УДК 523.9-1/-8,520.8

# РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ ГАВАНСКОЙ РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В СОСТАВЕ РОССИЙСКИХ СЛУЖБ СОЛНЦА И КОСМИЧЕСКОЙ ПОГОДЫ

© 2021 г. В. М. Богод<sup>1,</sup> \*, А. А. Стороженко<sup>1</sup>, А. Г. Тлатов<sup>2</sup>, К. М. Кузанян<sup>3</sup>, А. А. Абунин<sup>3</sup>, С. В. Лесовой<sup>4</sup>, Omar Pons<sup>5</sup>, Marta Uratsuka<sup>5</sup>, Ramses Zaldívar<sup>5</sup>, Sierra Pablo<sup>5</sup>

> <sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия <sup>2</sup>Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия

<sup>3</sup>Институт земного магнетизма и распространения радиоволн РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт солнечно-земной физики РАН, Иркутск, Россия

<sup>5</sup>Институт геофизики и астрономии Кубы, Гавана, Куба \*vbog\_spb@mail.ru Поступила в редакцию 01.03.2020 г. После доработки 30.04.2020 г.

Принята к публикации 29.05.2020 г.

Необходимость воссоздания Гаванской наблюдательной солнечной станции сегодня диктуется важностью получения регулярного прогноза активности Солнца в широком диапазоне временных интервалов. Подробно описана концепция создаваемой наблюдательной сети, инфраструктура патрульной станции как элемента сети. Функции этой сети предоставят непрерывный наблюдательный материал для Российских служб Солнца и Космической Погоды и будут независимы от космических наблюдений, но способны использовать их для контроля качества. Рассмотрены физические основы комплексных наблюдений для широкого круга гелиогеофизических явлений.

DOI: 10.31857/S0023420621020023

# 1. ВВЕДЕНИЕ

11.IX.2019 г. исполнилось 50 лет Гаванской радиоастрономической станции, возникшей после проведения наблюдения затмения Солнца советской экспедицией. Станция проводила регулярные наблюдения Солнца до 2006 г., с точностью измерения полного потока радиоизлучения до 2%.

В силу удачного географическое положение Кубы восстановление радионаблюдений Солнца увеличит долготное перекрытие по времени и будет полезно как для службы Солнца России, так и для службы Космической погоды, где важна информация об уровне его активности.

В 2018 г. в РФФИ были объявлены совместные Российско-кубинские гранты и начата совместная деятельность по реновации кубинской станции.

#### 2. ЦЕЛЬ ПРОЕКТА

Для ознакомления с состоянием станции были проведены экспедиции, в результате которых было принято решение о создании станции нового типа, в которой был бы реализован полностью автоматизированный режим наблюдений. Эти идеи также направлены на воссоздание Российской службы Солнца с использованием большой долготной протяженности России на базе сети наземных станций, в которую будет включена и патрульная станция в Гаване. Логика регулярных наземных наблюдений активности Солнца с помощью многодиапазонной аппаратуры, приводит к необходимости безостановочных наблюдений. Широкое долготное перекрытие в России позволяет перекрыть основную часть времени суток для непрерывных наблюдений Солнца. Для этого нужно разместить ряд патрульных станций по долготе от Владивостока (Горнотаежная) до Калининграда, а также патрульную станцию на Кубе (регулярные наблюдения на которой сейчас остановлены).

Ключевым элементом этой сети является автоматическая Солнечная патрульная станция, построенная на основе универсального проекта с широким применением последних достижений в области астроприборостроения и современных цифровых технологий. Это позволит реализовать полностью автоматизированный процесс наблюдений, в удаленном доступе и в безоператорном режиме даже без использования зарубежных спутниковых данных. По нашим оценкам, для такой задачи достаточно 8–10 однотипных патруль-

# РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ

Расположение патрульной станции	Долгота, <i>L</i>	Часовой пояс, <i>Р</i>	Долготное перекрытие, в UT $\Delta(L_{\text{max}}-L_{\text{min}})$
Камчатка	+160°	+12	(-4)-(+8)
*Уссурийская астрофизическая обсерватория ДВО РАН	+132°	+9	(+5)-(+13)
*Иркутск, ИСЗФ	+104.8°	+7	(+3)-(+11)
*Коуровская обсерватория, УрФУ	+59.5°	+5	(+1)-(+9)
*Кисловодск, ГАС	+42.3°	+4	(0)-(+8)
*ИЗМИРАН	+37.3°	+3	(-1)-(+7)
*KpAO	+34°	+3	(-1)-(+7)
Калининград, ИЗМИРАН	+20.4°	+2	(-2)-(+6)
Тенериф, обс. МГУ	-16.3°	0	(-3)-(+4)
*Куба, Гавана	$-82.5^{\circ}$	—4	(-7)-(0)
Мексика, Baha California	-110°	—7	(-10)-(-4)

Таблица 1. Возможные местоположения сети	Солнечных патрульных	станций
--	----------------------	---------

\* Обсерватории России и Кубы.

ных станций, размещение которых приведено в табл. 1.

В оснащение этих наблюдательных станций должны входить автоматические патрульные оптические и радиотелескопы. Прототипы таких телескопов созданы и уже работают в синоптическом режиме наблюдений на ГАС ГАО. В нашем проекте РФФИ № 18-52-34004 отрабатывается стратегия и методы работы сети патрульных телескопов.

Особо следует отметить важность использования наблюдений в радиодиапазоне на волне 10.7 см. Индекс потока излучения на этой волне давно стал хорошей заменой знаменитому индексу чисел Вольфа, который подвержен погодным аномалиям. Оригинальные наблюдения проводятся в Канаде [1, 2], где они проводятся 1 раз в сутки по четко отработанной методике. Сейчас данные этого индекса имеют высокий спрос для задач связанные с возмущениями в земной атмосфере (например, широкое использование для прогноза состояния земной ионосферы, полярной шапки, и для ряда задач службы Космическая Погода). Непрерывные спектральные измерения с центром на волне 10.7 см, предполагаемые в наших методиках, значительно повысят точность прогнозов.

Следует отметить, что регулярные данные сети на базе наземных круглосуточных наблюдений будут способствовать решению многих вопросов и Российской Службы Космической Погоды, связанных с механизмами воздействия солнечной активности на состояние магнитосферы, ионосферы и атмосферы Земли, посредством трех агентов — электромагнитного излучения, потоков релятивистских частиц и высокоскоростных потоков солнечной плазмы. (а) Электромагнитное излучение. Основные геоэффективные проявления электромагнитного излучения Солнца наблюдаются во время сильных солнечных вспышек – быстрых, мощных выделений энергии, когда может значительно повышаться уровень излучения на частотах от радио до гамма диапазона. Время распространения возмущения от Солнца до орбиты Земли ~8 мин. Вспышки возникают в активных областях со сложной вертикальной структурой магнитных полей, перезамыкания в которых приводят к резкому преобразованию магнитной энергии в кинетическую энергию высокоскоростных энергичных частиц (электроны, протоны и ионы).

Основные механизмы воздействия электромагнитного излучения солнечных вспышек на околоземное пространство, вызывающие негативные последствия:

• изменение состояния ионосферы вследствие ионизации частиц ультрафиолетовым и рентгеновским излучением, что может приводить к перебоям в системах связи, использующих ионосферу как отражающий слой или как среду распространения радиоволн;

• нагрев верхних слоев атмосферы ультрафиолетовым излучением, что приводит к расширению атмосферы и, как следствие, к более сильному аэродинамическому торможению космических аппаратов, находящихся на низких орбитах;

• увеличение электромагнитного излучения Солнца в микроволновом и радиодиапазонах, что может создавать помехи радарам, системам навигации и связи.

(б) **Релятивистские частицы.** Потоки солнечных энергетических частиц (SEPs) представляют собой потоки протонов, ядер, электронов и даже нейтронов, ускоренных до релятивистских ско-

ростей. Точный механизм ускорения до сих пор остается до конца не выясненным. Предположительно, ускорение этих частиц происходит как в момент вспышки в петле, так и на ударной волне, создаваемой соответствующим корональным выбросом массы. Рассматриваемые частицы опасны как для незащищенных космонавтов, так и бортовой электроники КА. Время распространения ускоренных частиц от Солнца до орбиты Земли всего десятки минут, а регистрироваться поток на высоком (опасном) уровне может несколько дней после начала события.

(в) Потоки солнечной плазмы. Основным фактором, влияющим на состояние космической погоды, являются потоки плазмы, испускаемые Солнцем. Существуют два основных типа возмущений межпланетной среды: спорадические и рекуррентные. Первые обусловлены корональными выбросами массы (КВМ), вторые — высокоскоростными потоками плазмы из корональных дыр, вращающимися вместе с Солнцем. Оба типа межпланетных возмущений способны вызвать достаточно серьезный отклик в магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли.

К наиболее сильным возмущениям космической погоды приводят КВМ, представляющие собой облака плазмы, выбрасывающиеся с поверхности Солнца в межпланетное пространство со скоростью до 3000 км/с и более. КВМ возникают в межпятенной структуре активной области над линиями раздела полярностей магнитного поля (в виде волокон) на уровне переходной зоны хромосфера-корона, к которым чувствительно радиоизлучение в диапазоне длин волн 10.7 см ± 20% как в интенсивности, так и в круговой поляризации. Вспышечно-активные области генерируют КВМ в периоды генерации вспышек и часто сопровождают друг друга.

Во время таких событий могут генерироваться заряженные частицы, которые создают дополнительные зоны рассеяния электромагнитных волн радио- и микроволнового диапазонов, приводя к сбоям в работе спутников связи и систем навигации. Заряды, накопленные на обшивках КА, могут приводить к возникновению разрядов внутри электронных схем. Дополнительные токи в ионосфере, возникающие во время магнитных бурь, создают наведенные геомагнитные токи на поверхности Земли.

Т.о., перечисленные выше агенты практически полностью определяют состояние космической погоды. Важно отметить, что большинство существующих моделей, описывающих состояние околоземной среды (ионосферы, атмосферы и т.д.), в качестве одного из основных входных параметров используют индекс, характеризующий непосредственно солнечную активность, точнее – поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10.7 см (индекс *F10.7*). Более того, непрерывная регистрация радиоизлучения на волне 10.7 см с анализом тонкой структуры спектра вблизи этой частоты в данном проекте дает возможность для ранней регистрации вспышечной активности и выбросов KBM.

На данный момент информация об индексе F10.7 берется, в основном, с зарубежных источников информации. Важно подчеркнуть, что наблюдались случаи, когда доступ к этим данным временно ограничивался по неизвестным причинам.

Таким образом, с целью обеспечения непрерывности анализа и прогнозирования состояния околоземной среды, а также повышения оборонной способности страны необходимо возродить Службу Солнца. И на первом этапе важно развернуть сеть наблюдательных станций в нашей стране.

### 3. КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СОЛНЕЧНОЙ ПАТРУЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Предполагается реализация полностью автоматического режима работы станции с удаленным управлением и контролем. В состав станции включаются радиотелескопы на сантиметровый (СМВ), дециметровый (ДМВ) и метровый (МВ) диапазоны и оптический телескоп СПОТ (прототип существует в ГАС ГАО). В службе Солнца используются: радиоспектрограф СМ диапазона [3-15 см] дляоценки корональных магнитных полей, радиометр на диапазон 10.7 см для дублирования службы чисел Вольфа; радиоспектрограф МВ диапазона для оценки шумовых бурь (ШБ) и КВМ; оптический телескоп СПОТ для измерения активности в линиях Ca IIK, H-альфа, He10830, для получения магнитограмм диска Солнца, КВМ и жесткого излучения.

Инженерное оборудование и автоматизированный комплекс Солнечной станции должно обеспечивать следующие основные функции:

• управление процессом наблюдений в автоматическом режиме, в соответствии с программой наблюдений;

• возможность удаленного мониторинга состояния основных узлов станции;

 возможность удаленного управления узлами станции в ручном и автоматизированном режиме;

• визуальный контроль внутреннего пространства станции;

 автоматическую противопожарную защиту и сигнализацию;

• контроль доступа обслуживающего персонала к узлам станции;

• возможность работы в автономном режиме не зависимо от внешних источников электроснабжения, с заданным запасом автономности;



Рис. 1. Структурная схема автоматической Солнечной патрульной станции.

 контроль основных метеорологических параметров в месте установки станции;

 информационные коммуникаций с применением современных цифровых каналов связи, передачу результатов наблюдений, временных трендов технологических параметров на удаленные сервера авторизованных центров обработки информации;

 локальный архив результатов наблюдений и временных трендов технологических параметров станции.

На рис. 1 приведена схема типовой автоматизированной наземной станции.

Таким образом, будет создана Сеть круглосуточных астрономических наземных наблюдений активности Солнца (СКАННАС) в составе 10 патрульных станций для обеспечения задач Российской службы Солнца и Космической Погоды (см. табл. 1).

# 4. СЕТЬ КРУГЛОСУТОЧНЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ АКТИВНОСТИ СОЛНЦА (СКАННАС)

Сеть патрульных станций включает в себя так же центры обработки данных, в автоматическом режиме должна обеспечивать:

• оперативную информацию о солнечной активности в непрерывном режиме;

• составление on-line моделей для анализа данных наблюдений;

• длительные однородные ряды наблюдений;

• выработку оперативного прогноза состояния космической погоды.

Наблюдательная сеть должна способствовать решению задач представляющих научный интерес, а также имеет широкое прикладное значение:

• прогноз и круглосуточный мониторинг солнечных вспышек по оптическим и радиоданным;

 прогноз и круглосуточный мониторинг корональных выбросов массы по оптическим и радиоданным;

106

Таблица 2. Значения корреляции фоновых потоков микроволнового излучения для волн 10.7, 5 и 3 см с индексами активности: числа пятен SN, площади пятен SA и фонового рентгеновского излучения X-Ray

Индекс\λ	10.7	5	3
SN (Sunspot Number)	0.881	0.812	0.55
SA (Sunspot Area)	0.857	0.873	0.659
X-Ray background	0.872	0.879	0.681

• прогноз космической погоды на орбите Земли в солнечной гелиосфере;

 прогноз воздействия солнечных событий и жесткого излучения на магнитосферу и верхние слои атмосферы;

 продолжение длительных однородных рядов наблюдений солнечной активности (проблема "Космический климат").

Расположение наблюдательных пунктов должно обеспечивать максимально возможное перекрытие суточного интервала наблюдений, табл. 1. С учетом Камчатки и Мексики долготное перекрытие  $\Delta(L_{\text{max}} - L_{\text{min}})$  составляет 19 ч, с учетом длительности наблюдений D = 8-10 ч, суточный интервал наблюдений может быть перекрыт полностью.

# 5. ОПТИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА СКАННАС

Оптические наблюдения на СКАННАС необходимы для наблюдения фотосферы, хромосферы и короны Солнца, в которых формируются и транспортируются многие явления КП. Их оперативное прогнозирование является необходимым условием для успешного осуществления космических программ, авиасообщения на высоких широтах и других задач, в том числе и задач специального назначения. Здесь, мы представляем комплекс, состоящий из наземных оптических телескопов, математических моделей и аппаратно-программных средств. Этот комплекс осуществляет решение следующих задач:

• Прогнозирование параметров солнечного ветра (СВ) в гелиосфере и вблизи Земли в частности. Реконструкции параметров солнечного ветра производится по данным наблюдений магнитографа СТОП, моделирования и реконструкции параметров СВ на основе модели Wang-Sheley-Arge [3, 4] и баллистической модели распространения потоков солнечного ветра от поверхности источников. В этой модели считается, что на расстояниях до поверхности источника  $R_s(R_s \sim 2.5R_{\odot})$ , где  $R_{\odot}$  — радиус Солнца, скорость солнечного ветра определяется фактором расширения магнитного поля. Выше  $R_s$ , солнечный ветер распространяется радиально. При этом быстрые и медленные потоки могут взаимодействовать между собой. Результаты прогнозирования ежедневно представлены на сайте http://solarstation.ru/sun-service/forecast.

• Детектирование и расчет геоэффективности корональных выбросов массы (КВМ). Параметры КВМ, а именно вектор скорости и оценка плотности на начальном этапе распространения определяются по данным патрульных телескопов. В дальнейшем распространение КВМ через гелиосферу определяется на основе модели, основанной на взаимодействии КВМ с солнечным ветром через аэродинамическое сопротивление. В этой модели мы рассматриваем КВМ в виде облака, представленного набором точек, и отслеживаем траекторию движения каждой точки в гелиосфере, вплоть до орбиты Земли.

• Прогноз солнечных вспышек на основе ежедневных синоптических наблюдений солнечной активности в оптическом и радиодиапазоне. Многофакторная модель построена на основе машинного обучения. Модель позволяет осуществлять прогноз количества и мощность солнечных вспышек за один-два дня с высокой достоверностью.

• Прогноз фонового потока жесткого излучения по данным наземных наблюдения солнечной активности на основе моделирования нейронных сетей.

• Оптические телескопы с непрерывным режимом наблюдений, позволяют наблюдать в центре и крыльях спектральных линий. Основное назначение таких телескопов регистрация КВМ и солнечных вспышек. Телескопы магнитографы с высокой чувствительностью магнитного поля предназначены для реконструкции источников высокоскоростного солнечного ветра.

### 6. НАБЛЮДЕНИЯ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА СКАННАС

История исследования активности Солнца указывает на тесную связь чисел солнечных пятен (индекс Вольфа) с потоком радиоизлучения на волне 10.7 см (индекс *F10.7*). Микроволновое излучение в широком диапазоне от 3 до 30 см является хорошим показателем общей солнечной активности. Этот индекс имеет длинную серию наблюдений, начатую Ковингтоном [5] в Канаде в 1947 г. В отличие от индекса Вольфа, точность которого во многом определяется процедурой подсчета солнечных пятен, индекс *F10.7* отражает физические процессы в активной солнечной короне.

В проекте уделено особое внимание регулярной регистрации индекса *F10.7* и спектральным изменениям потока радиоизлучения со сдвигами на коротковолновую и длинноволновую части спектра. Подробное изучение спектральных особенностей вспышечно-продуктивных активных

областей (ВПАО) [6] на крупном радиотелескопе РАТАН-600 показало, что в ВПАО со сложной структурой крупных пятен возникает микроволновое поляризованное радиоизлучение в широком диапазоне радиоволн, обусловленное различными механизмами. К ним относятся: циклотронное излучение над пятнами с круговой поляризацией на низких гармониках гирочастоты, доминирующее на волнах от 1.6 до 10 см [7, 8]; межпятенное слабополяризованное излучение, доминирующее в диапазоне волн от 8 до 12 см, которое обусловлено несколькими механизмами излучения (циклотронным излучением в поперечном магнитном поле [9], нетепловым излучением источника над нейтральной линией магнитного поля (NLS), [7, 9, 10], либо излучением плотного продольного токового слоя [11]). Также присутствует излучение широкого бесструктурного Гало в диапазоне от 12 до 30 см, предположительно нетепловой природы [12–15]. Многочисленные спектральные наблюдения активных областей на Солнце с помощью крупных инструментов РАТАН-600, VLA [10], OWSA [16] и некоторых других, указывают на четкую связь поведения спектра потока радиоизлучения с различным состоянием активной области:

А) В стабильном состоянии в спектре активной области на коротких волнах наблюдается рост потока радиоизлучения с длиной волны, связанный с перемещением по высоте 3-й и 2-й гирогармоник в область корональных температур. 3-я гармоника с оптической толщиной (>1) располагается выше 2-й гармоники (также плотной). В срединном диапазоне наблюдается стабильное яркое межпятенное излучение. На более длинных волнах в дециметровом диапазоне спектр потока спадает ввиду перехода в более высокие слои оптически тонкой короны с формированием широкого бесструктурного Гало нетепловой природы [17].

В) В предвспышечном состоянии ВПАО возникает резкий рост потока радиоизлучения на коротких волнах, который обычно связан с выходом нового магнитного потока. Именно в предвспышечной фазе происходят процессы накопления энергии, процессы формирования предвспышечных состояний (токовые слои, пекулярные источники, аномалии в поляризованном радиоизлучении и др.) [18]. Рост спектра на коротких волнах используется в качестве критерия вспышечного прогноза в интервале до 3 сут [18] с достоверностью около до 80%. В срединном диапазоне наблюдается стабильное увеличение межпятенного излучения за двое суток до мощной вспышки [19]. В длинноволновом диапазоне заметных изменений в этом состоянии не происходит.

В ходе вспышечного процесса в ВПАО наблюдаются значительные изменения в спектре пото-

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ том 59 № 2 2021

ка радиоизлучения во всем спектре от 1.6 до 30 см с резкими изменениями по времени, частоте и поляризации и возникновением многочисленных микровсплесков в длинноволновом диапазоне [20, 21].

С) Поствспышечное излучение часто обусловлено возникновением яркой пост-эруптивной аркады в виде длительно живущего оптически тонкого радиоисточника [22]. При наличии условий для повторных вспышечных процессов сохраняется подъем в коротковолновой части спектра.

Таким образом, аккумулируя данные спектральных наблюдений на крупных инструментах РАТАН-600, VLA, ССРТ и NoRH, выявляется необходимость непрерывного слежения за активностью солнечной короны в широком спектральном диапазоне радиоволн для раннего выявления возникновения предвспышечных условий и предсказаний событий, сопутствующих вспышечному явлению.

# 7. СВЯЗЬ МИКРОВОЛНОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОМ ДИАПАЗОНЕ

Вариации солнечного жесткого ультрафиолетового (*EUV*) излучения оказывают существенное воздействие ионосферу и термосферу Земли. EUV излучение вызывает вариации многих процессов в ионосфере, тепловом балансе атмосферы, в изменение геомагнитного поля Земли через сложную цепочку физических связей [1]. Показано, что оценку потока EUV можно проводить по уровню микроволнового излучения Солнца, поскольку многими стациями в микроволновом диапазоне установлена почти 100% корреляция между потоком EUV излучения и потоком на волне 10.7 см. Так в работе [2] приводится следующее соотношение для EUV излучения в диапазоне (0.1-50) нм определено число 0.18 · 10<sup>10</sup> фотонов, которому соответствует 1 с. е. п. (солнечная единица потока равная 10<sup>-22</sup> Вт м<sup>-2</sup> Гц<sup>-1</sup>) радиоизлучения инлекса *F10.7*.

С 1951 г. в Японии начались синоптические наблюдения на четырех фиксированных частотах 1.0, 2.0, 3.75 и 9.4 ГГц [23] и использовали эти и другие данные для установления единого абсолютного фотометрического стандарта для микроволнового диапазона. Канадские (*F10.7*) и японские (четыре фиксированные частоты) наблюдения продолжаются до настоящего времени.

На рис. 2 представлены изменения фоновых (вне солнечных вспышек) потоков радиоизлучения на нескольких длинах волн (*F10.7, F5, F3*) в сравнении с индексом солнечных пятен. Значения для *F10.7, F5, F3* мы взяли на сайте Кисловодской станции (http://solarstation.ru/). Представлены ежедневные и сглаженные скользящим ок-



**Рис. 2.** Сопоставление индексов радиоизлучения и числа пятен в течение 24-го цикла солнечной активности. На нижней панели представлен индекс числа солнечных пятен SN.

#### РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА РЕКОНСТРУКЦИИ





ном шириной 31 день значения. Можно отметить, что изменения потока в 24-м цикле от минимума к максимуму активности составили для длин волн (*F10.* 7 и *F5*) около 100 с. е. п. Индекс *F3* имеет сезонные вариации с максимумом в зимний период. Возможно, это связано с изменениями радиуса Солнца вследствие орбитального периода. Поведение индексов *F10.* 7 и *F5* имеют близкие значения. На рис. 3 представлены регрессионные зависимости для индексов *F10.* 7, *F5*, *F3* и индексом солнечных пятен, индексом общей площади солнечных пятен и фоновым потоком жесткого излучения  $F_{xray}$  в диапазоне 1–8 Ангстрем. Данные взяты из файлов базы ресурса ftp://ftp. swpc.noaa.gov/pub/indices/old indices/.

Значения коэффициентов корреляции представлены в табл. 1. Можно отметить, что индекс F10.7 имеет более высокую корреляцию с индексом солнечных пятен, а индекс F5 более высокую корреляцию для площади солнечных пятен и фонового потока радиоизлучения. Наблюдения на длине волны 3 см, имеют невысокую корреляцию и индексами солнечной активности и потоком жесткого излучения.

Приведенные примеры указывают на возможности использования данных *EUV* и жесткого излучения благодаря высокой корреляции с наземными наблюдениями потока радиоизлучения без использования спутниковых данных непосредственно. Как показывают тестовые оценки наличие непрерывных оптических наблюдений и радиоданных позволяют улучшить знания о состоянии гелигеофизической обстановки.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Задача Сети наземных наблюдений солнечной активности — непрерывное слежение за солнечной активностью. В работе приведено описание Сети круглосуточных астрономических наземных наблюдений активности Солнца (СКАННАС), которая может быть использована для решения большого перечня фундаментальных и прикладных задач Служб Солнца и Космической Погоды, а именно: мониторинга, анализа и прогноза состояния космической погоды, в частности, солнечной активности (вспышек, потоков ультрафиолетового и рентгеновского излучения и т.д.), радиационной обстановки, геомагнитной активности, условий распространения радиоволн, состояния ионосферы и атмосферы. Приведены описания астрономического инструментария патрульной станции. Рассмотрены физические основы комплексных наблюдений для широкого круга гелиогеофизических явлений. Показано, что система СКАННАС может стать необходимым инструментом как для фундаментальных задач физики Солнца, задач Космической Погоды, так и для прикладных направлений.

Работа выполнена при поддержке Российским фондом фундаментальных исследований, проекты РФФИ № 18-52-34004 и 18-02-00098, Министерством науки, технологий и окружающей среды Кубы.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Svalgaard L. Reconstruction of Solar Extreme Ultraviolet Flux 1740–2015 // Solar Physics. 2016. V. 291. Issue 9–10. P. 2981–3010.
- Svalgaard L. Recalibration of Bartel's geomagnetic activity indices Kp and ap to include universal time variations // J. Geophys. Res. 1976. V. 81. Issue A28. P. 5182–5188.
- Wang Y.M., Sheeley N.R., Jr. On potential field models of the solar corona // Astrophys. J. 1992. V. 392. P. 310–319.
- Arge C.N., Pizzo V.J. Improvement in the prediction of solar wind conditions using near-real time solar magnetic field updates // J. Geophys. Res. 2000. V. 105. № A5. P. 10465–10480.
- Covington A.E. Solar Radio Emission at 10.7 cm, 1947– 1968 // J. Royal Astronomical Society of Canada. 1969. V. 63. P. 125.
- Bogod V.M., Tokhchukova S.Kh. Peculiarities of Microwave Emission from Active Regions Generating Intense Solar Flares // Astronomy Lett. 2003. V. 29. № 4. P. 263–273.
- Zhelezniakov V.V., Zlotnik E. Ya. Cyclotron Lines in the Spectra of Solar Flares and Solar Active Regions // Solar Physics. 1989. V. 121. Issue 1–2. P. 449–456.
- 8. Akhmedov S.B., Gelfreikh G.B., Bogod V.M. et al. The Measurement of Magnetic Fields in the Solar Atmosphere above Sunspots Using Gyro-Resonance Emission // Solar Physics. 1982. V. 79. P. 41.
- Bogod V.M., Kaltman T.I., Yasnov L.V. On properties of microwave sources located above the neutral line of radial magnetic field // Astrophysical Bulletin. 2012. V. 67. Issue 4. P. 425–437.

- Akhmedov Sh.B., Borovik V.N., Gelfreikh G.B. et al. Structure of a solar active region from RATAN 600 and Very Large Array observations // Astrophys. J. 1986. V. 301. P. 460–464.
- 11. Uralov A.M., Rudenko G.V., Rudenko I.G. 17GHz Neutral Line Associated Sources: Birth, Motion, and Projection Effect // Publications of the Astronomical Society of Japan. 2006. V. 58. № 1. P. 21–28.
- Bakunina I.A., Melnikov V.F., Solov'ev A.A. et al. Intersunspot Microwave Sources // Solar Physics. 2015. V. 290. Issue 1. P. 37–52.
- Somov B.V. Non-neutral current sheets and solar flare energetics // Astron. & Astrophys. 1986. V. 163. P. 210.
- Korzhavin A.N., Lubyshev B.I. The active region structure as deduced from RATAN-600 observations // JOSO Annu. Rep. 1997. P. 96–98.
- Kaltman T.I., Korzhavin A.N., Peterova N.G. The Self-Inversion of the Sign of Circular Polarization in "Halo" Microwave Sources // Solar Physics. 2007. V. 242. Issue 1–2. P. 125–142.
- Gary Dale E., Hurford G.J., Nita G.M. et al. The Expanded Owens Valley Solar Array // American Astronomical Society. SPD meeting #42. id.1.02. Bulletin of the American Astronomical Society. 2011. V. 43.
- 17. *Peterova N.G., Opeikina L.V., Topchilo N.A.* "Halo" type sources from microwave observations with high angular resolution // Geomagnetism and Aeronomy. 2014. V. 54. Issue 8. P. 1053–1057.
- Bogod V.M., Tokhchukova S.Kh. RATAN-600 Microwave observations of Powerful Active Regions from October 23 to November 5, 2003 // Cosmic Research. 2006. V. 44. № 6. P. 506–519.
- Bogod V.M., Svidskiy P.M., Kurochkin E.A. et al. A Method of Forecasting Solar Activity Based on Radio Astronomical Observations // Astrophysical Bulletin. 2018. V. 73. P. 478.
- Bogod V.M., Yasnov L.V. Polarization of Microwave Radio Emission of Flare-Producing Solar Active Regions // Solar Physics. 2009. V. 255. Is. 2. P. 253–271.
- 21. *Abramov-Maximov V.E., Borovik V.N., Opeikina L.V. et al.* Dynamics of Microwave Sources Associated with the Neutral Line and the Magnetic-Field Parameters of Sunspots as a Factor in Predicting Large Flares // Solar Physics. 2015. V. 290. P. 53.
- 22. *Grigoryeva I.Y., Borovik V.N., Livshits M.A. et al.* Post-Eruptive Arcade Formation in the 25 January 2007 CME/Flare Limb Event: Microwave Observations with the RATAN-600 Radio Telescope // Solar Physics. 2009. V. 260. P. 157–175.
- 23. *Tanaka H., Castelli J.P., Covington A.E. et al.* Absolute Calibration of Solar Radio Flux Density in the Microwave Region // Solar Physics. 1973. V. 29. P. 243.

2021