



УДК 53.02:087.4

КОНЦЕНТРАЦИИ ИОНОВ O^+ В ОБЛАСТИ ЭКЗОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, ИЗМЕРЕННЫЕ РАДИОЧАСТОТНЫМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОМ РИМС-2 ЗА ПЕРИОД С 2015 ПО 2022 ГОД

М.С. Иванов, Б.М. Кирюшов, А.С. Казеко, Б.М. Лапшин, А.В. Николаев, А.Ю. Репин, С.Д. Богодяж

¹Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Федорова, г. Москва, Россия

В статье представлен анализ данных масс-спектрометрических измерений ионного состава в области экзосферы на высотах 810–830 км. Измерительный прибор РИМС-2 установлен на КА «Метеор-М» № 2. Прибор РИМС предназначен для измерения концентрации тепловых ионов. Начиная с 2009 года и по настоящее время проводятся непрерывные измерения ионного состава на этих высотах. В статье представлены результаты наблюдений за 2015–2022 годы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЭКЗОСФЕРА, КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ, МАСС-СПЕКТРОМЕТР.

DOI 10.5425/2304-7380_2022_35_45

<https://elibrary.ru/ixghcc>

1. ВВЕДЕНИЕ

В ФГБУ «ИПГ» уже длительное время проводятся наблюдения концентраций ионов H^+ , H_2^+ , He^+ , N^+ , O^+ при помощи прибора РИМС-2. Данные измерений поступают с КА «Метеор-М» ежедневно. Прибором РИМС измеряются концентрации тепловых ионов. В настоящей работе представлены результаты измерений концентрации ионов O^+ с начала 2015 года до апреля 2022 года. Показана связь изменений O^+ с индексом солнечной активности $F10.7$.

2. ОПИСАНИЕ КОСМИЧЕСКОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Спутник «Метеор-М» № 2 включен в Единую территориально-распределённую информационную систему дистанционного зондирования Земли (ЕТРИС ДЗЗ). Спутник был запущен в конце 2014 года на круговую солнечно-синхронную орбиту. На борту спутника в числе геофизических приборов установлен масс-спектрометр РИМС-2 [3]. Датчик (анализатор) прибора РИМС ориентирован вдоль траектории КА «Метеор-М» по вектору скорости. Масс-спектрометр включается в работу 2 раза в сутки, так что все измерения проводятся в интервале от 2 до 6 часов по московскому времени во время утреннего сеанса и от 14 до 17 часов во время вечернего. Пересечение

Электронная почта авторов для переписки:

Иванов Михаил Сергеевич, mi_ivanov@list.ru
Кирюшов Борис Михайлович, kiryushov@gmail.com
Лапшин Владимир Борисович, lapshin-vb1@mail.ru
Николаев Алексей Владимирович, alarmoren@yandex.ru
Репин Андрей Юрьевич, repin_a_yu@mail.ru
Богодяж Сергей Дмитриевич, bogodyazh@ipg.geospace.ru<https://elibrary.ru/ixghcc>Адрес редакции журнала
«Гелиогеофизические исследования»:ФГБУ «ИПГ»
129128; Россия, Москва
ул. Ростокинская, 9.
e-mail: vestnik@ipg.geospace.ru

экватора проходит примерно на долготах 80-100° и 260-280°. Масс-спектрометр измеряет ионный ток анализатора, в котором селекция ионов осуществляется по массам в электрическом поле высокой частоты. Измеряемые масс-спектрометром амплитуды пиков ионных токов пропорциональны концентрации ионов. Сеансы измерений длятся около 2,5 часов каждый.

3. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА КОНЦЕНТРАЦИЙ ИОНОВ O^+

Основными задачами проведения мониторинга концентраций ионов O^+ в экзосфере являются:

1. Изучение влияния активности Солнца на концентрацию ионов O^+ в экзосфере.
2. Выявление сезонного хода концентрации ионов O^+ , построение диаграмм зависимости концентрации ионов O^+ от времени и от широты.

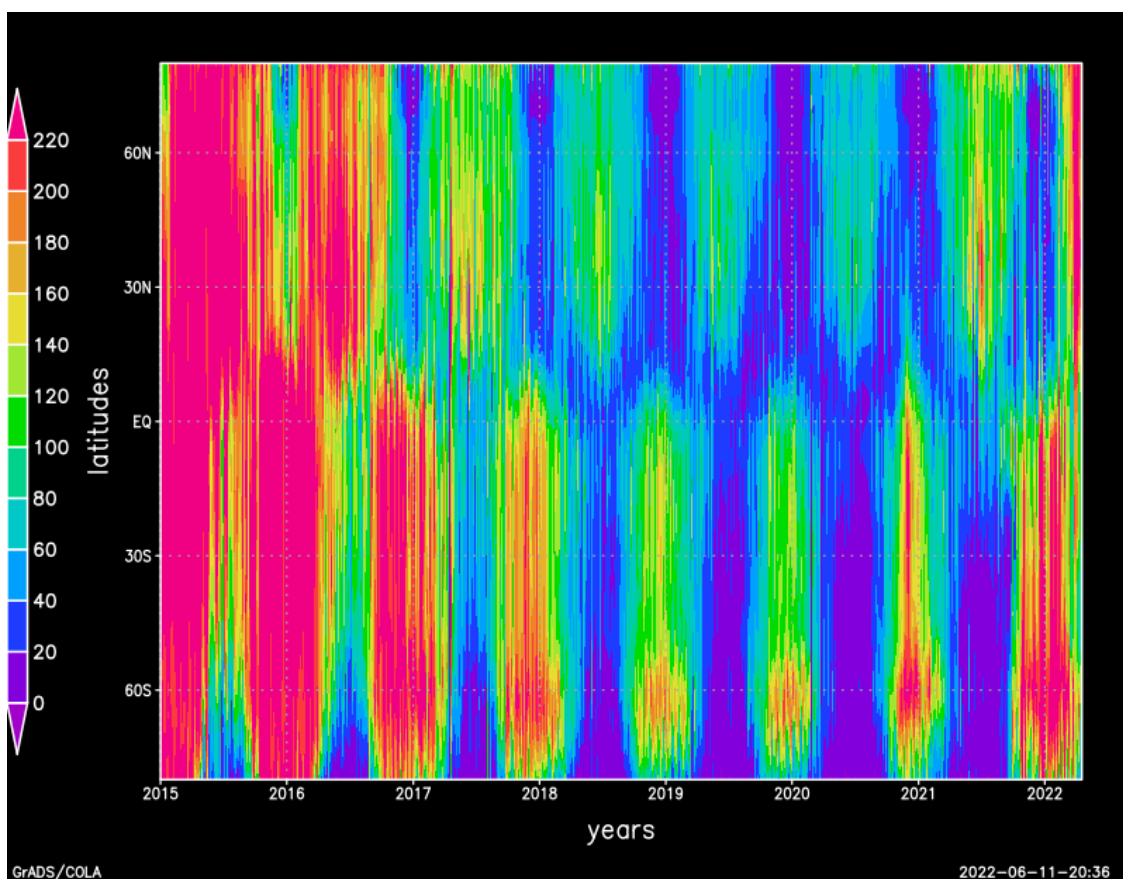


Рис. 1. Широтно-временное распределение концентрации O^+ за период 2015-2022 гг.

На рисунке 1 показано широтно-временное распределение концентрации O^+ во время утренних сеансов наблюдений [4]. Слева показана шкала значений концентрации ионов O^+ (в относительных единицах в интервале 0-255). Основываясь на результатах измерений абсолютных значений концентраций O^+ , представленных в работе [2], был проведен пересчет измеренных величин в абсолютные значения концентраций, что дает интервал изменений O^+ в пределах 0-50 000 N/cm^3 . Как видно из рисунка, минимальные значения концентрации ионов O^+ наблюдаются в период 2018-2020 гг., затем начинается рост концентрации ионов O^+ , что очевидно связано с началом новой фазы 25-летнего солнечного цикла. Кроме того, как видно из рисунка 1, явно проявляется сезонный ход концентрации O^+ , при этом минимальные значения наблюдаются в зимнем полушарии и максимальные – в летнем.

Для оценки связи изменений концентрации O^+ с солнечной активностью из Интернета (<https://spaceweather.gc.ca/forecast-prevision/solar-solaire/solarflux/sx-5-en.php>) были взяты среднесуточные значения индекса солнечной активности F10.7 за период 2015-2022 гг. [6, 7].

На рисунке 2 представлены изменения концентрации ионов O^+ (синяя кривая) и индекса F10.7 (желтая кривая) за период 2015-2022 гг.

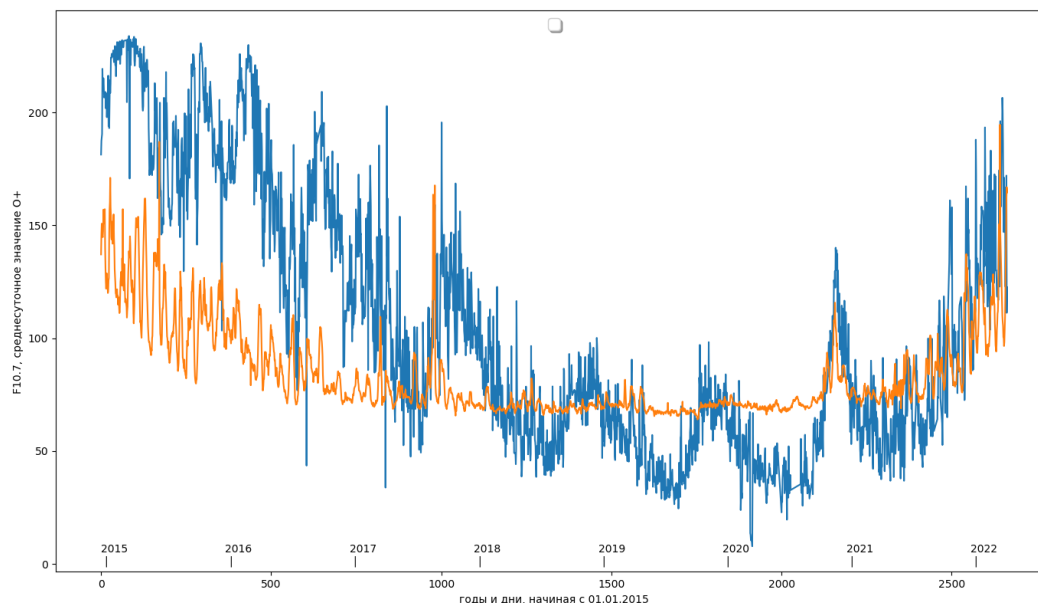


Рис. 2. Среднесуточные значения концентрации ионов O^+ (синяя кривая), индекс F10.7 (желтая кривая)

Как видно из рисунка, существует очевидная зависимость концентрации O^+ от индекса солнечной активности. Коэффициент корреляции между двумя кривыми на рисунке составляет 0.76, что, даже учитывая ошибки измерений и возможные влияния на концентрацию O^+ других факторов, подтверждает их взаимосвязь. Это дает возможность в дальнейшем использовать индексы солнечной активности в качестве предикторов при построении регрессионных моделей прогноза ионного состава экзосферы.

Необходимо отметить, что временные изменения концентрации O^+ показывают достаточно сложную картину, повторяющуюся каждый год, которая требует рассмотрения наблюдаемых явлений строго в отдельных зонах.

4. ВЫВОДЫ

Начиная с 2009 года и по настоящее время проводятся непрерывные измерения ионного состава на высотах экзосферы (810 – 830 км). Разработана методика проведения измерений и обработки результатов.

Представлены межгодовые вариации ионного состава за период наблюдений 2015–2022 гг. Среднесуточные данные, полученные за один годовой цикл, показывают, что наблюдается зависимость распределения концентрации ионов O^+ от сезонов года [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Криволицкий А.А., Куницын В.Е., Атмосфера // Модель космоса Т.1: Физические условия в космическом пространстве. Гл. 4 М: Книжный дом «Университет», 2007, С. 668-726*
2. *Гладышев В.А., Щекотов А.Ю., Ягова Н.В., Бертелье Ж.Ж., Парро М., Акентиева О.С., Баранский, Л.Н., Федоров Е.Н., Мулярчик Т.М., Молчанов О.А., Концентрация ионов в верхней ионосфере по измерениям на спутнике DEMETER. Морфология и зависимость от солнечной и геомагнитной активности // Космические исследования, 2012, том 50, № 2, С. 109–121*

3. *Иванов М.С., Кирюшов Б.М., Николаев Е.Н., Похунков - А.А., Похунков С.А., Тулинов Г.Ф.* Радиочастотный измеритель массового состава — эффективный прибор для мониторинга состава верхней атмосферы с борта космического аппарата доклад на конференции ВНИИЭМ, 2016.
4. *Иванов М.С., Лапшин В.Б., Репин А.Ю.* Роль геомагнитных аномалий в распределении концентрации ионов O^+ с учётом сезонного положения Солнца по данным космического комплекса Метеор-М. Доклады академии наук. Том 481, номер 1, Июль 2018
5. Иванов и др. Мониторинг состава ионов в экзоспаузе, Мир измерений//Космическая погода, 1/2019
6. Свидетельство о государственной регистрации базы данных N 2022621368 “Пополняемая база спутниковых данных ионного состава верхней атмосферы на высотах 808-835 км от поверхности Земли на 2010-2014 года (часть 2)”. *Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение “Институт прикладной геллофизики им. Академика Е.К. Фёдорова” (RU). Авторы: Саморуков Владимир Васильевич ((RU), Иванов Михаил Сергеевич (RU), Кирюшов Борис Михайлович (RU), Николаев Алексей Владимирович (RU), Казеко Александр Сергеевич (RU), Репин Андрей Юрьевич (RU).*
7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных N 2022620207 Российская Федерация. “Пополняемая база спутниковых данных ионного состава верхней атмосферы на высотах 811-835 км от поверхности Земли на 2015-2021 года (часть 1)”: N 2022620049: заявл. 12.01.2022; опубл. 24.01.2022 /В.В. Саморуков, М.С. Иванов, Б.М. Кирюшов [и др.]; заявитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение “Институт прикладной геллофизики им. Академика Е.К. Фёдорова”.

CONCENTRATIONS OF O^+ IONS IN THE EXOSPHERE OF THE EARTH, MEASURED BY THE RADIO FREQUENCY MASS SPECTROMETER RIMS-2 FOR THE PERIOD FROM 2015 TO 2022

M. S. Ivanov, B. M. Kiryushov, A.S. Kazeko, B. M. Lapshin, A.V. Nikolaev, A.Y. Repin, S.D. Bogodyazh

The article presents an analysis of the data of mass-spectrometric measurements of the ion composition in the exosphere at altitudes of 810-830 km. The RIMS-2 device is installed on the Meteor-M spacecraft. The RIMS device is designed to measure the thermal ions concentration. Since 2009, continuous measurements of the ionic composition have been carried out at these altitudes. The article presents the results of observations for 2015-2022.

KEYWORDS: EXOSPHERE, ION CONCENTRATION, MASS-SPECTROMETER.