

УДК 523.9;523.98;523.9-7

ВАРИАЦИИ ПОТОКОВ В ЛИНИЯХ СОЛНЕЧНОГО КУФ-ИЗЛУЧЕНИЯ ВНЕ ВСПЫШЕК В 24-М ЦИКЛЕ

© 2019 г. Е. А. Бруевич¹, *, Г. В. Якунина¹, **

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета
им. М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ), г. Москва, Россия

*e-mail: red-field@yandex.ru

**e-mail: yakunina@sai.msu.ru

Поступила в редакцию 22.05.2018 г.

После доработки 29.06.2018 г.

Принята к публикации 27.09.2018 г.

Исследования в крайней ультрафиолетовой (КУФ) и рентгеновской областях солнечного спектра важны в связи с их активной ролью в образовании ионосферы Земли. Фотоны КУФ-диапазона полностью поглощаются в верхних слоях атмосферы Земли и вызывают возбуждение, диссоциацию и ионизацию различных ее компонентов, а в конечном итоге — нагрев атмосферы. Их архивных данных Solar Dynamics Observatory/EUV Variability Experiment (SDO/EVE) нами сформированы ряды ежедневных значений потоков вневысшышечного излучения в линиях КУФ-диапазона HeII (30.4 нм), HeI (58.4 нм), CIII (97.7 нм) и FeXVIII (9.4 нм) в 24-м цикле (2010–2017 гг.). Проведено сравнение этих потоков с соответствующими величинами потока радиоизлучения на волне 10.7 см ($F_{10.7}$) и вневысшышечного потока излучения в рентгеновском диапазоне 0.1–0.8 нм ($F_{0.1-0.8}$) по наблюдениям на спутнике GOES-15. Сравнительный анализ показал наличие тесной связи между солнечным излучением в отдельных линиях КУФ-диапазона и потоками $F_{10.7}$ и $F_{0.1-0.8}$.

DOI: 10.1134/S0016794019020032

1. ВВЕДЕНИЕ

Солнечное ультрафиолетовое излучение (УФ-излучение) является основным источником энергии в верхней атмосфере Земли, воздействует на геокосмическую среду и влияет на работу спутников и системы связи и навигации. УФ-излучение изменяется на разных временных масштабах, начиная от нескольких секунд до года, а также в течение 11-летнего солнечного цикла. Солнечное коротковолновое излучение формируется в верхней хромосфере, переходной области и короне, при этом на весь коротковолновый диапазон приходится лишь ~9% суммарной энергии. Однако без наблюдения и прогноза величин потоков солнечного излучения в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра невозможно моделирование состояния верхней атмосферы Земли. Вариации коротковолнового излучения в значительной степени определяются суммарной площадью и эволюцией структурных образований в солнечной атмосфере. Появление и развитие активных областей и факельных площадок накладывает на излучение “спокойного Солнца” и увеличивает наблюдаемые вариации в УФ-диапазоне, см. [Макарова и др., 1991], а так-

же обзор [Lean, 1987]. Кратковременные вариации во вспышках вызывают изменения потоков величин до 60% в УФ-диапазоне и до трех порядков величин в мягком рентгеновском диапазоне. Долговременные изменения в солнечном цикле вызывают изменения потоков коротковолнового излучения от десятков процентов до нескольких раз соответственно.

В конце 1950-х гг. началась эпоха внеатмосферных наблюдений Солнца: наблюдения с помощью аппаратуры, установленной на воздушных шарах и ракетах. Первую жесткую рентгеновскую эмиссию во время вспышки обнаружили в 1958 г. Peterson and Winckler [1959]. В настоящее время непрерывный мониторинг КУФ (EUV) и мягкого рентгеновского (SXR) потоков излучения осуществляется с помощью аппаратуры, установленной на спутниках TIMED, SEE, SDO и GOES [Woods et al., 2012]. Космический аппарат GOES-15 является в настоящее время основным источником данных о рентгеновских вспышках на Солнце. Ожидается, что такие наблюдения будут продолжены и сфокусированы на наблюдениях термосферы и ионосферы Земли [Woods, 2008; Benz, 2017].

Вариации солнечного КВ-излучения приводят к изменению термосферы и ионосферы Земли. Фотоны УФ-излучения поглощаются в верхних слоях атмосферы Земли, вызывают ионизацию и диссоциацию компонентов атмосферы, оказывая существенное влияние на процессы, протекающие в атмосфере и ионосфере, (см., например, [Иванов–Холодный и Нусинов, 1987]). Масштаб изменений иллюстрируется в публикации [Schmidtke et al., 1981]: снижение полного потока УФ-излучения на 30% эквивалентно по величине потоку энергии, поступающему в верхнюю атмосферу во время сильной магнитной бури. Согласно Roble [1983] исключение из солнечного спектра линии HeII 30.4 нм снижает экзосферную температуру на верхней границе на 88 К в период минимума солнечной активности и на 129 К – в период максимума. Таким образом, изменение потоков УФ-излучения может вызвать существенный отклик в термосфере, включая вариации температуры и изменения оптической толщи в разных участках спектра, и, следовательно – в энергетике термосферы [Kockarts, 1981].

Общее содержание электронов в ионосфере (TEC – Total Electron Content) определяется солнечным КУФ-излучением. Данные спутников GOES, SDO, ACE, SOHO, Proba 2 и STEREO в совокупности с наземными данными, такими как индекс $F_{10.7}$, применяются для оперативного прогноза TEC, см. [Hinrichs et al., 2016]. В работах [Didkovsky and Wieman, 2014; Jee et al., 2014] исследован отклик TEC на вариации КУФ-излучения в линии 30.4 нм с 1995 по 2013 гг. Оказалось, что потоки КУФ-излучения в линии демонстрируют значительные относительные вариации активности, которые могут достигать 20% в цикле.

Цель работы – исследование изменчивости потоков солнечного ультрафиолетового излучения, их взаимосвязь с потоком на волне 10.7 см ($F_{10.7}$) и вневысочечным рентгеновским излучением в области 0.1–0.8 нм ($F_{0.1-0.8}$) в 24-м цикле солнечной активности.

2. ДАННЫЕ О ПОТОКАХ В ЛИНИЯХ 58.4 нм, 30.4 нм, 97.7 нм И 9.4 нм ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ SDO/EVE

Эксперимент EVE на солнечной обсерватории SDO ставит следующие задачи: изучение солнечного КУФ (EUV) излучения более чем в 50 линиях и спектральных диапазонах, изучение его переменности на разных временных шкалах с целью улучшения возможности прогнозирования, а также изучение вспышечной активности излучения в крайнем КУФ-диапазоне. Приборы EVE, расположенные на спутнике SDO, измеряют солнечное КУФ-излучение от 0.1 до 105 нм со спектраль-

ным разрешением в 0.1 нм и с временным интервалом 10 с. Спектральное разрешение не хуже, чем 0.1 нм, требуется для разрешения основных ярких эмиссионных линий, что улучшает качество дальнейшего детального прогноза при моделировании ионосферы и термосферы Земли, [Woods et al., 2010].

Несмотря на успех численных моделей, описывающих вариации плотности и температуры ионосферы, остается проблема подтверждения этих моделей наблюдениями. Величины потоков солнечного излучения в КУФ и SXR согласно наблюдениям оказываются несколько меньше, чем требуется для объяснения существующей плотности ионов в нижней ионосфере (~110 км), [Solomon et al., 2013; Solomon, 2016].

Области формирования эмиссионных линий в солнечной атмосфере зависят от температуры. Незначительные вариации излучения в УФ- и рентгеновском диапазонах, связанные с появлением и исчезновением групп пятен в активных областях и с вариациями активности в солнечном цикле и крупными вспышками, вызывают заметные изменения ультрафиолетовых и рентгеновских индексов активности. Поток коротковолнового излучения вне вспышек значительно (в разы) изменяется в цикле активности и, естественно, зависит от общего уровня активности Солнца, [Бруевич и Якунина, 2015].

В работе исследуются данные ежедневных измерений потоков, не связанных со вспышками, в четырех УФ-линиях HeI 58.4 нм, HeII 30.4 нм, CIII 97.7 нм и FeXVIII 9.4 нм. Данные получены из архива наблюдений SDO/EVE, см. http://asp.colorado.edu/eve/data_access/service/plot_averages/index.html.

Согласно работам [Lemen et al., 2012; Иванов-Холодный и Никольский, 1969] максимальная концентрация ионов, излучающих в исследуемых нами линиях, достигается на существенно различающихся высотах (и при разных температурах) в солнечной атмосфере. Линии HeII 30.4 нм ($\lg T \sim 4.75$) и CIII 97.7 нм ($\lg T \sim 4.68$) образуются в переходной области, линия HeI 58.4 нм ($\lg T \sim 4.25$) – в хромосфере и линия FeXVIII 9.4 нм ($\lg T \sim 6.7-7.0$) – в короне.

В таблице 1 приведены температуры (колонка 4) и области солнечной атмосферы, где формируются ионы, излучающие в данных линиях (колонка 5). Поскольку не все SDO/EVE наблюдения охватывают весь 24-й цикл, в 6-й колонке представлен период наблюдений линий. В колонке 7 приводится оценка вариаций среднего уровня вневысочечного потока для каждой линии от минимума к максимуму 24-го цикла ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Таблица 1. Данные о вневысшечных потоках в линиях в периоды наблюдений эксперимента SDO/EVE и областях формирования линий

N	Ион	λ , нм	$\lg T^*$	Область формирования линии	Период наблюдений	Диапазон вариаций потоков от минимума до максимума 24-го цикла ($\text{Вт}/\text{м}^2$)
1	2	3	4	5	6	7
1	FeXVIII	9.4	7.0	Корона	09.2010 г.—06.2014 г.	$4 \times 10^{-6} - 8 \times 10^{-6}$
2	HeII	30.4	4.75	Переходная область	09.2010 г.—06.2014 г.	$4.6 \times 10^{-5} - 5.8 \times 10^{-5}$
3	HeI	58.4	4.25	Хромосфера	09.2010 г.—06.2017 г.	$4.65 \times 10^{-5} - 7.6 \times 10^{-5}$
4	CIII	97.7	4.68	Переходная область	10.2010 г.—06.2017 г.	$1.35 \times 10^{-4} - 1.8 \times 10^{-4}$
5	Поток радиоизлучения	2800 МГц	6.0–6.5	Корона	01.2008 г.—01.2017 г.	$67 \times 10^{-22} - 200 \times 10^{-22}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2/\text{Гц}$)

Примечание: * Температуры согласно работам Lemen et al. [2012]; Иванов–Холодный и Никольский [1969].

На рисунке 1 представлены вариации потоков УФ-излучения в выбранных линиях спектра для 2010–2017 гг. Для сравнения показаны результаты наземных наблюдений потока радиоизлучения $F_{10.7}$. На фазе роста 24-го цикла (2010–2014 гг.) приведены потоки в линиях HeII 30.4 нм и FeXVIII 9.4 нм. Потоки в линиях CIII 97.7 нм и HeI 58.4 нм охватывают весь 24-й цикл. Как видно из рис. 1 и табл. 1 потоки КУФ-излучения изменяются в выбранных линиях не одинаково: наибольшие вариации наблюдаются у линии FeXVIII 9.4 нм (в 2 раза от минимума к максимуму 24-го цикла), наименьшие – у самой геоэффективной линии КУФ-спектра HeII 30.4 нм (на 26% от минимума к максимуму 24-го цикла). В работе [Simon, 1981] показано, что амплитуды вариаций ультрафиолетового излучения по измерениям в 20-м цикле сильно зависят от длины волны: уменьшаются при увеличении длины волны (в 2 раза в интервале 135–175 нм и менее 1% в интервале 330–340 нм). В обзоре [Rottman, 1988] был получен аналогичный результат для 21-го цикла активности: вариации излучения от максимума к минимуму изменяются в 2 раза в области от 121.6 нм до 150 нм, уменьшаясь до 20% вблизи $\lambda = 190$ нм.

3. СВЯЗЬ ПОТОКОВ В КУФ-ЛИНИЯХ С ПОТОКОМ НА ВОЛНЕ 10.7 см И ПОТОКОМ В ИНТЕРВАЛЕ 0.1–0.8 нм

Высокая степень корреляции потока на волне 10.7 см со всеми основными индексами активности предполагает сильную зависимость индексов от параметров плазмы, где эти потоки формиру-

ются, при том, что области их формирования пространственно близки. Мониторинг потока $F_{10.7}$ является полезным инструментом для прогноза вариаций солнечного коронального УФ-излучения, на порядок изменяющегося в зависимости от количества и яркости солнечных активных областей. Именно потоки в УФ-области играют определяющую роль в нагреве термосферы Земли и соответственно в формировании земного климата. Поскольку полный поток $F_{10.7}$ достаточно хорошо коррелирует с интегрированными потоками в УФ- и КУФ-областях солнечного спектра, он может использоваться в качестве базового индекса для прогноза потоков и в этих интервалах солнечного спектра. Поток радиоизлучения на волне 10.7 см от всего солнечного диска может быть разделен (в соответствии с характерными временными масштабами) на три компоненты: 1) события, связанные со вспышечной активностью менее одного часа; 2) медленные вариации интенсивности длительностью до нескольких лет, связанные с эволюцией активных областей в течение солнечного цикла (S -компонента); 3) минимальный уровень потока $F_{10.7}$, ниже которого интенсивность никогда не падает, – “уровень спокойного Солнца”. Согласно наблюдениям, существует тесная корреляция между S -компонентой радиоизлучения на 10.7 см с потоками в линиях УФ-диапазона, см. работу [Tapping, 2013]. Поток на волне 10.7 см увеличивается при увеличении температуры, плотности вещества и магнитных полей, что делает его хорошим индикато-

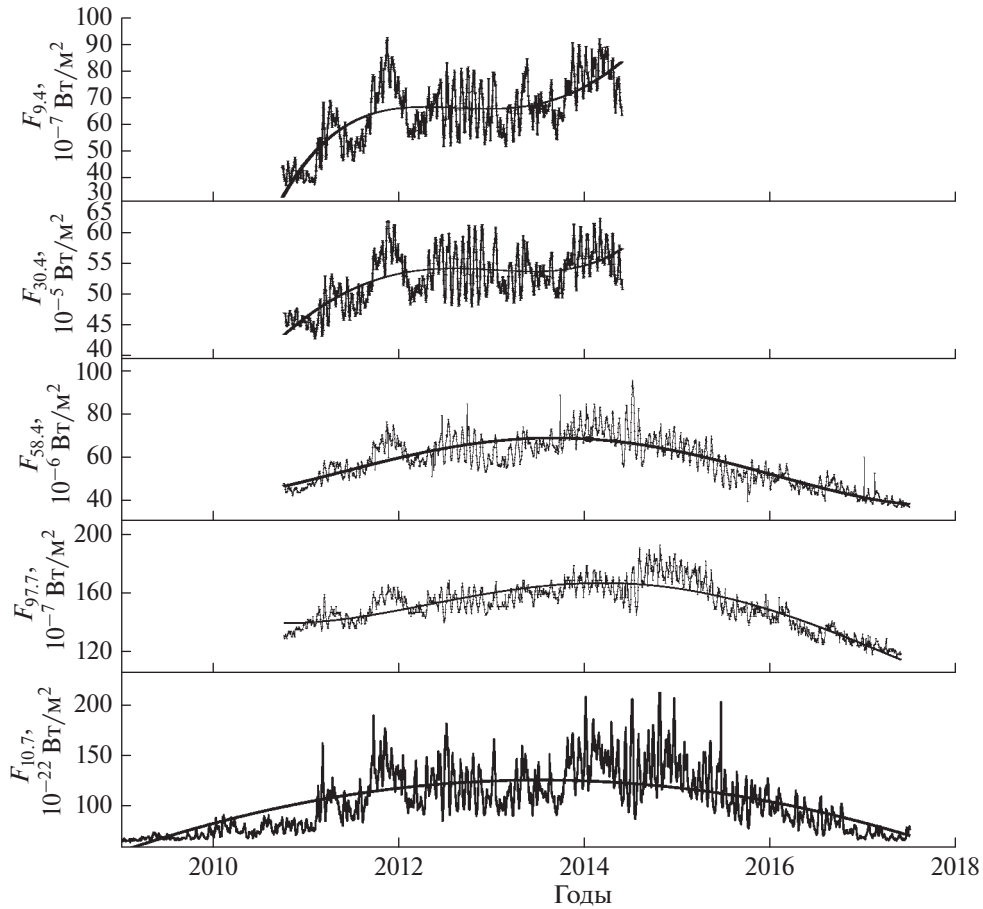


Рис. 1. Вневышечные значения потоков в линиях КУФ-диапазона из архива ежедневных наблюдений SDO/EVE и поток радиоизлучения на волне 10.7 см в 24-м цикле.

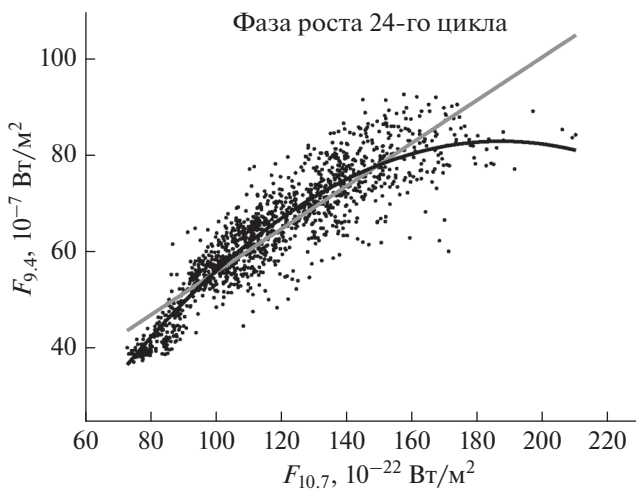


Рис. 2. Зависимость потока вневышечного излучения на волне FeXVIII 9.4 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см на фазе роста 24-го цикла.

ром общего уровня солнечной активности, см. публикацию [Бруевич и Якунина, 2015].

В работе использованы данные ежедневных наблюдений вневышечных потоков излучения в КУФ-диапазоне на SDO/EVE и данные ежедневных вневышечных наблюдений потоков $F_{0.1-0.8}$ в 24-м цикле, полученные авторами статьи из архива спутника GOES-15 (http://www.n3kl.org/sun/noaa_archive). Для этих наблюдений построены линейная и квадратичная зависимости потоков в линиях КУФ-излучения как от потока радиоизлучения $F_{10.7}$, так и от потока в мягком рентгене $F_{0.1-0.8}$ на фазе роста 24-го цикла (2010–2014 гг.) и в полном 24-м цикле (2010–2017 гг.) для разных линий. Эти зависимости приведены на рис. 2–9, линейная регрессия показана серой сплошной линией, квадратичная регрессия – черной сплошной линией.

В таблице 2 представлены коэффициенты квадратичной регрессии (A , B_1 и B_2) для зависи-

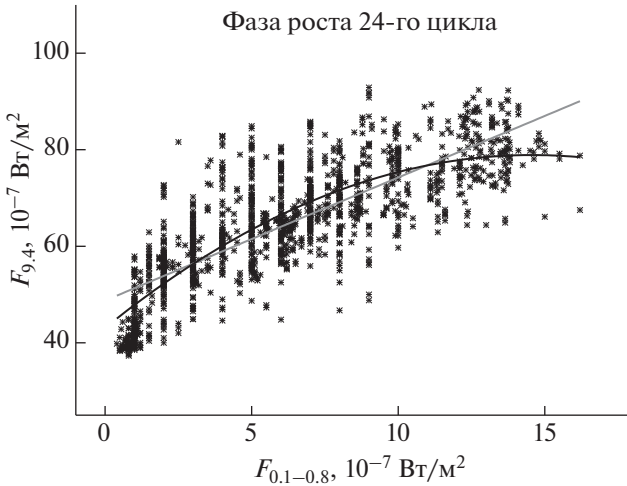


Рис. 3. Зависимость потока вневысшечного излучения на волне FeXVIII 9.4 нм от от вневысшечного потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм на фазе роста 24-го цикла.

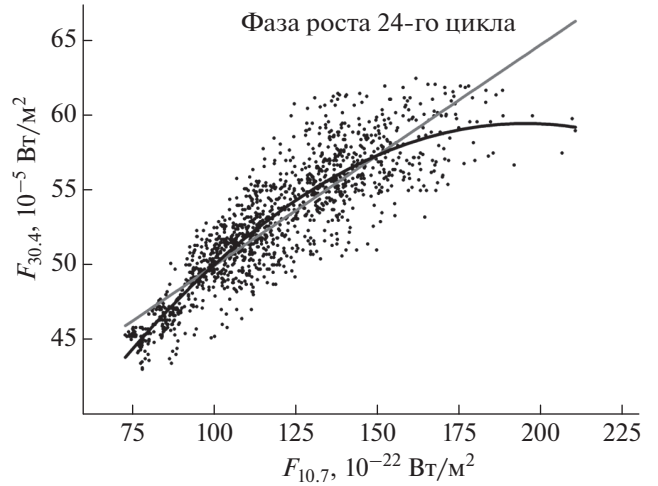


Рис. 4. Зависимость потока вневысшечного излучения на волне HeII 30.4 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см на фазе роста 24-го цикла.

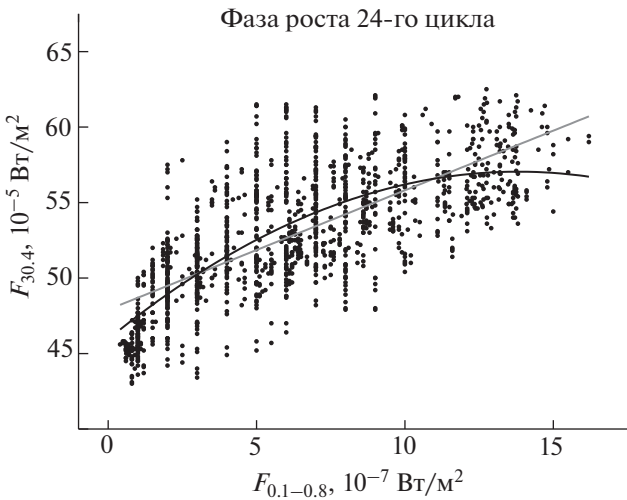


Рис. 5. Зависимость потока вневысшечного излучения на волне HeII 30.4 нм от потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм на фазе роста 24-го цикла.

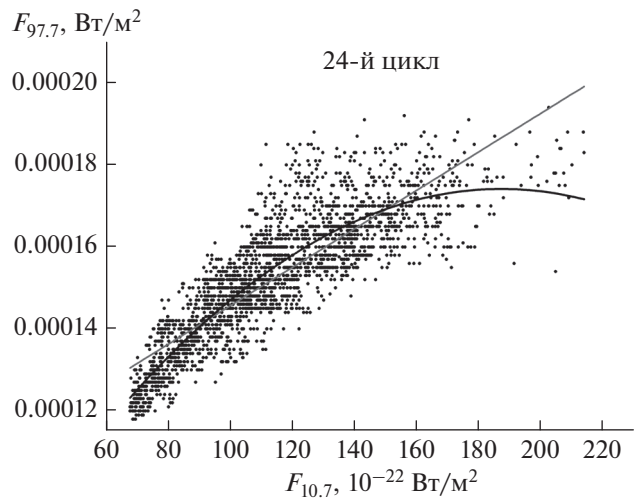


Рис. 6. Зависимость потока вневысшечного излучения в линии CIII 97.7 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см в 24-м цикле.

мостей потоков F_{line} в четырех исследуемых линиях КУФ-диапазона от величины $F_{10.7}$ и от вневысшечного потока $F_{0.1-0.8}$ в 24-м цикле, соответствующие уравнениям:

$$F_{\text{line}} = A + B_1 F_{10.7} + B_2 F_{10.7}^2,$$

$$F_{\text{line}} = A + B_1 F_{0.1-0.8} + B_2 F_{0.1-0.8}^2,$$

где A , B_1 и B_2 – коэффициенты квадратичной регрессии; F_{line} – потоки в исследуемых линиях; $F_{10.7}$ – поток радиоизлучения на волне 10.7 см;

$F_{0.1-0.8}$ – вневысшечный поток излучения в рентгеновском диапазоне 0.1–0.8 нм.

Для линейной и квадратичной регрессий оценивались значения RSS (Residual Sum of Squares – меры невязки между наблюдательными данными и моделью, регрессионной линией). Небольшая величина RSS показывает плотное прилегание модели к данным. В нашем случае величины RSS минимальны при описании зависимости индексов активности от величины $F_{10.7}$ с помощью полиномов второго порядка.

Из таблицы 2 видно, что имеет место сильная корреляция между УФ-потоками в исследуемых

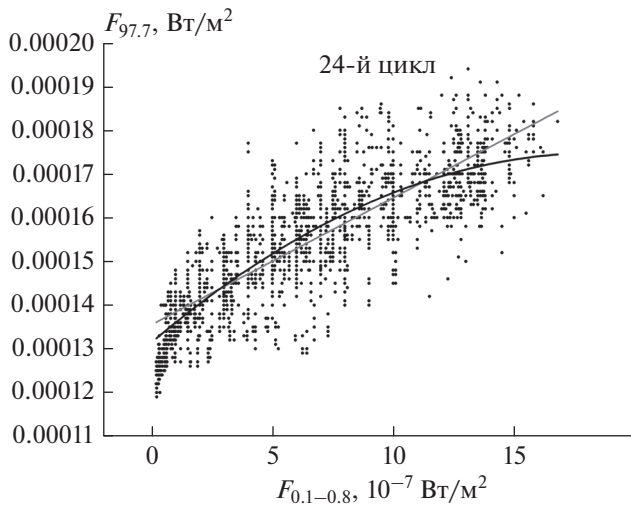


Рис. 7. Зависимость потока вневышечного излучения в линии СИ 97.7 нм от вневышечного потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм в 24-м цикле.

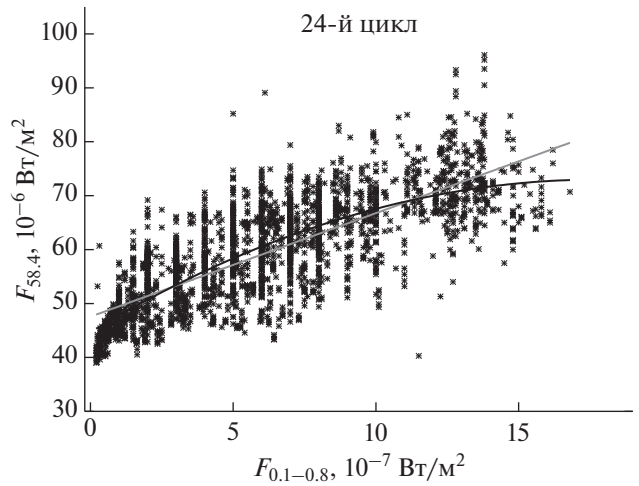


Рис. 9. Зависимость потока вневышечного излучения в линии HeI 58.4 нм от вневышечного потока рентгеновского излучения в диапазоне 0.1–0.8 нм в 24-м цикле.

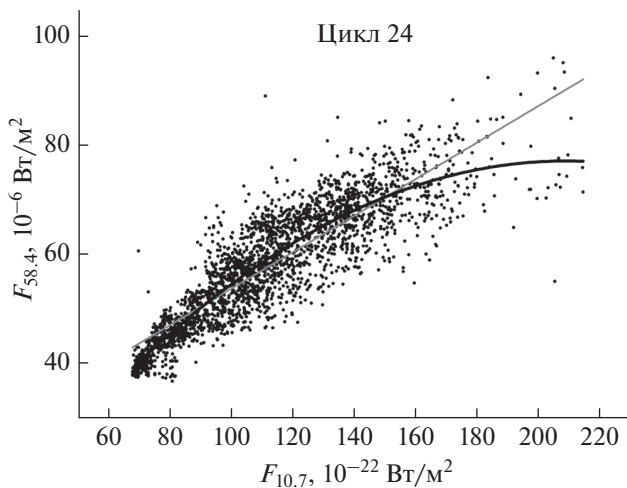


Рис. 8. Зависимость потока вневышечного излучения в линии HeI 58.4 нм от потока радиоизлучения на волне 10.7 см в 24-м цикле.

линиях и потоком $F_{10.7}$. Соответственная корреляция с потоком $F_{0.1-0.8}$ оказалась значительно слабее.

ВЫВОДЫ

КУФ-излучение Солнца является основным источником нагрева и ионизации верхних слоев земной атмосферы. Оно полностью поглощается атмосферой Земли и определяет основные параметры верхней атмосферы. Изучение вариаций КУФ-излучения (ежедневных и долгопериодических в 11-летнем цикле) важно, так как они несут в себе информацию о солнечной хромосфере и короне, а также о процессах, происходящих во время солнечных вспышек.

В работе получены следующие результаты.

Сформированы 4 массива данных о ежедневных величинах вневышечных потоков в линиях

Таблица 2. Коэффициенты квадратичной регрессии для зависимостей потоков в четырех линиях КУФ-диапазона от $F_{10.7}$ и от вневышечного потока $F_{0.1-0.8}$

$F_{\text{line}} \leftrightarrow F_{10.7}$ и $F_{0.1-0.8}$	A	B_1	B_2	σA	σB_1	σB_2
$F_{30.4} \leftrightarrow F_{10.7}$	1.95E-4	4.11E-6	-1.05E-8	1.03E-5	1.69E-7	6.75E-10
$F_{30.4} \leftrightarrow F_{0.1-0.8}$	4.59E-4	1.60.E2	-5.81E7	2.24E-6	7.37	3.1E3
$F_{9.4} \leftrightarrow F_{10.7}$	-4.12E-6	1.33E-7	-3.54E-10	2.66E-7	4.36E-9	1.74E-11
$F_{9.4} \leftrightarrow F_{0.1-0.8}$	4.31E-6	4.92	-1.69E6	5.72E-8	0.19	1.29E5
$F_{97.7} \leftrightarrow F_{10.7}$	4.94E-5	1.33E-6	-3.54E-9	2.11E-6	3.56E-8	1.45E-10
$F_{97.7} \leftrightarrow F_{0.1-0.8}$	1.30E-4	5.33E-6	-1.65E-8	4.11E-6	3.57E-8	1.25E-10
$F_{58.4} \leftrightarrow F_{10.7}$	-5.95E-6	7.97E-7	-1.91E-9	1.37E-6	2.33E-8	9.53E-11
$F_{58.4} \leftrightarrow F_{0.1-0.8}$	4.47E-5	3.17E1	-8.9E6	0.33E-6	1.11	7.52E4

HeI 58.4 нм (2010–2017 гг.), HeII 30.4 нм (2010–2014 гг.), CIII 97.7 нм (2010–2017 гг.) и FeXVIII 9.4 нм (2010–2014 гг.) из архива данных наблюдений SDO/EVE. Вариации этих потоков зависят от длины волны в разной степени для исследуемых линий и представлены на рис. 1 и в табл. 1.

Регрессионный анализ показал наличие тесной связи излучения в исследуемых линиях КУФ-диапазона с потоком радиоизлучения на волне 10.7 см, а также с потоком в мягком рентгеновском диапазоне. Мы используем регрессионные уравнения второго порядка, так как в случае квадратичной регрессии величина RSS (Residual Sum of Squares) заметно меньше, чем в случае линейной регрессии. Результаты анализа представлены в табл. 2.

Результаты регрессионного анализа из табл. 2 можно использовать для восстановления величин потоков в исследуемых линиях с использованием доступных в режиме реального времени данных о потоках $F_{10.7}$ и $F_{0.1-0.8}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бруевич Е.А., Якунина Г.В. Циклическая активность Солнца по наблюдениям индексов активности на разных временных шкалах // Вестн. Московского ун-та. Сер. 3: Физика, астрономия. Т. 4. С. 66–74. 2015.
- Иванов–Холодный Г.С., Никольский Г.М. Солнце и ионосфера. М.: Наука. 455 с. 1969.
- Иванов–Холодный Г.С., Нусинов А.А. Коротковолновое излучение Солнца и его воздействие на верхнюю атмосферу и ионосферу // Итоги науки и техники. Сер. Исследования космического пространства. Т. 26. С. 80–154. 1987.
- Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М.: Наука. 400 с. 1991.
- Benz A.O. Flare Observations // Living reviews in solar physics. V. 14. 59 p. 2017.
- Didkovsky L., Wieman S. Ionospheric total electron contents (TECs) as indicators of solar EUV changes during the last two solar minima // J. Geophys. Res.— Space. V. 119. P. 4175–4184. 2014.
- Hinrichs J., Bothmer V., Mrotzek N. et al. Impacts of space weather effects on the ionospheric vertical Total Electron Content / Proc. EGU General Assembly 2016, held 17–22 April 2016 in Vienna Austria, id. EPSC2016-7375. 2016.
- Jee G., Lee H., Solomon S.C. Global ionospheric total electron contents (TECs) during the last two solar minimum periods // J. Geophys. Res.— Space. V.119. P. 2090–2100. 2014.
- Kockarts G. Effects of solar variations on the upper atmosphere // Solar Phys. V. 74. P. 295–320. 1981.
- Lemen J.R., Title A.M., Akin D.J. et al. The Atmospheric Imaging Assembly (AIA) on The Solar Dynamics Observatory (SDO) // Solar Phys. V. 275. P. 17–40. 2012.
- Lean J. Solar ultraviolet irradiance variations. A review // J. Geophys. Res. V. 92. P. 839–868. 1987.
- Peterson L.E., Winckler J.R. Gamma-ray burst from a solar flare // J. Geophys. Res. V. 64. P. 697–708. 1959.
- Roble R.G. Dynamics of the earth’s thermosphere // Rev. Geophys. Space Phys. V. 21. P. 217–233. 1983.
- Rottman G.J. Observations of solar UV and EUV variability // Adv. Space Res. V. 8. P. 53–66. 1988.
- Schmidtke G., Bursken N., Sunder G. Variability of solar EUV fluxes and exospheric temperatures // J. Geophys. Res. V. 49. P. 146–148. 1981.
- Simon P.C. Solar irradiance between 120 and 400 nm and its variations // Solar Phys. V. 74. P. 273–291. 1981.
- Solomon S.C., Qian L., Burns A.G. The anomalous ionosphere between Solar Cycles 23 and 24 // J. Geophys. Res.— Space. V. 118. P. 6524–6535. 2013.
- Solomon S. C. Solar soft X-rays and the ionosphere E-region problem / American Geophysical Union. Fall General Assembly 2016. Abstract id. SH11D-02. 2016.
- Tapping K.E. The 10.7 cm solar radio flux ($F_{10.7}$) // Space weather. V. 11. P. 394–406. 2013. doi 10.1002/swe.20064
- Woods T.N. Recent advances in observations and modeling of the solar ultraviolet and X-ray spectral irradiance // Adv. Space Res. V. 42. P. 895–902. 2008.
- Woods T., Eparvier F., Hock R. et al. First light results from the SDO Extreme Ultraviolet Variability Experiment (EVE) / 38th COSPAR Scientific Assembly. Bremen, Germany. P. 8–11. 2010.
- Woods T.N., Eparvier F.G., Hock R. et al. Extreme Ultraviolet Variability Experiment (EVE) on the Solar Dynamics Observatory (SDO): Overview of science objectives, instrument design, data products, and model developments // Solar Phys. V. 275. P. 115–143. 2012.