

Ю.В. МАНАКОВА<sup>1</sup>, К.А. ПЕХТЕЛЕВА<sup>1</sup>, Н.А. БАРХАТОВ<sup>1</sup>, С.Е. РЕВУНОВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина (Мининский университет), Нижний Новгород, Российская Федерация

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ВОЗМУЩЕНИЙ ДИАПАЗОНА РС4-5 В ПЕРИОДЫ МАГНИТНЫХ БУРЬ КОРРЕЛЯЦИОННО-СКЕЛЕТОННЫМ МЕТОДОМ<sup>1</sup>

**Аннотация.** Специально разработанный метод корреляционно-скелетонной обработки длиннопериодных возмущений МГД диапазона компонент геомагнитного поля, регистрируемых вдоль 210 меридиана, применен для анализа их пространственно-временного распределения на разных этапах геомагнитных бурь. В основу метода положено выполнение постпроцессинга пространственно-временного вейвлет-анализа возмущений. Результаты расчета спектров представлены в виде вейвлет-скелетонных картин. Метод позволяет найти синхронизацию колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана и использовать ее как предвестник глобального магнитного возмущения. Созданный алгоритм может быть использован и как диагностический инструмент состояния магнитосферы. Предложенный в настоящем исследовании метод корреляционно-скелетонной обработки длиннопериодных возмущений МГД диапазона компонент геомагнитного поля позволяет обнаруживать синхронизацию колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана. Это дает возможность устанавливать пространственно-временное распределение низкочастотных возмущений в периоды магнитных бурь. Результаты такого подхода можно использовать и для краткосрочного прогноза глобального магнитного возмущения.

**Ключевые слова:** магнитогидродинамические возмущения, спектральный анализ, вейвлет анализ, геомагнитная буря, плазменный солнечный поток, солнечная активность, прогноз

YU.V. MANAKOVA<sup>1</sup>, K.A. PEKHTELEVA<sup>1</sup>, N.A. BARKHATOV<sup>1</sup>, S.E. REVUNOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

## SPACE-TIME ANALYSIS OF DISTURBANCES IN THE PC4-5 PERIOD RANGE DURING MAGNETIC STORMS BY CORRELATION-SKELETON METHOD

**Abstract.** Special method of correlation-skeleton processing of long period MHD disturbed components of the geomagnetic field is developed. To analyze space-time distribution for field components recorded along the meridian 210 at different stages of geomagnetic storms it is applied. This method on the base of post-processing of space-time wavelet analysis of disturbances was performed. The proposal of spectra calculation results in the form of wavelet skeleton pictures is shown. The method allows to find synchronization of oscillatory processes along the geomagnetic meridian and use it as indication of a global magnetic disturbance. Developed algorithm as a diagnostic tool state of the magnetosphere can also be used. The proposed method in this study the correlation processing of long-skeleton perturbation MHD range component of the geomagnetic field detects synchronization of oscillatory processes along the geomagnetic meridian. This makes it possible to establish the spatial and temporal distribution of low-frequency disturbances during magnetic storms. The results of this approach can be used for short-term forecast of the global magnetic disturbance.

**Keywords:** magnetohydrodynamic disturbance, spectral analysis, wavelet analysis, geomagnetic storm, solar activity, solar plasma flow, forecast

---

<sup>1</sup> Работа поддержана программой Министерства образования и науки «Развитие научного потенциала высшей школы, 2014-2016 гг.»

## 1. ВВЕДЕНИЕ И ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Исследование фундаментальных механизмов генерации длиннопериодных геомагнитных пульсаций Pc4-5 диапазона МГД-волн представляется важным для установления динамики внутримангнитосферных процессов [1]. Меридиональный и широтный анализ магнитограмм показывает, что топология геомагнитного поля отражается в пространственно-временном распределении низкочастотных геомагнитных колебаний [2]. В свою очередь конфигурация магнитосферы определяется особенностями солнечных замагниченных потоков и развитием геомагнитных бурь. В последнее время выводы спектрального анализа внутримангнитосферных колебаний стали использоваться для оценки интенсивности воздействия плазменных солнечных потоков на магнитосферу [3], для чего были введены специальные индексы. Результаты постпроцессинга вейвлет-преобразования низкочастотных возмущений геомагнитного поля и параметров околоземного пространства также оказались полезными для диагностики и классификации солнечных потоков и прогноза геомагнитных бурь [4-9].

Магнитосфера как динамически равновесное плазменное образование является источником МГД колебаний, структура и спектр которых отражают ее конфигурацию и движение под действием внешнего воздействия. В ее областях с большими градиентами скорости движения внутримангнитосферной плазмы создаются условия для развития поверхностных волн диапазона Pc4–Pc5 на неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [2]. Это может происходить на магнитопаузе и плазмопаузе под действием неоднородностей солнечного ветра и регистрироваться наземными обсерваториями как геомагнитные пульсации.

С другой стороны, одним из основных механизмов внутримангнитосферного появления пульсаций геомагнитного поля считается альвеновский резонанс силовых линий, который может приводить к многочасовым генерациям пульсаций типа Pc2-4. Геомагнитные пульсации этого диапазона являются самыми распространенными видами колебаний, регистрируемых на земной поверхности. Возбуждение этих видов геомагнитных пульсаций наблюдается от приэкваториальных областей до полярной шапки, при этом амплитуда колебаний возрастает с ростом широты точки наблюдения. Возбуждение пульсаций Pc4 характерно для магнитоспокойных условий [10], а Pc2 и Pc3 – для более возмущенных. Так, например, с ростом магнитной активности период колебаний, регистрируемых в данной точке, уменьшается и попадает в диапазон Pc2 при  $K_p > 5$  и в диапазон Pc4 при  $K_p < 2$ . В возмущенных условиях колебания в диапазоне Pc3 и Pc4 нередко возбуждаются одновременно. Это приводит к сложной картине их динамических спектров [11].

Пространственно-временной анализ внутримангнитосферных колебаний, основанный на изучении динамических спектров, не позволяет точно сказать, в какой момент времени произошла смена набора гармоник в анализируемом сигнале. Связано это с тем, что алгоритм Фурье-преобразования оперирует с бесконечными гармоническими функциями. Результат их использования приводит или к хорошей локализации широкого диапазона частот во времени, или к хорошей конкретизации узкой полосы частот в неопределенно широком временном интервале. В результате моменты регистрации перестройки колебательной системы определяются с большой погрешностью. Ранее было показано [1-9, 12, 13], что вейвлет-анализ геомагнитных данных позволяет обнаруживать факты регистрации однотипных гармоник на всех анализируемых станциях в конкретный момент времени с количественной оценкой согласованности получаемых спектров. В настоящем исследовании предлагаемые идеи получили продолжение в рамках корреляционно-скелетонного метода для пространственно-временного посекторного анализа возмущений диапазона Pc4-5 вдоль 210 меридиана в периоды магнитных бурь (рисунок 1). На них создан альтернативный спектральный инструмент установления особенностей пространственной

структуры и спектра резонансных внутримангнитосферных альвеновских и магнитозвуковых колебаний.

Модернизация разрабатываемого здесь метода заключается в попарном сопоставлении скелетонных спектральных картин, полученных по секторам, и в усовершенствовании формы представления результатов сопоставления. Последнее заключается в усреднении результатов сопоставления фиксированными окнами вдоль 210 меридиана на графической панели в виде тоновой пиксельной кодировки. Уровень синхронизации геомагнитных возмущений на соседних станциях обозначается интенсивностью тонировки (рисунок 2). Белый цвет соответствует отсутствию совпадений скелетонов в данном окне (0-25%), светло-серый – 25-50% совпадение, серый – 50-75% и черный – 75-100% совпадение (синхронизация колебаний).

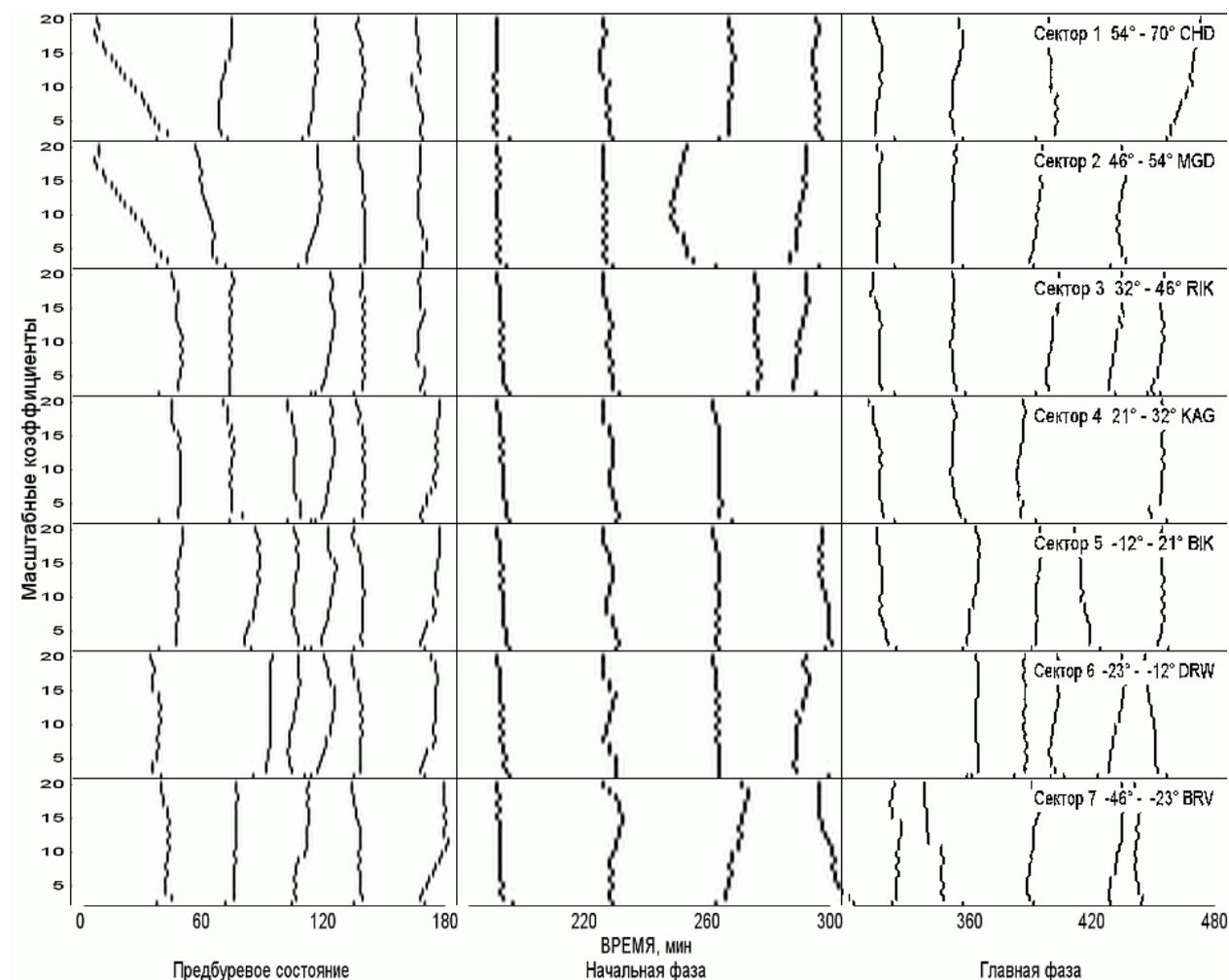


Рисунок 1 – Пример вейвлет-скелетонных спектров N-компоненты геомагнитного поля в посекторном представлении 210-го меридиана для случая геомагнитной бури умеренной интенсивности (все геомагнитные обсерватории 210 меридиана сгруппированы на 7 условных секторов)

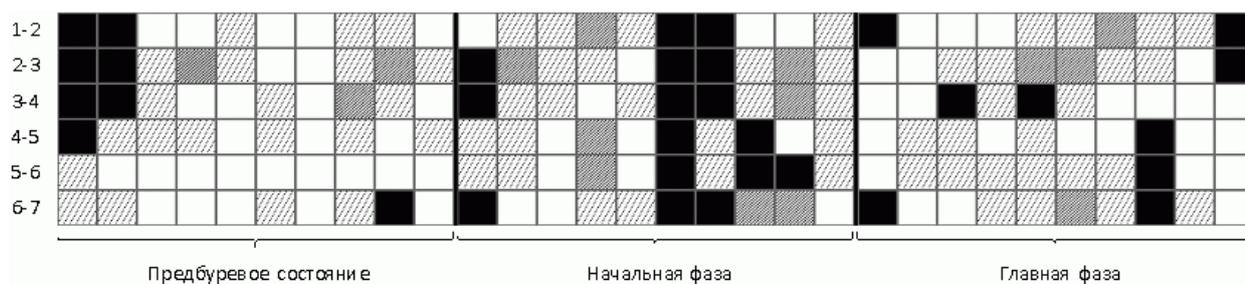


Рисунок 2 – Пример представления результатов попарного сопоставления набора скелетонов блоками фиксированной ширины с цветовой кодировкой их совпадений в виде корреляционно-скелетонной маркированной панели.

Первая строка соответствует паре секторов 1-2, вторая 2-3 и т.д., шестая соответствует последней паре секторов 6-7. Панель разделена вертикальными границами на 3 части, соответствующие предбуревому состоянию, начальной и главной фазе бури

Таким образом, применяемый здесь метод корреляционно-скелетонной обработки рассматриваемых возмущений, регистрируемых вдоль 210 меридиана, позволяет обнаружить их синхронизацию и кодировать эту информацию в виде маркированных панелей. Сопоставление полученных панелей в зависимости от уровня геомагнитной активности и значений параметров солнечного ветра позволяет наглядно оценить пространственно-временное распределение геомагнитных возмущений на разных этапах геомагнитных бурь.

## 2. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДАННЫЕ И ТАКТИКА ИХ ОБРАБОТКИ

Разработанный метод корреляционно-скелетонной обработки длиннопериодных возмущений диапазона Pc4-5 (2-8 мГц) применен для минутных данных станций 210-го геомагнитного меридиана. Это сделано для получения пространственно-временного распределения возмущений на разных этапах геомагнитных бурь. В исследовании выполнена постобработка вейвлет-картин магнитограмм горизонтальной и вертикальной компоненты геомагнитного поля со станций сети Solar-Terrestrial Environment Laboratory (STEL, <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210/>, университет Нагоя, Япония). Отбираемые временные интервалы данных включали в себя периоды 12 магнитосферных бурь, имеющих форму классической «бухты», различной интенсивности по показаниям геомагнитного индекса Dst (Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR), <http://spidr.ngdc.noaa.gov/spidr>), зарегистрированных в периоды с 2000 по 2003 г. Даты начала главных фаз изучаемых бурь, их интенсивность приведены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Даты начала главных фаз изучаемых бурь

<b>Умеренные бури (Dst &gt; -100 нТл)</b>		<b>Сильные бури (Dst &gt; -200 нТл)</b>		<b>Экстремальные бури (Dst &lt; -200 нТл)</b>	
<b>1</b>	01.11.2000	<b>5</b>	23.05.2000	<b>9</b>	15.07.2000
<b>2</b>	18.06.2001	<b>6</b>	18.04.2001	<b>10</b>	24.11.2001
<b>3</b>	19.05.2002	<b>7</b>	03.09.2002	<b>11</b>	07.09.2002
<b>4</b>	04.11.2003	<b>8</b>	18.06.2003	<b>12</b>	20.11.2003

При оценке пространственно-временного распределения и установления характера внутримангнитосферных колебаний в роли маркеров выступают значения индекса Dst. Для оценки состояния околоземного космического пространства, глобальной и суббуревой активности для тех же интервалов данных использованы минутные значения Vz компоненты межпланетного магнитного поля, индексы SYM/ASY, AL. Эти данные были получены с узла Coordinated Data Analysis Web (CDAWeb, <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/>).

Обработка данных исследуемых геомагнитных бурь выполнялась по четырем временным интервалам, определяемых по поведению индекса Dst: предбуревому состоянию (фоновое значение Dst в течение 3 часов), первой части (рост фонового значения Dst до максимального) и второй частям начальной фазы (уменьшение максимального значения Dst до фонового) и фрагменту главной фазы бури (уменьшение значения Dst от фонового в течение 3 часов). Первый и четвертый интервалы были продолжительностью по 3 часа. Продолжительности начальных фаз бурь отличаются, поэтому при обработке данных это обстоятельство учитывалось усреднением по блокам, размер которых выбирался с учетом скважности данных. Такая процедура позволяла проводить сопоставление получаемых спектральных характеристик геомагнитных бурь разной продолжительности. В изучаемую выборку попало равное количество слабых и умеренных (Dst > -100 нТл), сильных (Dst > -200 нТл) и экстремальных бурь (Dst < -200 нТл).

В связи с тем что для отобранных интервалов не все станции 210-го геомагнитного меридиана вели запись, было принято решение сгруппировать станции по широтным секторам, каждый в пределах 10-15°. В дальнейшем выполнялся посекторный анализ геомагнитных возмущений вдоль меридиана. В каждом секторе отбирались данные с наиболее активной (чаще других работающей) станции. Результат группировки станций приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Группировка станций по рассматриваемым в дальнейшем секторам (1 соответствует наличию, 0 – отсутствию записей геомагнитных возмущений). Нумерация станций соответствует перечню, представленному на ресурсе <http://stdb2.stelab.nagoya-u.ac.jp/mm210>

номер станции	номер бури												геом. широта	номер сектора
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	69.94	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	64.67	
3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	59.62	
4	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	53.56	2
5	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	46.34	
6	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	37.61	3
7	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	34.7	
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	31.65	
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	25.13	4
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24.85	
11	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	20.59	
12	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	4.57	5
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.3	
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2.64	
15	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-10.63	
16	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	-12.18	
17	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	-14.14	6
18	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-23.13	
19	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	-22.99	
20	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	-36.58	7
21	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	-37.09	
22	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	-45.98	
23	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	-46.46	

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-СКЕЛЕТОННЫХ МАРКИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Корреляционно-скелетонные маркированные панели, полученные для 12 геомагнитных бурь, сопоставлялись друг с другом, с параллельными данными околоземного космического пространства (Vz-компонента ММП), глобальными индексами SYM/ASY и индексом суббуревой активности AL. На рисунке 3 представлен пример сопоставления для условий геомагнитной бури зарегистрированной 19.05.2002. Панели разделены вертикальными границами на 3 части, соответствующие предбуревому состоянию, начальной и главной фазе бурь. Верхняя нумерация на рисунке 3 отвечает предбуревому состоянию (1), первой части и второй частям начальной фазы (2, 3) и фрагменту главной фазы бури (4) и указывает на пункты обсуждения результатов анализа.

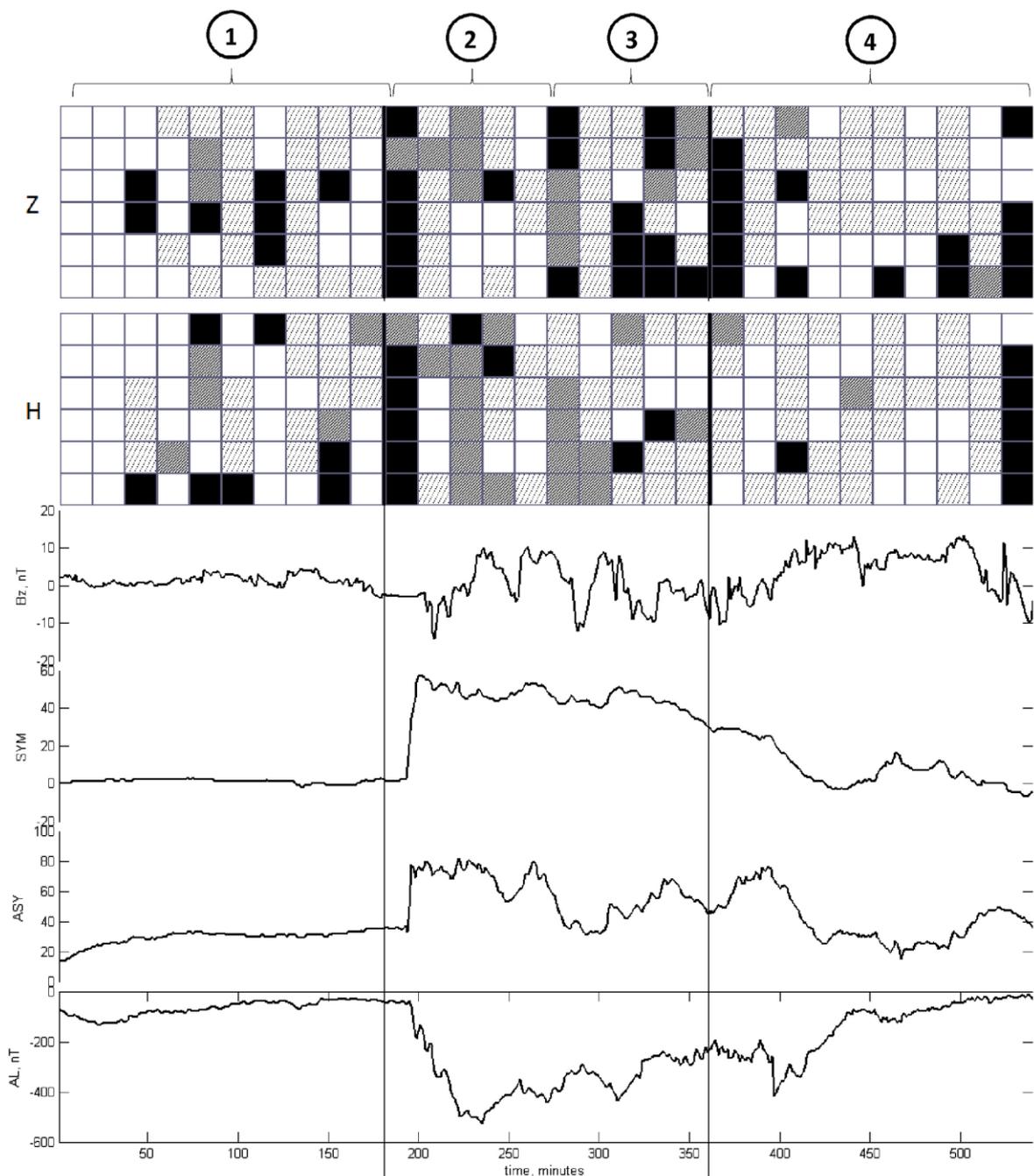


Рисунок 3 – Пример сопоставления корреляционно-скелетонных маркированных панелей для H и Z компонент геомагнитного поля с динамикой параметров околоземной среды ( $B_z$ ) и уровнем глобальной (SYM/ASY) и суббуревой активности (AL) для случая умеренной геомагнитной бури 19.05.2002. Верхняя нумерация отвечает предбуревому состоянию (1), первой части и второй частям начальной фазы (2, 3) и фрагменту главной фазы бури (4)

Выполненное сопоставление панелей между собой и с динамикой рассматриваемых параметров для 12 геомагнитных бур выявило следующие закономерности, изложенные согласно нумерации на рисунке 3.

1) В предбуревом состоянии корреляционно-скелетонные маркированные панели демонстрируют синхронизацию долгопериодных колебаний на высоких широтах для горизонтальной компоненты геомагнитного поля и в приэкваториальных для вертикальной компоненты. Таким образом здесь проявляются свойства возмущений диапазона Pc4,

возбуждение которых альвеновским резонансом силовых линий поля характерно для магнитоспокойных условий [10, 17]. Как можно заметить, наиболее отчетливо выражена синхронизация в областях, где абсолютные величины соответствующих компонент поля невелики ( $H$  в высоких широтах,  $Z$  в приэкваториальных). Это можно объяснить синхронизацией поперечных волн, распространяющихся вдоль силовых линий магнитного поля.

2) Первая часть начальной фазы бури на корреляционно-скелетонных маркированных панелях сопровождается синхронизацией колебаний в  $H$  и  $Z$  компонентах поля вдоль всего меридиана. Причину такой синхронизации можно объяснить полоидальностью возмущений диапазона Pc4-5 обусловленных развитием неустойчивости Кельвина-Гельмгольца [2, 18, 19].

3) Вторая часть начальной фазы, как переход к главной фазе, характеризуется развитием кольцевого тока и авроральных электроджетов следующих за значительными вариациями  $V_z$ -компоненты ММП и выражается динамикой индексов SYM/ASY и AL. Она также сопровождается синхронизацией колебательных процессов в  $Z$ -компоненте поля в авроральных областях. Этот свидетельствует о формировании резонансных колебаний диапазона Pc4 магнитных силовых линий в области продольных токов. Это может быть обусловлено их неустойчивостью вследствие взаимодействия энергичных ионов кольцевого тока с электромагнитными внутримангнитосферными волнами [14, 15, 20].

4) Заключительный фрагмент корреляционно-скелетонных маркированных панелей и соответствующий главной фазе бурь отображается для всех бурь как сложная и неупорядоченная картина. При этом геомагнитные данные характеризуются неустойчивым распределением скелетонов для составляющих поля. Это отмечалось ранее и в [12]. Развитие кольцевого тока, интенсификация авроральных электроджетов и токов хвоста магнитосферы не приводят к упорядоченным синхронизациям долгопериодных возмущений геомагнитного поля вдоль меридиана.

Вместе с тем, для случая, представленного на рисунке 3, а также для ряда других рассмотренных бурь (18.04.2001, 03.09.2002, 18.06.2003, 04.11.2003) в интервал развития главной фазы отмечается синхронизация в возмущениях вертикальной компоненты вдоль всей части рассматриваемого меридиана. Это происходит на фоне усиления асимметричной части магнитного поля кольцевого тока, что является следствием поступающей энергии в магнитосферу из солнечного ветра. При этом асимметрия нарастает быстрее, чем поле кольцевого тока на главной фазе магнитной бури [16].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Выполненное исследование обращает внимание на важность изучения долгопериодных колебаний геомагнитного поля МГД диапазона для получения информации о внутримангнитосферных процессах, протекающих под действием изменяющихся параметров солнечного ветра. Эффективность такой диагностики определяется инструментами, позволяющими связать пространственно-временные характеристики наблюдаемых колебаний компонент геомагнитного поля с параметрами околоземной космической плазмы.

В данной работе для анализа синхронизации колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана во время развития глобальных магнитосферных бурь разработан специальный диагностический инструмент, основанный на корреляционно-скелетонном методе. Показано, что синхронизация колебаний компонент геомагнитного поля чаще наблюдается в конце предбуревоего состояния и с развитием главной фазы. Первый процесс можно рассматривать

как предвестник глобального магнитного возмущения. Кроме того, отмечено, что синхронизация колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана наиболее часто наблюдается для умеренных бурь (по результатам анализа  $H$ -компоненты поля) и для слабых бурь (по результатам анализа  $Z$ -компоненты поля).

Таким образом, предложенный в настоящем исследовании метод корреляционно-скелетонной обработки длиннопериодных возмущений МГД диапазона компонент геомагнитного поля позволяет обнаруживать синхронизацию колебательных процессов вдоль геомагнитного меридиана. Это дает возможность устанавливать пространственно-временное распределение низкочастотных возмущений в периоды магнитных бурь. Результаты такого подхода можно использовать и для краткосрочного прогноза глобального магнитного возмущения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гульельми А.В., Троицкая В.А. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. М.: Наука, 1973. 208 с.
2. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Мир, 1980, 299 с.
3. Пилипенко В.А., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Юмото К., Биттерли Ж. Является ли касп источником среднеширотных Pc-3 пульсаций? // Геомагнетизм и аэрномия, Т.36, 1996. №2. С. 39-48.
4. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В. Уточнение типов солнечных плазменных потоков по анализу вне- и внутримангитосферных низкочастотных колебаний в периоды магнитных бурь // Приволжский научный журнал, ННГАСУ, 2013, №1, с. 106-112.
5. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Виноградов А.Б. Алгоритм классификации МГД вейвлет-скелетонных спектральных картин геоэффективных плазменных потоков в солнечном ветре // Вестник Мининского университета, 3(7), 1-6, 2014.
6. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В. Пространственно-временное распределение низкочастотных возмущений геомагнитного поля во время геомагнитной бури на основе применения корреляционно-скелетонного метода. Труды (Девятнадцатой) Научной конференции по радиофизике, посвященной 70-летию радиофизического факультета, Нижний Новгород, ННГУ, 11-15 мая 2015 г., Изд. «Нижегородский университет», 2015. С.68-70.
7. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В. Корреляционно-скелетонный метод для исследования пространственно-временного распределения геомагнитных возмущений диапазона Pc4-5 на разных этапах геомагнитных бурь. Сборник тезисов 10-ой конференция «Физика плазмы в солнечной системе» 16–20 февраля 2015 г., ИКИ РАН, 2015. С. 120-121.
8. Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., Шадруков Д.В. Синхронизация скелетонных картин вейвлет спектральной обработки низкочастотных возмущений геомагнитного поля вдоль 210 меридиана как диагностический инструмент состояния магнитосферы. Сборник тезисов 38-го ежегодного Апатитского семинара «Физика авроральных явлений», 2-6 марта 2015 г., ПГИ РАН, 2015. С. 13.
9. Barkhatov N. A., Revunov S. E., and Shadrakov D. V. Correlation-Skeleton Method for Space-Time Analysis of Disturbances in the Pc4-5 Period Range During Magnetic Storms // Geomagnetism and Aeronomy, 2015, Vol. 55, No. 5, pp. 603–608. © Pleiades Publishing, Ltd., 2015. DOI: 10.1134/S0016793215050035
10. Большакова О.В., Боровкова О.К., Троицкая В.А., Клейменова Н.Г. Интенсификация геомагнитных пульсаций Pc4 в условиях спокойной магнитосферы // Геомагнетизм и аэрномия, 1995. Т.35, №3. С.143-145.
11. Пудовкин М.И., Распопов О.М., Клейменова Н.Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Часть 2. Короткопериодные колебания геомагнитного поля. Л.: ЛГУ, 1976. 271 с.

12. Ревунов С.Е., Шадруков Д.В., Серебрякова Р.И. Анализ пространственно-временной динамики низкочастотных (2-8 мГц) магнитных возмущений в периоды магнитных бурь // Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2013, №5(1), 83-91.
13. N.A. Barkhatov and S.E. Revunov, Spectral Features of Solar Plasma Flows // *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 54, No. 6, pp. 688–693, 2014
14. Olson J.V. ULF signatures of the polar cusp // *J. Geophys. Res.* V. 95. N.A9. P. 10055–10062. 1986.
15. Бархатова О.М., Бархатов Н.А., Беспалов П.А. Выступы плазмосферы и вариации горизонтальной компоненты геомагнитного поля // *Геомагнетизм и аэрномия*, 2011, Т 51, №2, С. 214-223.
16. Фельдштейн Я.И., Дремухина Л.А., Вещезерова У.Б., Голышев С.А., Кизирия Л.В., Графе А. Моделирование вариаций геомагнитного поля в период магнитной бури // *Геомагнетизм и аэрномия*, 1993. Т. 33, № 6.
17. Клибанова Ю.Ю., В.В. Мишин, Б. Цэгмэд Особенности дневных длиннопериодных пульсаций, наблюдаемых во время импульса солнечного ветра на фоне суббури 1 августа 1998 года // *Космические исследования*, 2014, том 52, № 6, с. 459-467.
18. Ахиезер А.И. Электродинамика плазмы, 2-е изд., перераб. М.: Наука, 1974, 720 с.
19. Арцимович Л.А. Элементарная физика плазмы, 3-е изд. М.: Атомиздат, 1969, 189 с.
20. Клейменова Н.Г., Козырева О.В, Шотт Ж.Ж. Волновой геомагнитный отклик магнитосферы на подход к Земле межпланетного магнитного облака (14-15 июля 2000 г., "Bastille day event"), *Геомагнетизм и аэрномия*, Т.43, №3, С.321-331. 2003.

## REFERENCES

1. Gul'el'mi A.V., Troickaja V.A. *Geomagnitnye pul'sacii i diagnostika magnitosfery* [Geomagnetic pulsations and diagnostics of the magnetosphere]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 208 p. (In Russian)
2. Nishida A. *Geomagnitnyj diagnoz magnitosfery* [Geomagnetic diagnosis of the magnetosphere]. Moscow, Mir Publ., 1980. 299 p. (In Russian)
3. Pilipenko V.A., Klejmenova N.G., Kozyreva O.V., Jumoto K., Bitterli Zh. *Javljaetsja li kasp istochnikom sredneshirotnyh Rs-3 pul'sacij?* [Is cusp source of mid-Pc 3 pulsations?]. *Geomagn. i Aeron.*, V.36, 1996, no. 2, p. 39-48 (in Russian).
4. Barhatov N.A., Revunov S.E., Shadrukov D.V. *Utochnenie tipov solnechnyh plazmennyh potokov po analizu vne- i vnutrimagnitosfernih nizkochastotnyh kolebanij v periody magnitnyh bur'* [Clarification types of solar plasma flows on the analysis of extra- and intermagnetospheric low-frequency oscillations during magnetic storms]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*, NNGASU, 2013, no. 1, pp. 106-112 (in Russian).
5. Barhatov N.A., Revunov S.E., Vinogradov A.B. *Algoritm klassifikacii MGD vejjvlet-skeletonnyh spektral'nyh kartin geojeffektivnyh plazmennyh potokov v solnechnom vetre* [MHD classification algorithm wavelet skeleton spectral paintings geoeffective plasma streams in the solar wind]. *Vestnik Mininskogo universiteta*, 2014, 3 (7), 1-6 (in Russian).
6. Barhatov N.A., Revunov S.E., Shadrukov D.V. *Prostranstvenno-vremennoe raspredelenie nizkochastotnyh vozmushhenij geomagnitnogo polja vo vremja geomagnitnoj buri na osnove primenenija korrelyacionno-skeletonnogo metoda* [Spatio-temporal distribution of low-frequency disturbances of the geomagnetic field during geomagnetic storms on the basis of correlation-skeleton method]. *Trudy (Devjatnadcatoj) Nauchnoj konferencii po radiofizike, posvjashhennoj 70-letiju radiofizicheskogo fakul'teta, Nizhnij Novgorod, NNGU, 11-15 maja 2015 g.* [Proceedings of the (nineteenth) Scientific Conference on Radiophysics, dedicated to the 70th anniversary of the Faculty of Radiophysics, Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State University, May 11-15, 2015 Ed.]. "Nizhny Novgorod University" Publ., 2015, pp. 68-70 (in Russian).

7. Barhatov N.A., Revunov S.E., Shadrucov D.V. *Korreljacionno-skeletonnyj metod dlja issledovanija prostranstvenno-vremennogo raspredelenija gemagnitnyh vozmushhenij diapazona Rs4-5 na raznyh jetapah geomagnitnyh bur'* [Correlation-skeleton method to study the spatial and temporal distribution of geomagnetic disturbances Rs4-5 range at different stages of geomagnetic storms]. *Sbornik tezisov 10-oj konferencija «Fizika plazmy v solnečnoj sisteme» 16–20 fevralja 2015 g.* [Abstracts of the 10th Conference "Physics of plasma in the solar system," 16-20 February 2015]. Space Research Institute Publ., 2015, pp. 120-121 (in Russian).
8. Barhatov N.A., Revunov S.E., Shadrucov D.V. *Sinhronizacija skeletonnyh kartin vejvlet spektral'noj obrabotki nizkochastotnyh vozmushhenij geomagnitnogo polja vdol' 210 meridiana kak diagnostičeskij instrument sostojanija magnitosfery* [Synchronization skeleton paintings wavelet spectral processing low-frequency disturbances of the geomagnetic field along the meridian of 210 as a diagnostic tool state of the magnetosphere]. *Sbornik tezisov 38-go ezhegodnogo Apatitskogo seminara «Fizika avroral'nyh javlenij», 2-6 marta 2015 g.* [Abstracts of the 38th Annual Apatity seminar "Physics of auroral phenomena", March 2-6, 2015]. PIP RAS Publ., 2015, p. 13 (in Russian).
9. Barkhatov N.A., Revunov S.E., Shadrucov D.V. Correlation-Skeleton Method for Space-Time Analysis of Disturbances in the Pc4-5 Period Range During Magnetic Storms // *Geomagnetism and Aeronomy*, 2015, Vol. 55, No. 5, pp. 603–608. © Pleiades Publishing, Ltd., 2015, DOI: 10.1134/S0016793215050035
10. Bol'shakova O.V., Borovkova O.K., Troickaja V.A., Klejmenova N.G. *Intensifikacija geomagnitnyh pul'sacij Rs4 v uslovijah spokojnoj magnitosfery* [Intensification of geomagnetic pulsations Pc4 in a quiet magnetosphere]. *Geomagnetizm i ajeonomija*, 1995, V.35, no. 3, pp.143-145 (in Russian).
11. Pudovkin M.I., Raspopov O.M., Klejmenova N.G. *Vozmushhenija jelektromagnitnogo polja Zemli. Chast' 2. Korotkoperiodnye kolebanija geomagnitnogo polja* [The disturbances of the electromagnetic field of the Earth. Part 2: Short-period oscillations of the geomagnetic field]. Leningrad, LGU Publ., 1976. 271 p. (In Russian)
12. Revunov S.E., Shadrucov D.V., Serebrjakova R.I. *Analiz prostranstvenno-vremennoj dinamiki nizkochastotnyh (2-8 mGc) magnitnyh vozmushhenij v periody magnitnyh bur'* [Analysis of the spatio-temporal dynamics of low-frequency (2-8 mHz) magnetic disturbances during magnetic storms]. *Vestnik NNGU im. N.I. Lobachevskogo*, 2013, no. 5 (1), pp. 83-91 (in Russian).
13. Barkhatov N.A., Revunov S.E., Spectral Features of Solar Plasma Flows // *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 54, No. 6, pp. 688-693, 2014
14. Olson J.V. ULF signatures of the polar cusp // *J. Geophys. Res.* V. 95. N.A9. p. 10055-10062. 1986.
15. Barhatova O.M., Barhatov N.A., Bepalov P.A. *Vystupy plazmosfery i variacii gorizonta'noj komponenty geomagnitnogo polja* [Projections plasmasphere and variations of the horizontal component of the geomagnetic field]. *Geomagnetizm i ajeonomija*, 2011, V. 51, no. 2, pp 214-223 (in Russian)
16. Fel'dshtejn Ja.I., Dremuhina L.A., Veshhezerova U.B., Golyshhev S.A., Kizirija L.V., Grafe A. *Modelirovanie variacij geomagnitnogo polja v period magnitnoj buri* [Modeling variations of the geomagnetic field during the magnetic storm]. *Geomagnetizm i ajeonomija*, 1993, V.33, no. 6 (in Russian)
17. Klivanova Ju.Ju., V.V. Mishin, B. Cjegmjed *Osobennosti dnevnyh dlinnoperiodnyh pul'sacij, nabljudajemyh vo vremja impul'sa solnečnogo vetra na fone subburi 1 avgusta 1998 goda* [Features daily long-pulsations observed during the momentum of the solar wind on the background of a substorm August 1, 1998]. *Kosmicheskie issledovanija*, 2014, V.52, no. 6, pp. 459-467 (in Russian).
18. Ahiezer A.I. *Jelektrodinamika plazmy* [Electrodynamics of plasma]. 2th ed. Moscow, Nauka Publ., 1974. 720 p. (In Russian)

19. Arcimovich L.A. *Jelementarnaja fizika plazmy* [Elementary plasma physics]. 3th ed. Moscow, Atomizdat Publ., 1969. 189 p. (In Russian)
20. Kleimenova N.G., Kozyreva O.V., Schott J.J. *Volnovoy geomagnitnyy otklik magnitosfery na podkhod k Zemle mezhplanetnogo magnitnogo oblaka (14-15 iyulya 2000 g., "Bastille day event")* [Wave geomagnetic response of the magnetosphere on the approach to the world of interplanetary magnetic clouds (14-15 July 2000, "Bastille day event")] *Geomagn. i Aeronom*, V.43, N3, p.321-331, 2003 (in Russian)

© Манакова Ю.В., Пехтелева К.А., Бархатов Н.А., Ревунов С.Е., 2016

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Манакова Юлия Валерьевна* – студент Нижегородского государственного педагогического университета имени Козьмы Минина (Мининский университет), Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: [yuliya\\_m96m@mail.ru](mailto:yuliya_m96m@mail.ru)

*Пехтелева Ксения Александровна* – студент Нижегородского государственного педагогического университета имени Козьмы Минина (Мининский университет), Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: [rozolet@yandex.ru](mailto:rozolet@yandex.ru)

*Бархатов Николай Александрович* – доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры технологий сервиса и технологического образования Нижегородского государственного педагогического университета имени Козьмы Минина (Мининский университет), Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: [nbarkhatov@inbox.ru](mailto:nbarkhatov@inbox.ru)

*Ревунов Сергей Евгеньевич* – кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры технологий сервиса и технологического образования Нижегородского государственного педагогического университета имени Козьмы Минина (Мининский университет), Нижний Новгород, Российская Федерация; e-mail: [revunov@inbox.ru](mailto:revunov@inbox.ru)

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

*Manakova Yu.V.* – student, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University), Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: [yuliya\\_m96m@mail.ru](mailto:yuliya_m96m@mail.ru)

*Pekhteleva Ksenia Aleksandrovna* – student, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University), Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: [rozolet@yandex.ru](mailto:rozolet@yandex.ru)

*Barkhatov Nikolay Aleksandrovich* - Doctor of Physics and Mathematics, professor of technology service and technology education, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University), Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: [nbarkhatov@inbox.ru](mailto:nbarkhatov@inbox.ru)

*Revunov Sergey Evgenievich* - Candidate of Physics and Mathematics, docent of technology service and technology education, Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University (Minin University), Nizhny Novgorod, Russian Federation; e-mail: [revunov@inbox.ru](mailto:revunov@inbox.ru)