УДК 520.1
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-41
ORCID: 0009-0007-2942-5765

# АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДАННЫХ СИБИРСКОГО РАДИОГЕЛИОГРАФА

**Д.С. Грабельных[1], С.А. Анфиногентов[2], В.В. Феденёв[2]**

[1]Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия, dansry2@mail.ru
[2]Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

# AUTOMATIC QUALITY CONTROL OF SIBERIAN RADIOHELIOGRAPH DATA

**D.S. Grabelnykh[1], S.A. Anfinogentov[2], V.V. Fedenev[2]**

[1]Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia
2Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

**Аннотация.** Сибирский радиогелиограф (СРГ) – комплекс из 526 антенн в обсерватории «Бадары» (Бурятия) для получения изображений Солнца в диапазоне 3–24 ГГц. Ежедневно генерируются большие объёмы данных, и для дальнейшей обработки эти данные необходимо проверять на качество. Отсутствие автоматической системы контроля качества данных затрудняет их использование для научных целей. В работе представлен алгоритм автоматических проверок данных СРГ по различным параметрам, таким как доступность наблюдений, корректность формирования полных потоков энергии от Солнца и корреляционных кривых в течение наблюдательного дня, обнаружение аномалий. Разработан модульный программный пакет на Python, который визуализирует результаты в виде календарных тепловых карт и предоставляет записи из журнала наблюдений.

**Ключевые слова:** Сибирский радиогелиограф, полный поток Солнца, микроволновый спектр.

**Abstract.** The Siberian Radioheliograph (SRH) is a facility comprising 526 antennas at the Badary Observatory (Buryatia), designed to produce solar images in the 3–24 GHz range. Large volumes of data are generated daily, and before further processing, these data must be checked for quality. The lack of an automated quality control system hinders the use of the data for scientific purposes. This paper presents an algorithm for automated quality checks of SRH data across various parameters, such as observation availability, correct generation of total solar flux and correlation curves throughout an observing day, and anomaly detection. A modular Python software package has been developed that visualizes the results as calendar heatmaps and provides entries from the observation log.

**Keywords:** Siberian Radioheliograph, total solar flux, microwave spectrum.

## ВВЕДЕНИЕ

Сибирский радиогелиограф (СРГ) – один из самых современных инструментов солнечной физики, позволяющий получать двумерные изображения Солнца в микроволновом диапазоне с высоким разрешением. Данные СРГ можно использовать для исследования солнечных вспышек, корональных выбросов масс и других проявлений солнечной активности.

В течение наблюдательного дня прибор получает функции видности, являющиеся комплексными коэффициентами корреляции сигналов от каждой из пар антенн. При формировании каждой из функций видности на качество данных может влиять множество факторов, таких как аппаратные сбои отдельных антенн или их облучателей, радиочастотные помехи, состояние приёмного тракта. В результате часть функций видности может быть непригодной для построения изображений и вносить искажения в полный поток мощности от Солнца [Лесовой, 2025].

В обсерватории «Бадары» ведётся электронный журнал наблюдений, в который записывается информация о поломках индивидуальных антенн или о ремонтных работах, однако автоматических проверок данных на достоверность для дальнейшего анализа не проводится.

**Цель работы** – разработка и программная реализация алгоритма автоматических проверок качества данных СРГ с сопоставлением информации из журнала наблюдений, который ведётся в обсерватории.

## МЕТОДИКА И АЛГОРИТМЫ

Разработанная система реализована на Python с использованием объектно-ориентированной архитектуры.

**Проверка доступности (AvailabilityChecker).** Анализирует наличие в хранилище сырых данных с функциями видности для построения изображений у трёх решёток СРГ (SRH0306, SRH0612, SRH1224).

**Проверка качества потоков (QualityChecker).** Проверяет наблюдаемые потоки мощности от Солнца, публикуемые в архиве Радиоастрономической обсерватории по различным параметрам.

1. Сравнение потока с потоком от спокойного Солнца. Ожидаемый поток спокойного Солнца в единицах SFU рассчитывается, согласно приближению Рэлея-Джинса [Zirin et al, 1991]:

$$S = \frac{2k_B T_b f^2 \Omega}{c^2} U_{SFU} \quad (1)$$

где $k_B$ – постоянная Больцмана, $T_b$ – яркостная температура Солнца на данной частоте, $f$ – частота наблюдения, $c$ – скорость света, $\Omega$ – телесный угол Солнца, $U_{SFU}$ – коэффициент пересчёта в единицы Solar Flux Unit.

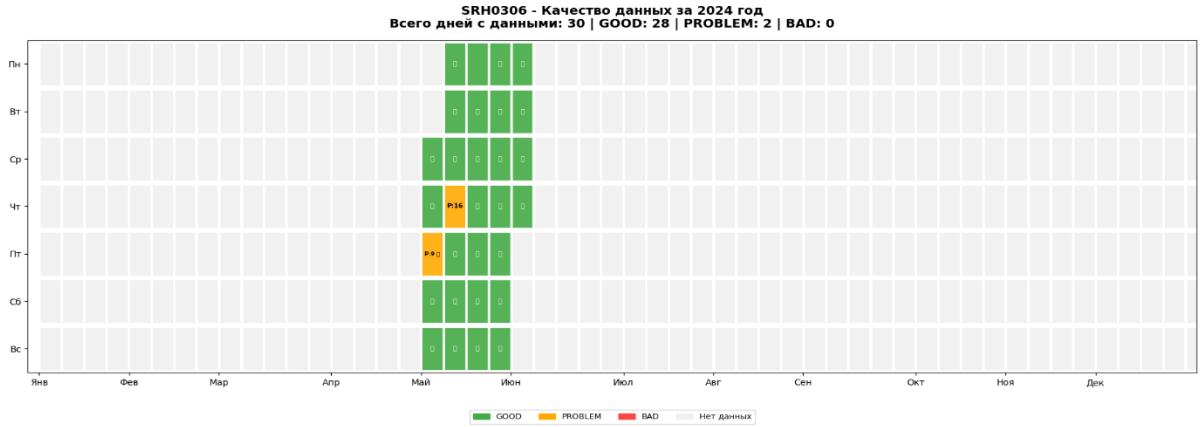


*Рис. 1.* Календарная тепловая карта качества наблюдений для решётки SRH030

Алгоритм проверяет, что наблюдаемый поток не должен быть ниже потока от спокойного Солнца (проверяется, что поток не ниже 90% от ожидаемого) [Svalgaard et. al, 2010]. Если поток выше, то всё нормально, т.к. превышения потока могут быть связаны с наличием вспышечной активности или с излучением от пятенных источников.

Если же наблюдается превышение дневного медианного потока выше 1000%, значит это признак аппаратных или программных проблем в процессе наблюдений. Дополнительно обнаруживаются аномальные провалы длительностью более 20 минут.

2. Выявление пробелов в данных или ошибок в записи потоков, связанных с остановкой или перезапуском наблюдений.

Алгоритм проверяет, что данные идут в монотонной временной последовательности, без резких скачков или провалов в наблюдениях больше 1 часа (статус **PROBLEM**).

**Интеграция с журналом наблюдателей.**

На обсерватории «Бадары» ведётся электронный журнал наблюдений в формате Excel. В него дежурные наблюдатели заносят отметки о нештатных ситуациях: отказы антенн, помехи, погодные условия, остановки записи. В данной работе информация из журнала была интегрирована в систему контроля качества

**Статусы качества:**

– **GOOD** – данные хорошие, пригодны для дальнейшего использования в научных целях;

– **PROBLEM** – есть проблемы;

– **BAD** – критические проблемы;

– **NO DATA** – данные или отсутствуют или не проверялись.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Тестирование проведено на данных за 30 дней наблюдений за май 2024 года. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1. Количество наблюдательных дней в мае 2024 года и результаты их проверок алгоритмом

| Решётка | GOOD | PROBLEM | BAD | Всего |
|---|---|---|---|---|
| SRH0306 | 28 | 2 | 0 | 30 |
| SRH0612 | 28 | 2 | 0 | 30 |
| SRH1224 | 21 | 4 | 5 | 30 |

Из таблицы видно, что решётки SRH0306 и SRH0612 демонстрируют высокое качество данных (более 93% дней со статусом **GOOD**). Решётка SRH1224 показывает только 70% хороших дней, 17% дней имеют критические проблемы.

Для визуализации разработана календарная тепловая карта (рис. 1), где каждый день представлен цветным квадратом: зелёный – **GOOD**, оранжевый – **PROBLEM**, красный – **BAD**, серый – нет данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы разработан и программно реализован алгоритм автоматического контроля качества данных Сибирского радиогелиографа.

**Основные результаты:**

1. Создан программный пакет на Python, с возможностью добавления дополнительных проверок.

2. Реализованы проверки: доступности данных, физичности наблюдаемых потоков относительно потоков спокойного Солнца.

3. В отчёты включаются записи из электронного журнала наблюдателей обсерватории «Бадары».

4. Разработана система визуализации результатов в виде календарных тепловых карт.

5. Проведено тестирование на данных за 30 дней. Выявлены дни с проблемными наблюдениями на конкретных частотах.

Разработанная система может использоваться для автоматической маркировки наблюдений СРГ, для улучшения алгоритмов построения изображений, а также для обработки архивов данных при подготовке больших выборок для статистических исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Лесовой С.В. Результаты исследования микроволнового излучения Солнца: Автореферат дис. д.ф.-м.н. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2025. 207 с.

Zirin H., Baumert B.M., Hurford G.J. The microwave brightness temperature spectrum of the quiet Sun // The Astrophysical Journal. 1991. Vol. 370. P. 779–783.

Svalgaard L., Hudson H.S. The solar microwave flux and the sunspot number. arXiv:1003.4281v1 [astro-ph.SR]. 2010. 10 p.