenth century // Solar Physics. V. 205. P. 189–200. 2002.
- Miyahara H., Sokoloff D., Usoskin I.G. The solar cycle at the Maunder minimum epoch // Adv. in Geosciences, (eds. W.-H. Ip, M. Duldig) World Scientific, Singapore. V. 2. P. 1–20. 2006.
- O’Dell C.R., Van Helden A. How accurate were the seventeenth-century measurements of solar diameter // Nature. V. 330. P. 629–631. 1987.
- Ogurtsov M.G., Jungner H. Temporal evolution of statistical features of the sunspot cycles // Adv. Space Sci. In print, 2011.
- Ribes J.C., Nesme-Ribes E. The solar sunspot cycle in the Maunder minimum AD 1645 to AD 1715 // Astronomy and Astrophysics. V. 276. P. 549–563. 1993.
- Schove D.J. Sunspot turning-points and aurorae since A.D. 1510 // Solar Physics. V. 63. P. 423–432. 1979.
- Schove D.J. Sunspot Cycles. Stroudsburg: Hutchinson Ross Publication, 1983.
- Usoskin I.G., Mursula K., Kovaltsov G.A. Reconstruction of monthly and yearly group sunspot numbers from sparse daily observations // Solar Physics. V. 218. P. 295–305. 2003.
- Usoskin I.G., Mursula K. Long-term solar cycle evolution: review of recent developments // Solar Physics. V. 218. P. 319–343. 2003.
- Vaquero J.M. Historical sunspot observations: a review // Adv. Space Res. V. 40. P. 929–941. 2007.
- Vaquero J.M., Trigo R.M., Gallego M.C., Moreno-Corral M.A. Two early sunspots observers: Teodoro de Almeida and Jose Antonio Alzate // Solar Physics. V. 240. P. 165–175. 2007a.
- Vaquero J.M., Gallego M.C., Trigo R.M. Sunspot numbers during 1736–1739 revised // Adv. Space Res. V. 40. P. 1895–1903. 2007b.
- Waldmeier M. The sunspot activity in the years 1610–1960. Schulthess, Zurich, 1961.
- Wilson R.M. A comparison of Wolf’s reconstructed record of annual sunspot number with – Schwabe’s observed record of “clusters of spots” for the interval of 1826–1868 // Solar Physics. V. 182. P. 217–230. 1998.