

*А.П. Крамынин, Р.В. Чванов*

## **О ПОДОБИИ РЯДОВ НАБЛЮДЕНИЙ СУММАРНОЙ ПЛОЩАДИ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН В УАФО ДВО РАН, АО ИГУ, ГАС ГАО РАН**

С использованием корреляционно-регрессионного анализа и метода главных компонент проведено сравнение наблюдений ежедневных и среднемесячных значений суммарной площади солнечных пятен трех обсерваторий, расположенных в Усурийске, Иркутске и Кисловодске. Рассчитаны соответствующие коэффициенты корреляции и регрессии. Установлено, что ряд ежедневных значений площадей пятен, полученных в этих трех обсерваториях, можно заменить одним рядом, а именно проекцией на главную ось, который опишет 97,4% общей изменчивости данных. Для среднемесячных значений новый ряд опишет 98,6% суммарной дисперсии используемых рядов.

### *ВВЕДЕНИЕ*

Для решения некоторых задач солнечной и солнечно-земной физики требуются ежедневные значения суммарной площади пятен. Но из-за погодных условий мы имеем пропуски в рядах наблюдений. Возникает вопрос: насколько корректно мы можем пропуски в рядах наблюдений одной обсерватории заменить наблюдениями другой.

Для больших интервалов усреднения длиной в месяц, а тем более в год сходимость рядов наблюдений разных обсерваторий также имеет свои нюансы. Большая апертура телескопа, лучшее качество изображения позволяют рассмотреть более мелкие пятна, что приводит к большим значениям средней суммарной площади солнечных пятен: в рядах присутствуют как систематические различия, связанные с техническими характеристиками телескопов, так и случайные, возникшие из-за вариаций качества изображения. Для устранения

первых требуется калибровочный коэффициент, который можно получить, сравнивая ряды наблюдений, а для устранения вторых – временное усреднение или другие методы, позволяющие выявить общие вариации.

Ранее уже проводились сравнения индексов солнечной активности, полученных в разных обсерваториях. Например, сравнение площадей групп пятен, наблюдаемых Уссурийской астрофизической обсерваторией ДВО РАН (УАФО ДВО РАН) и Горной астрономической обсерваторией ГАО РАН (ГАС ГАО РАН) [2], Уссурийской астрофизической обсерваторией ДВО РАН и Астрономической обсерватории АО ИГУ (АО ИГУ) [3]. Сравнение годовых рядов наблюдений ежедневных значений суммарной площади пятен за период 1955–2008 г. в [2] показывает, что коэффициент корреляции между годовыми рядами колеблется от 0,9 до 0,99 и в среднем составляет 0,95. Но в 1973, 2002 гг. наблюдаются низкие коэффициенты корреляции 0,77 и 0,63 соответственно. Причина такого расхождения рядов не понятна, что требует дополнительных исследований.

Начиная с 2009 г. в Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН г. Уссурийск, Астрономической обсерватории ИГУ (г. Иркутск) и на Горной астрономической станции ГАО РАН (г. Кисловодск) ведётся регистрация чисел Вольфа и площадей солнечных пятен с использованием одной полуавтоматической программы обработки наблюдений, с регистрацией изображения Солнца на цифровые приемники и при помощи примерно одинаковых телескопов.

Сравнение рядов ежедневных значений суммарной площади пятен за период 2009–2011 г., полученных в УАФО и АО ИГУ в [3], показывает, что коэффициент корреляции между рядами равен 0,95. А уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{\text{аоигу}} = 1,04S_{\text{уафо}}$$

Используя этот калибровочный множитель, можно с успехом заменять пропуски наблюдений в рядах, возникшие в названных обсерваториях.

Настоящая статья посвящена сравнению ежедневных и среднемесячных значений суммарных площадей солнечных пятен, полученных в УАФО ДВО РАН, АО ИГУ и в ГАО РАН за период 2009–2011 г.

Использовался корреляционно-регрессивный анализ и метод главных компонент [1].

### СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ УАФО И ГАС ГАО

Анализ зависимости ежедневных значений площадей пятен, которые наблюдались в 2009–2011 гг. в г. Уссурийск и г. Кисловодск (рис. 1), показывает, что коэффициент корреляции между рядами равен 0,96, а уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{\text{гасгао}} = 1,13S_{\text{уафо}}$$

т. е. значение измеряемой суммарной площади пятен, полученное в УАФО в 1,13 раза меньше, чем полученное в ГАС ГАО. Значение коэффициента корреляции R и коэффициента регрессии K по годам приведены в табл. 1.

На рис. 1 видно, что некоторые точки значительно удалены от линии регрессии. Чтобы иметь представление о том, насколько велики отклонения, обратимся к рис. 2, где приведено распределение разности  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{уафо}}$  нормированное на их среднеквадратическое отклонение, т.е. на величину вида:

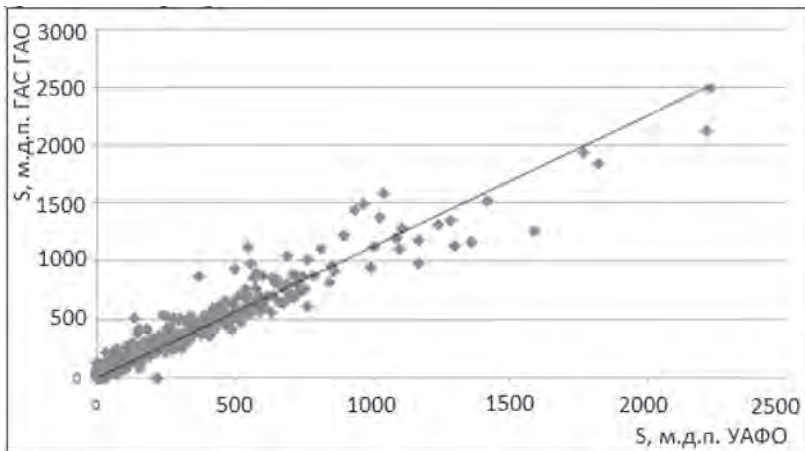


Рис. 1. Сравнение ежедневных площадей пятен по данным УАФО и ГАС ГАО

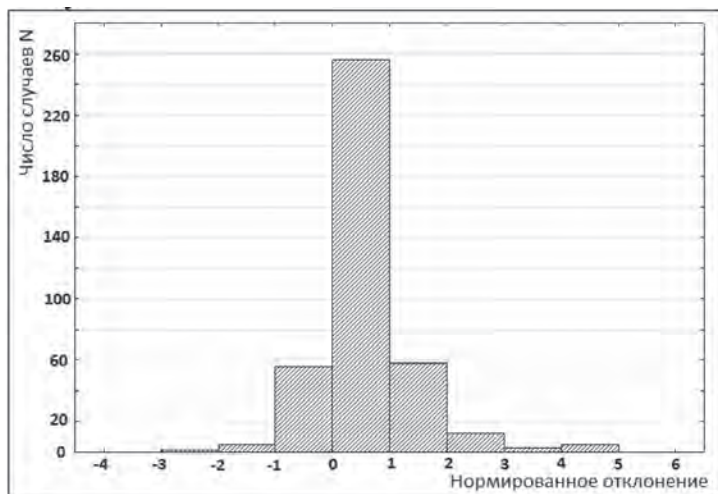


Рис. 2. Распределение разностей  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{уафо}}$ , нормированных на их среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (S_{\text{гасгао}} - S_{\text{уафо}})^2}{N}}$$

На рис. 2 видим, что распределение разности  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{уафо}}$  смещено относительно нуля, что связано с систематическим превышением значений суммарной площади, полученных в ГАС ГАО, над соответствующими значениями, полученными УАФО ДВО РАН. Также на рис. 2 видно, что количество измерений с отклонением  $\sigma \geq 3$  очень мало, но они все-таки есть. Причина появления таких отклонений может быть связана либо с очень плохим качеством изображения на одном из сравниваемых снимков Солнца, либо с достаточно большим промежутком времени между сравниваемыми снимками, за которое какая-то группа пятен могла зайти за лимб или выйти из-за лимба, либо возникнуть на диске Солнца. Убрав такие случаи, можно получить более реальное значение коэффициента корреляции  $R_{\text{исп}}$  и коэффициента регрессии  $K_{\text{исп}}$  (см. табл. 1). Как видим, эта процедура мало повлияла на значения коэффициентов корреляции и регрессии.

Таблица 1

Значение коэффициента корреляции R и коэффициента K  
(по данным УАФО и ГАС ГАО)

Год	R	K	R <sub>исп</sub>	K <sub>исп</sub>
2009	0,96	1,195	0,96	1,195
2010	0,94	1,191	0,96	1,158
2011	0,96	0,105	0,98	1,050
Весь ряд	0,96	1,128	0,98	1,086

Перейдем к рассмотрению связи между среднемесячными площадями пятен. Анализ зависимости среднемесячных значений площадей пятен, которые наблюдали в 2009–2011 гг. в этих обсерваториях (рис. 3), показывает, что коэффициент корреляции между рядами равен 0,97, а уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{\text{гасгао}} = 1,193S_{\text{уафо}}$$

Это значит, что значение измеряемой среднемесячной суммарной площади пятен, полученное в УАФО, систематически в 1,193 раза меньше, чем значение, полученное в ГАС ГАО. На рис. 4 видно, что только одно измерение имеет отклонение около 3. Распределение на рис. 4 существенно асимметрично относительно нуля.

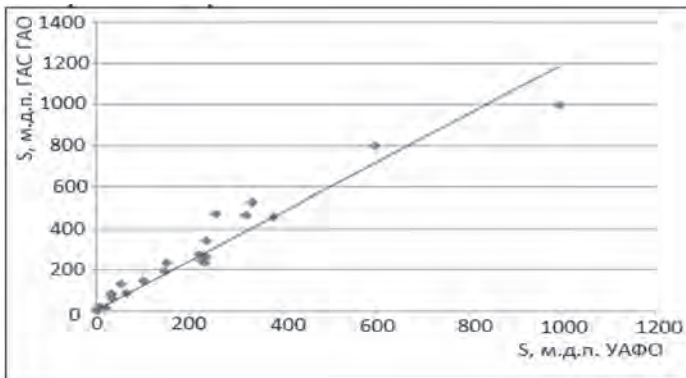


Рис. 3. Сравнение среднемесячных площадей пятен по данным УАФО и ГАС ГАО

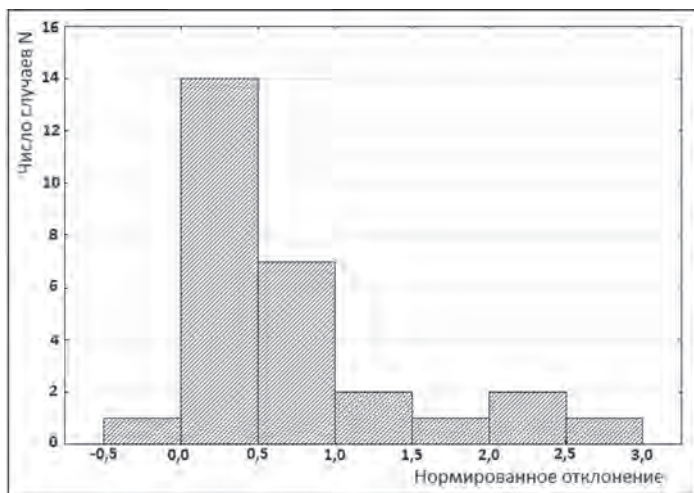


Рис. 4. Распределение среднемесячных разностей  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{уафо}}$ , нормированных на их среднеквадратичное отклонение

## 2. СРАВНЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ АО ИГУ И ГАС ГАО

Анализ зависимости ежедневных значений площадей пятен, которые наблюдали в АО ИГУ и ГАС ГАО (рис. 5), показал, что коэффициент корреляции между рядами равен 0,96, а уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{\text{гас}} = 1,112S_{\text{аоигу}}$$

Значение коэффициента корреляции R и коэффициента регрессии K по годам приведены в табл. 2.

Таблица 2

### Значение коэффициента корреляции регрессии K (по данным ОА ИГУ и ГАС ГАО)

Год	R	K	$R_{\text{исп}}$	$K_{\text{исп}}$
2009	0,96	1,10	0,96	1,100
2010	0,92	1,08	0,96	1,096
2011	0,96	1,12	0,97	1,071
Весь ряд	0,96	1,11	0,97	1,081

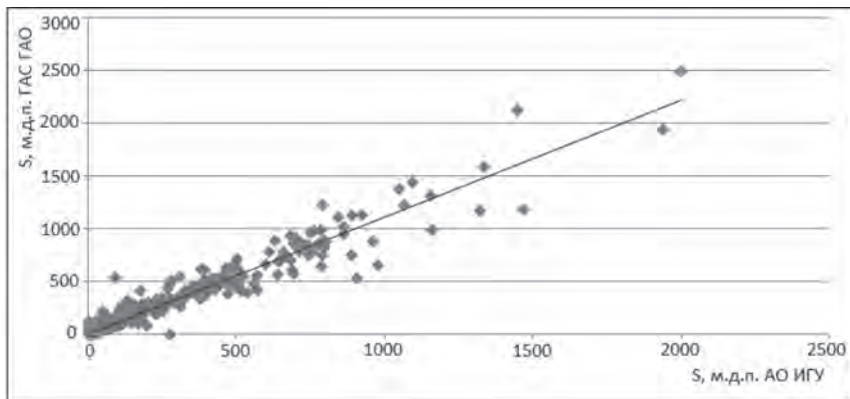


Рис. 5. Сравнение ежедневных площадей пятен по данным АО ИГУ и ГАС ГАО

Распределение разности  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{аоигу}}$  нормированное на их среднеквадратичное отклонение рис. 6, похоже на распределение, представленное на рис. 2.

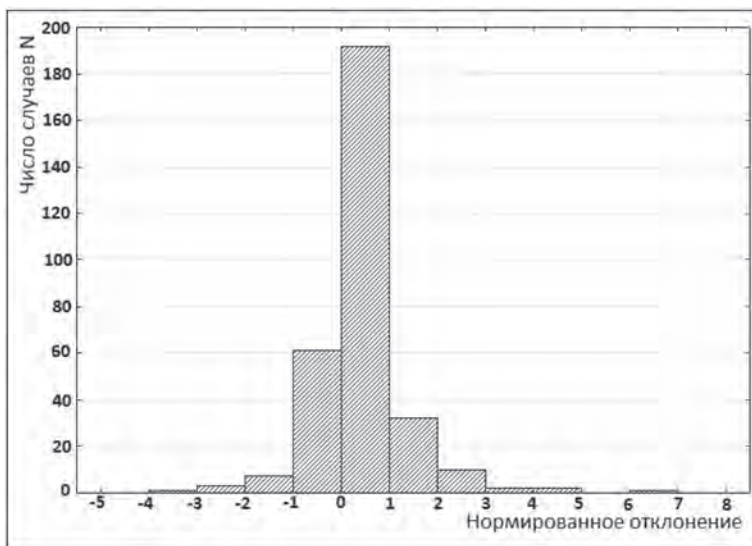


Рис. 6. Распределение разностей  $S_{\text{гасгао}} - S_{\text{аоигу}}$  нормированных на их среднеквадратичное отклонение

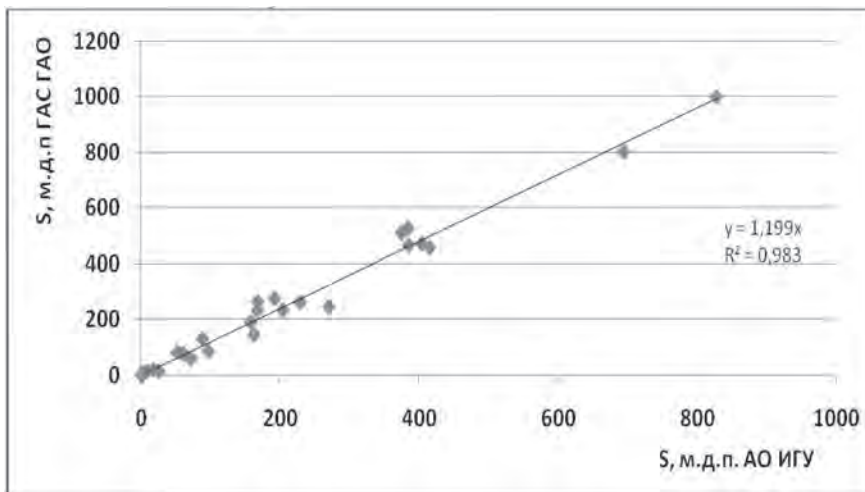


Рис. 7. Сравнение среднемесячных площадей пятен по данным АО ИГУ и ГАС ГАО

На рис. 6 видим, что количество измерений с отклонением  $\sigma \geq 3$  очень мало. Убрав их, улучшим коэффициент корреляции  $R_{исп}$  и регрессии  $K_{исп}$  (табл. 2).

Анализ связи между среднемесячными значениями суммарной площади пятен рис. 7, которые наблюдались в ГАС ГАО и АО ИГУ показывает, что коэффициент корреляции между рядами равен 0,98, а уравнение регрессии имеет вид:

$$S_{гасгао} = 1,2S_{аоигу}$$

### МЕТОД ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

Проведенный выше анализ данных наблюдений проводился на основе регрессионного и корреляционного анализа, в котором методе анализа используется метод наименьших квадратов: предполагается, что сравнение происходит между двумя величинами, из которых одна случайная, другая истинна. В нашем случае обе величины случайные. Поэтому для сравнительного анализа лучше применять метод глав-



ных компонент. Главные компоненты – это не что иное, как собственные векторы ковариационной матрицы, а вклад того или иного компонента оценивается по собственным значениям этой матрицы. Таким образом, проблема сводится к проблеме отыскания собственных векторов и собственных значений корреляционной матрицы. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Сравнение рядов ежедневных значений площадей пятен, полученных в УАФО ДВО РАН и АО ИГУ за 2009–2011 гг., показывает, что проекция на первую главную ось описывает 97,73% суммарной дисперсии. А вклад проекции на вторую ось – только 2,27%. Иначе говоря, если спроектировать данные наблюдений только на первую главную ось, то потеря информации составит 2,27% от всей изменчивости данных. Для среднемесячных значений площадей пятен, наблюдаемых в 2009–2011 гг. в АО ИГУ и УАФО ДВО РАН, вклад по первой главной оси составляет 98,53% от общей дисперсии.

**Таблица 3**

**Вклад общей изменчивости в дисперсию исследуемых рядов**

Обсерватория	Вклад, %		
	УАФО	ГАС ГАО	АО ИГУ
УАФО	100	98,24	97,73
ГАС ГАО	<b>98,63</b>	100	98,15
АО ИГУ	<b>98,53</b>	<b>99,59</b>	100

Примечание. Выделенные данные – среднемесячные значения.

Анализ ежедневных значений площадей пятен, полученных в ГАС ГАО РАН и УАФО ДВО РАН, показывает, что изменчивость множества данных по первой главной оси описывает 98,24% от общей изменчивости данных. Для среднемесячных значений площадей пятен, полученных в этих обсерваториях, вклад по первой главной оси составляет 98,63% суммарной дисперсии.

Анализ ежедневных значений площадей пятен, полученных в ГАС ГАО РАН и АО ИГУ, дает вклад по первой главной оси 98,15% от

общей изменчивости данных. Для среднемесячных значений площадей пятен, полученных в этих обсерваториях, вклад по первой главной оси составляет 98,6% от суммарной дисперсии.

Совместный анализ ежедневных значений площадей пятен, полученных в трех обсерваториях, показывает, что вклад по первой главной оси описывает 97,36% общей изменчивости данных, а для среднемесячных значений – 98,6%.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Девис Дж.С.* Статистический анализ данных в геологии // Метод главных компонент / Под ред. Родионова Д.А. Пер. Голубевой В.А. Москва: Недра, 1990. Т. 2. С. 271–289.

2. *Крамынин А.П., Воробьева Г.П.* Динамика спектра вариаций суммарной площади фотосферных факелов в северном и южном полушариях Солнца // Солнечная активность и её влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2008. Т. 11. С. 97–103.

3. *Крамынин А.П., Язев С.А., Расчетин С.А., Чванов Р.В.* Сравнение наблюдений солнечных пятен, полученных в Уссурийской астрофизической обсерватории ДВО РАН и Астрономической обсерватории Иркутского государственного университета // Солнечная активность и ее влияние на землю. Владивосток: Дальнаука, 2011. Т. 14. С. 80–86.

4. [http://158.250.29.123:8000/web/Soln\\_Dann/](http://158.250.29.123:8000/web/Soln_Dann/) – Горная астрономическая станция ГАО РАН // Архив данных // Кисловодский ряд групп солнечных пятен.