

Научная статья

УДК 533.6.011.72

<https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.4.11>



## Исследование волн сжатия в солнечной короне с помощью КУФ наблюдений

Сергей Бадмаевич Дертеев<sup>1</sup>, Михаил Евгеньевич Сапралиев<sup>2</sup>, Олег Николаевич Михалеев<sup>3</sup>,  
Галина Алексеевна Манкаева<sup>4\*</sup>, Бадма Борисович Михалеев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Калмыцкий государственный университет имени Б. Б. Городовикова (д. 11, ул. Пушкина, г. Элиста, 358000, Россия)

<sup>1</sup> [derteevsergei@mail.ru](mailto:derteevsergei@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-4457-5191>

<sup>2</sup> [m\\_sapraliev@mail.ru](mailto:m_sapraliev@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-7938-1659>

<sup>3</sup> [intotheelista@gmail.com](mailto:intotheelista@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-2816-6833>

<sup>4</sup> [mankaeva.galina@yandex.ru](mailto:mankaeva.galina@yandex.ru)

<sup>5</sup> [bbmikh@mail.ru](mailto:bbmikh@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-9705-9804>

\*Автор, ответственный за переписку

**Аннотация. Введение.** Представлен метод наблюдения волн сжатия в солнечной короне в крайнем ультрафиолетовом диапазоне (КУФ). **Цель.** Получение временного сигнала с двумя периодами, которые наблюдаются в глобальном вейвлете. **Материалы и методы.** Для анализа используются данные с космического аппарата Solar Dynamics Observatory (SDO), а также наборы библиотек Sunpy и Scalogram. **Результаты и обсуждение.** На основе одной из работ апробирован метод наблюдения, в результате было показано наличие квазипериодических осцилляций, характерных для волн сжатия. **Заключение.** Квазипериодические осцилляции послужили основой нового подхода к пониманию природы волн сжатия.

**Ключевые слова:** Солнце, солнечная корона, волны сжатия, наблюдение волн, SDO, временные сигналы, вейвлет анализ

**Для цитирования:** Дертеев С. Б., Сапралиев М. Е., Михалеев О. Н., Манкаева Г. А., Михалеев Б. Б. Исследование волн сжатия в солнечной короне с помощью КУФ наблюдений // Современная наука и инновации. 2025. № 4. С. 106-112. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.4.11>

**Финансирование:** Исследование выполнено в рамках госзадания Минобрнауки РФ № 075-03-2025-420/4

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 01.10.2025;

одобрена после рецензирования 01.11.2025;

принята к публикации 01.12.2025.

## Study of compressive waves in the solar corona using EUV observations

Sergei B. Derteev<sup>1</sup>, Mikhail E. Sapraliev<sup>2</sup>, Oleg N. Mikhalyaev<sup>3</sup>, Galina A. Mankaeva<sup>4\*</sup>, Badma B. Mikhalyaev<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Kalmyk state university named after B.B. Gorodovikov (11, Pushkin st., Elista, 358000, Russia)

<sup>1</sup> derteevsergei@mail.ru.; <https://orcid.org/0000-0003-4457-5191>

<sup>2</sup> m\_sapraliev@mail.ru.; <https://orcid.org/0000-0001-7938-1659>

<sup>3</sup> intotheelista@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-2816-6833>

<sup>4</sup> mankaeva.galina@yandex.ru

<sup>5</sup> bbmikh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9705-9804>

\*Corresponding author

**Abstract. Introduction.** A method for observing of compressive waves in the solar corona in the extreme ultraviolet (EUV) range is presented. **Goal.** Obtaining a time signal with two periods that are observed in the global wavelet **Materials and methods.** The analysis uses data from the Solar Dynamics Observatory (SDO) spacecraft, as well as the Sunpy and Scalogram library sets. **Results and discussion.** Based on one of the works, an observation method was tested, as a result of which the presence of quasi-periodic oscillations characteristic of compressive waves was demonstrated **Conclusion.** Quasi-periodic oscillations have formed the basis for a new approach to understanding the nature of compression waves.. **Key words:** Sun, solar corona, compressive waves, wave observation, SDO, time signals, wavelet analysis

**For citation:** Derteev SB, Sapraliev ME, Mikhalyaev ON, Mankaeva GA, Mikhalyaev BB. Study of compressive waves in the solar corona using EUV observations. *Modern Science and Innovations*. 2025;(4):106-112. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2025.4.11>

**Funding:** The study was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 075-03-2025-420/4.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 01.10.2025;

approved after reviewing 01.11.2025;

accepted for publication 01.12.2025.

**Введение.** На сегодняшний день существует много космических и наземных аппаратов, которые позволяют исследовать Солнце в разных диапазонах электромагнитного спектра. Например, на SDO (Solar Dynamics Observatory) имеются телескопы, которые позволяют наблюдать на Солнце различные процессы, от пятен до вспышек. Этот комплексный подход, при котором один аппарат одновременно наблюдает Солнце в разных диапазонах, является ключевым для современной гелиофизики. Наблюдение на его основе волн в атмосфере Солнца расширяет возможности корональной сейсмологии

В солнечной короне в КУФ-диапазоне с помощью космических аппаратов, например, AIA/SDO, наблюдаются распространяющиеся возмущения интенсивности излучения, которые интерпретируются как волны сжатия. Их регистрируют как в активных областях, так и в корональных дырах, для их описания используют теорию неадиабатических медленных магнитоакустических или акустических волн (Sharma *et al.* 2020). Важность этого явления обусловлена возможной причастностью волн сжатия к нагреву корональной плазмы, Волны сжатия могут использоваться также для решения задач корональной сейсмологии, то есть определения параметров плазмы (Stepanov *et al.*, 2012). Наблюдение волн сжатия демонстрируют ряд их особенностей: наличие нескольких периодов в вейвлете и их нерегулярность, широкий спектр сигнала и скорость

меньше звуковой. Несколько периодов в вейвлете объясняется наличием квазипериодических колебаний (Gupta, 2014; Pant *et al.*, 2015; Banerjee *et al.*, 2011); малость скорость в некоторых случаях обосновывается действием эффекта проекции (De Moortel *et al.*, 2002), но широкий спектр сигнала и нерегулярность наблюдения периодов не находят должного объяснения.

**Материалы и методы исследований.** Для наблюдения волн в солнечной короне, существуют различные методики, которые основаны на различных аппаратах и программных комплексах. Например, в статье Meadowcroft and Nakariakov (2025) описан метод, который позволяет достаточно просто его реализовать на практике. При этом нужно учесть множество проблем при наблюдении Солнца в КУФ диапазоне: дифференциальное вращение, угол крена, центрирование изображений и так далее. Для этого исследования данные загружаются из Центра совместных научных операций (JSOC) Стэнфордского университета. Затем данные преобразуются в формат следующего уровня с помощью набора библиотек Sunpy. В результате преобразования обновляются ключевые слова указателя, удаляется угол крена, изображение масштабируется до согласованного пространственного разрешения и центрируется по центру изображения. Наконец, мы вносим поправку на вращение Солнца.

Для апробации программного обеспечения и методики, выбрана работа Krishna Prasad, *et al.*, 2011. В данной работе наблюдается полярная область, где эффект вращения незначителен. Наблюдение относится к 20.07.2010 г. в линии 171 Å. Нами была выбрана та же область и точка наблюдения, в результате получен временной сигнал, показанный на рисунке 1.

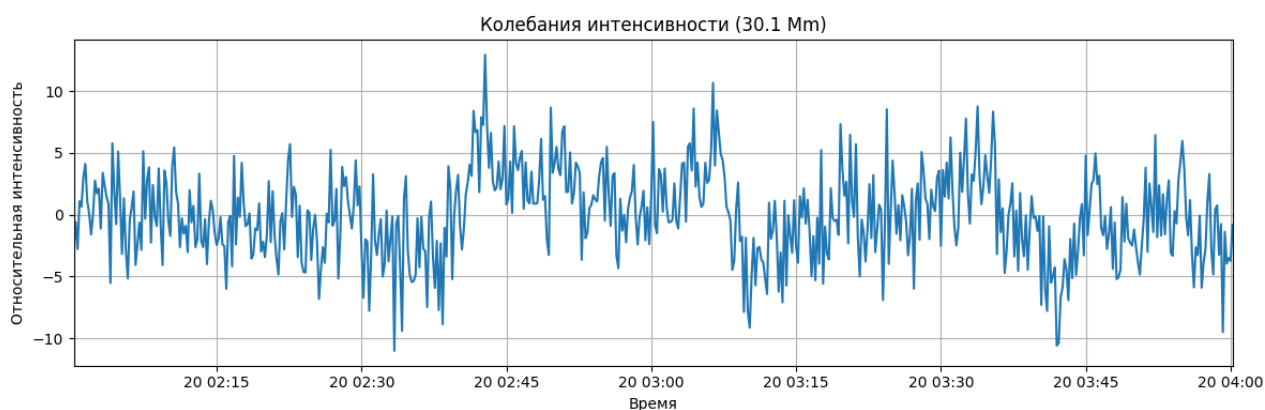


Рисунок 1 - Детрендрованный сигнал из работы Krishna Prasad, *et al.*, 2011/ Figure 1 - Detrended signal from Krishna Prasad, *et al.*, 2011

Используя вейвлет-анализ, из него можно получить два максимума в глобальном вейвлете, как и в оригинальной работе (рис. 2). «Длинный» период равен 20.5 мин, а «короткий» период – 14.9 мин, они оказываются близки к периодам, указанным в статье.

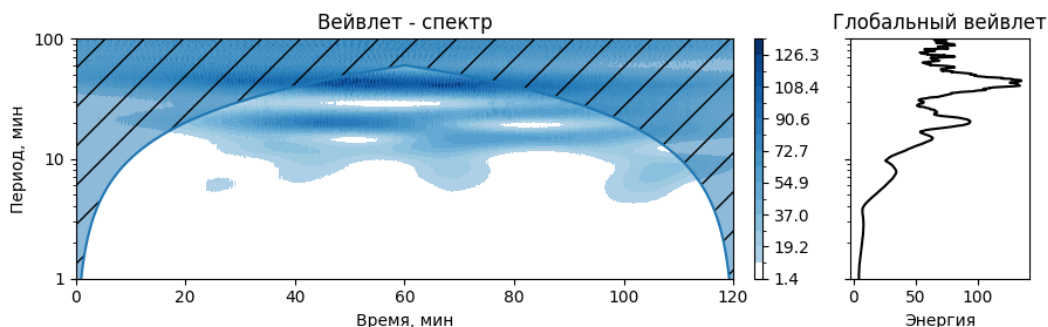
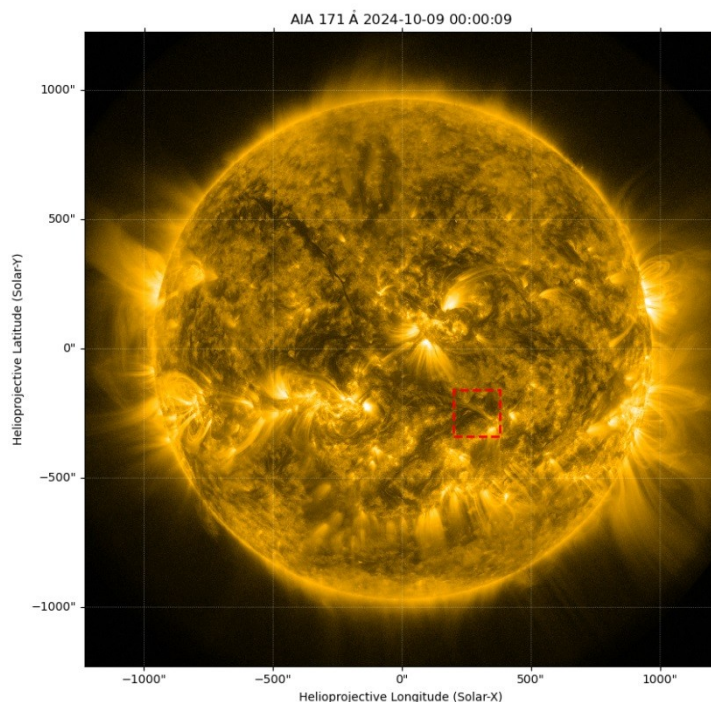
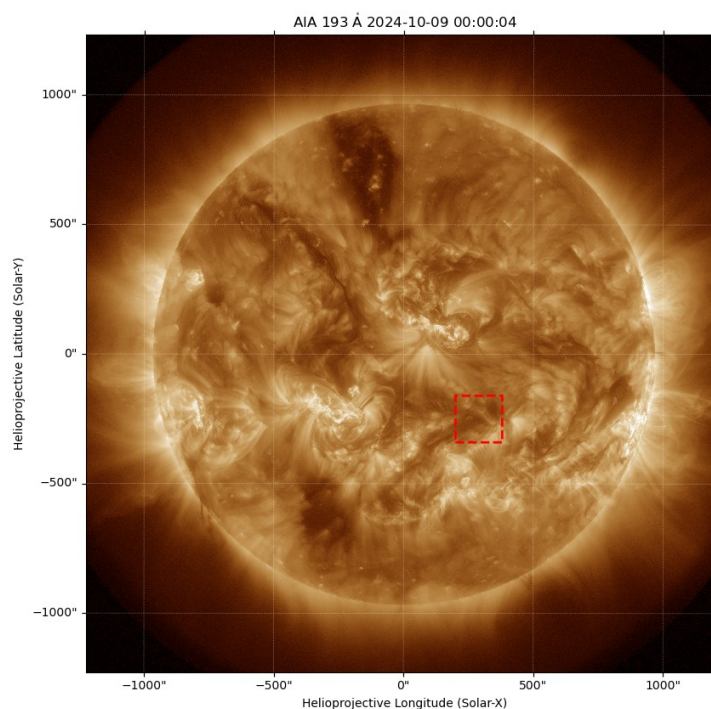


Рисунок 2 - Вейвлет – спектр детрендрованного сигнала из работы Krishna Prasad, *et al.*, 2011/ Figure 2 - Wavelet – spectrum of a detrended signal from Krishna Prasad, *et al.*, 2011

**Результаты исследований и их обсуждение.** Телескоп AIA/SDO предоставляет изображения полного диска Солнца в семи каналах в крайнем ультрафиолетовом диапазоне (EUV) и трёх каналах УФ-видимого диапазона, охватывающих диапазон температур от  $6 \times 10^4$  К до  $2 \times 10^7$  К. Прибор регистрирует непрерывные изображения Солнца с пространственным разрешением  $1,5''$  и временным разрешением 12 с. Мы выбрали последовательности в диапазонах  $171 \text{ \AA}$  (Рис. 3) и  $193 \text{ \AA}$  (рис. 4), полученные 09 октября 2024 года с 00:00 UT до 01:35 UT с AIA/SDO.



**Рисунок 3 - Изображение Солнца в линии  $171 \text{ \AA}$  AIA/SDO от 09 октября 2024 г. Красный квадрат обозначает область, выбранную для наблюдений.** <https://sdac.virtualsolar.org/cgi/search/> Figure 3 - Image of the Sun in the  $171 \text{ \AA}$  AIA/SDO line from October 9, 2024. The red square indicates the area selected for observation. <https://sdac.virtualsolar.org/cgi/search/>

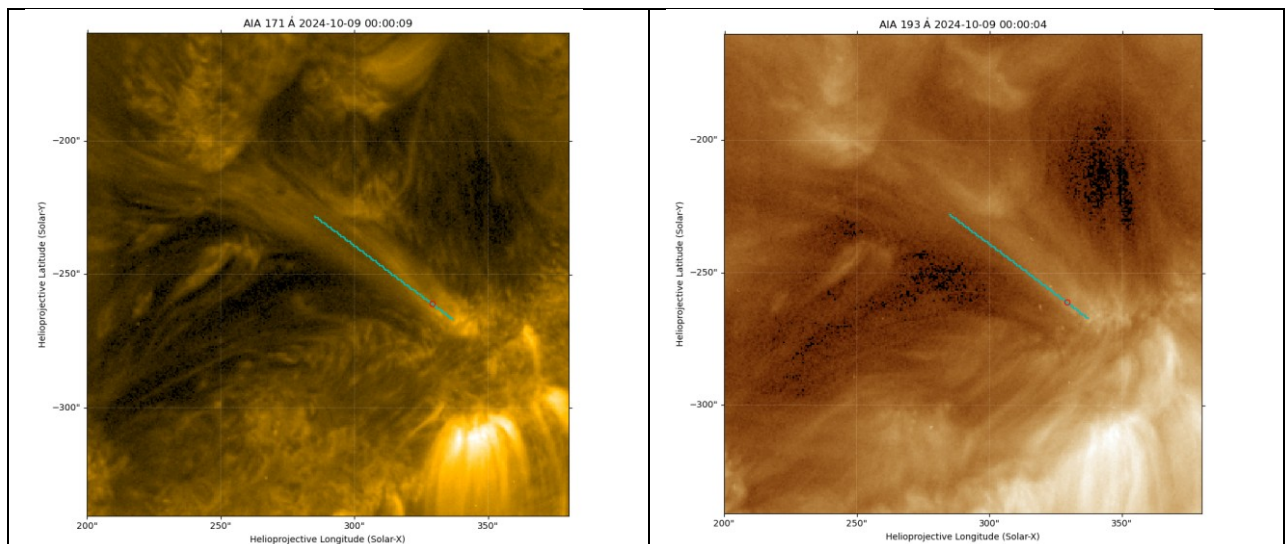


**Рисунок 4 - Изображение Солнца в линии  $193 \text{ \AA}$  AIA/SDO от 09 октября 2024 г. Красный квадрат**



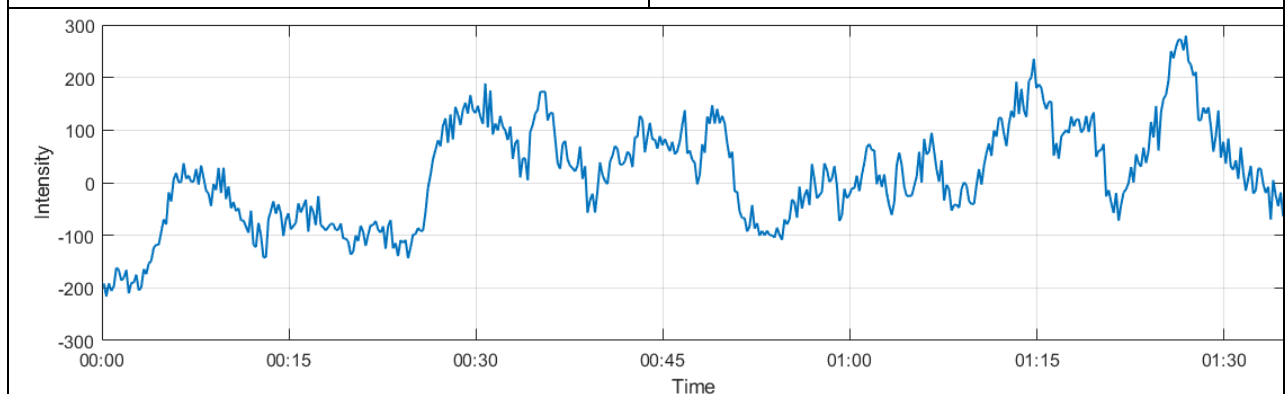
обозначает область, выбранную для наблюдений. <https://sdac.virtualsolar.org/cgi/search/> Figure 4 -Image of the Sun in the 193 Å AIA/SDO line from October 9, 2024. The red square indicates the area selected for observation. <https://sdac.virtualsolar.org/cgi/search>

Каналу 171 Å соответствует температура около 1 млн К, длине волны 193 Å – около 1.2 млн К. Для наблюдения на солнечном диске была выбрана активная область, показанная на рисунках 1 и 2, она отмечена красным квадратом. Далее вдоль вытянутой корональной структуры, образованной магнитным полем, которая видна как свтящаяся полоса на темном фоне окружающей короны, проводится разрез. Он отмечен зеленым отрезком прямой (рисунки 5 и 6). Объектом нашего изучения будут возмущения КУФ-излучения, распространяющиеся вдоль разреза. Для нашей частной задачи построения временного сигнала берется некоторая точка на разрезе, она отмечена красным кружком. Временной сигнал показан на рисунках 6 и 7. Проведено тестовое построение временного сигнала на примере ранее проведенного исследования. Используются известные алгоритмы обработки данных наблюдений из библиотеки Sunpy. Полученные сигналы демонстрируют наличие квазипериодических осцилляций, характерных для волн сжатия.

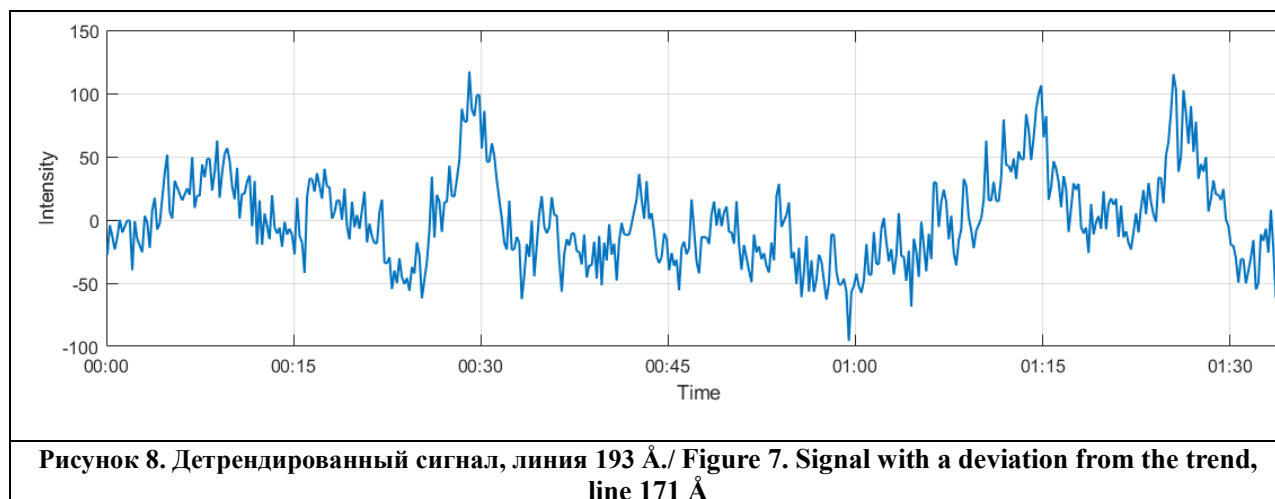


**Рисунок 5 - Область на диске Солнца, линия 171 Å./ Figure 5 - Area on the Sun's disk, line 171 Å.**

**Рисунок 6 - Область на диске Солнца, линия 193 Å./ Figure 6 - Area on the Sun's disk, line 193 Å.**



**Рисунок 7. Детрендрованный сигнал, линия 171 Å./ Figure 7. Detrended signal, line 171 Å.**



**Заключение.** В проведенном исследовании отработана методика снятия временного сигнала с изображения Солнца в линиях КУФ-диапазона для изучения волн сжатия. Имеется высокая корреляция между сигналами, полученными в двух линиях. Отметим, что квазипериодические осцилляции послужили основой нового подхода к пониманию природы волн сжатия (Derteev *et al.*, 2024). Он заключается в интерпретации всплесков интенсивности излучения как последовательности отдельных, не связанных друг с другом акустических возмущений корональной плазмы.

#### Список источников

1. Sharma A., Tripathi D., Erdelyi R. et al. Wave amplitude modulation in fan loops as observed by AIA/SDO. *Astronomy and Astrophysics*. 2020. Vol. 638. A6. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936667>
2. Stepanov A.V., Zaitsev V.V., Nakariakov V.M. *Coronal Seismology*. WILEY-VCH Verlag, 2012.
3. Gupta G.R. Observations of dissipation of slow magneto-acoustic waves in a polar coronal hole. *Astronomy and Astrophysics*. 2014. Vol. 568. A96. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201323200>
4. Pant V., Dolla L., Mazumder R. et al. *The Astrophysical Journal*. 2015. Vol. 807. No. 71. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/807/1/71>
5. Banerjee D., Gupta G.R., Teriaca L. Propagating MHD Waves in Coronal Holes. *Space Science Reviews*. 2011. Vol. 158. P. 267-288. <https://doi.org/10.1007/s11214-010-9698-z>
6. De Moortel I., Ireland J., Hood A.W., Walsh R.W. The detection of 3 & 5 min period oscillations in coronal loops. 2002. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 387. L13-L16. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020436>
7. Meadowcroft R.L., Nakariakov V.M. Fine structuring of slow magnetoacoustic wave periods in a solar coronal fan. *MNRAS*. 2025. Vol. 536. P. 3192-3199. <https://doi.org/10.1093/mnras/stae2739>
8. Krishna Prasad S., Banerjee D., Gupta G.R. Propagating intensity disturbances in polar corona as seen from AIA/SDO. *Astronomy and Astrophysics*. 2011. Vol. 528. L4. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201016405>
9. Derteev S.B., Sapraliev M.E., Shividov N.K., Mikhalyaev B.B. Acoustic Waves in a High-Temperature Plasma III. Two-Periodic Disturbances. *Solar Physics*. 2024. Vol. 299. 141. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02381-0>

#### References

1. Sharma A., Tripathi D., Erdelyi R. et al. Wave amplitude modulation in fan loops as observed by AIA/SDO. *Astronomy and Astrophysics*. 2020. Vol. 638. A6. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201936667>
2. Stepanov A.V., Zaitsev V.V., Nakariakov V.M. *Coronal Seismology*. WILEY-VCH Verlag, 2012.

3. Gupta G.R. Observations of dissipation of slow magneto-acoustic waves in a polar coronal hole. *Astronomy and Astrophysics*. 2014. Vol. 568. A96. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201323200>
4. Pant V., Dolla L., Mazumder R. et al. *The Astrophysical Journal*. 2015. Vol. 807. No. 71. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/807/1/71>
5. Banerjee D., Gupta G.R., Teriaca L. Propagating MHD Waves in Coronal Holes. *Space Science Reviews*. 2011. Vol. 158. P. 267-288. <https://doi.org/10.1007/s11214-010-9698-z>
6. De Moortel I., Ireland J., Hood A.W., Walsh R.W. The detection of 3 & 5 min period oscillations in coronal loops. 2002. *Astronomy and Astrophysics*. Vol. 387. L13-L16. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20020436>
7. Meadowcroft R.L., Nakariakov V.M. Fine structuring of slow magnetoacoustic wave periods in a solar coronal fan. *MNRAS*. 2025. Vol. 536. P. 3192-3199. <https://doi.org/10.1093/mnras/stae2739>
8. Krishna Prasad S., Banerjee D., Gupta G.R. Propagating intensity disturbances in polar corona as seen from AIA/SDO. *Astronomy and Astrophysics*. 2011. Vol. 528. L4. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201016405>
9. Derteev S.B., Sapraliev M.E., Shvidov N.K., Mikhalyaev B.B. Acoustic Waves in a High-Temperature Plasma III. Two-Periodic Disturbances. *Solar Physics*. 2024. Vol. 299. 141. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02381-0>

#### **Информация об авторах**

**Дертеев Сергей Бадмаевич** – старший преподаватель кафедры теоретической физики Калмыцкого государственного университета

**Сапралиев Михаил Евгеньевич** – младший научный сотрудник Калмыцкого государственного университета

**Михаляев Олег Николаевич** – младший научный сотрудник Калмыцкого государственного университета

**Манкаева Галина Алексеевна** – старший преподаватель кафедры теоретической физики Калмыцкого государственного университета

**Михаляев Бадма Борисович** – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики Калмыцкого государственного университета

**Вклад авторов:** все авторы внесли равный вклад в подготовку публикации.

#### **Information about the authors**

**Sergei B. Derteev** – Senior Lecturer, Chair of Theoretical Physics Kalmyk State University

**Mikhail E. Sapraliev** – Junior Research Fellow Kalmyk State University

**Oleg N. Mikhalyaev** – Junior Research Fellow Kalmyk State University

**Galina A. Mankaeva** – Senior Lecturer, Chair of Theoretical Physics Kalmyk State University

**Badma B. Mikhalyaev** – Dr. Sci. (Phys.-n-Math.), Associate Professor, Head of Chair of Theoretical Physics Kalmyk State University

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article.