

## ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ С РОССИЙСКОГО СЕГМЕНТА МИРОВОЙ СЕТИ МАГНИТНЫХ ОБСЕРВАТОРИЙ ИНТЕРМАГНЕТ

**А.Г. Коробейников**, *д-р техн. наук, профессор*  
**Санкт-Петербургский (филиал) Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова Российской академии наук**  
 (Россия, г. Санкт-Петербург)

**Аннотация.** В данной работе на примере обработки данных с российского сегмента мировой сети магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ рассмотрено применение математического аппарата на базе вейвлет-преобразований. Исторически так сложилось, что наиболее известным математическим аппаратом, применяемым для обработки цифровых сигналов, является преобразование Фурье. Но в настоящее время достаточно часто возникает необходимость обработки нестационарных данных. Отсюда возникла потребность в разработке и реализации специального математического аппарата. Например, преобразование Гильберта, преобразование Вигнера-Вилла, преобразование Уолша, вейвлет-преобразование и другие. Одним из основных факторов выбора в данной работе вейвлет-преобразований является хорошая реализация этого математического аппарата в системе MATLAB. Анализ нестационарных данных геомагнитного мониторинга, полученных с российского сегмента мировой сети магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ, предлагается проводить при помощи вейвлет-преобразования. Основным результатом данной работы является вывод о возможности анализа нестационарных данных, каковыми являются данные геомагнитного мониторинга с российского сегмента мировой сети магнитных обсерваторий ИНТЕРМАГНЕТ, методами вейвлет-преобразования реализованные в системе MATLAB. Кроме того, эти методы можно применить и к данным, которые могут быть получены и не из российского сегмента ИНТЕРМАГНЕТ.

**Ключевые слова:** обработка цифровых данных, нестационарные данные, вейвлеты, matlab, непрерывные наблюдения, магнитная обсерватория, геомагнитный мониторинг, геомагнитные данные, геомагнитные информационные узлы, интермагнет.

### Введение

При решении задач в разнообразных предметных областях в настоящее время достаточно эффективно используют систему MATLAB [0–0]. Например, для обработки нестационарных данных в системе MATLAB часто применяют пакет расширения Wavelet Toolbox, являющимся мощным инструментальным средством для работы с вейвлет-преобразованиями (ВП) [0–0, 0]. В данной статье рассмотрено применение этого инструментария для обработки нестационарных данных, предоставляемых магнитными обсерваториями, входящими в Российский сегмент международной сети ИНТЕРМАГНЕТ (INTERMAGNET – International Real-time Magnetic Observatory Network. <http://www.intermagnet.org>). ИНТЕРМАГНЕТ представляет из себя Международную сеть магнитных обсерваторий реаль-

ного времени, которая предоставляет данные абсолютных наблюдений магнитного поля Земли высочайшего стандарта качества.

На момент написания данной статьи, на сайте <http://www.intermagnet.org>, имеется информация о следующих магнитных обсерваториях, входящих в ИНТЕРМАГНЕТ: «Арти» (IAGA-код ARS), «Борок» (BOX), «Бухта Тикси» (TIK), «Восток» (VOS), «Иркутск» (IRT), «Магадан» (MGD), «Новосибирск» (NVS), «Паратунка» (PET), «Санкт-Петербург» (SPG), «Хабаровск» (KHB), «Якутск» (YAK). В скобках указан код, позволяющий однозначно идентифицировать магнитную обсерваторию. Кроме того, имеются магнитные обсерватории, такие как «Бор» (POD), «Климовская» (KLI), «Москва» (MOS), «Мыс Шмидта» (CPS), которые приближаются к стандартам ИНТЕРМАГНЕТ. На этих

пунктах уже функционирует оборудование, соответствующее стандартам ИНТЕРМАГНЕТ.

Согласно требованиям ИНТЕРМАГНЕТ данные измерений, полученные в обсерваториях, следует оперативно передавать в геомагнитные информационные узлы (Geomagnetic Information Node – GIN). Из обсерваторий, входящих в Российский сегмент, данные передаются в следующие узлы:  $\lambda$  узел при Британской геологической службе в Эдинбурге (обсерватории ARS, IRT, MGD, NVS, PET, KHB, YAK);  $\lambda$  узел при Мировом центре данных в Киото (обсерватория VOS);  $\lambda$  узел при Парижском институте физики Земли (обсерватории BOX и SPG).

При помощи магнитных обсерваторий решаются различные задачи, например, регистрация данных о магнитном поле Земли (МПЗ), оценка интенсивности глобальных геомагнитных возмущений при помощи планетарных индексов геомагнитной активности ( $K_p$  – индекс).

Большое значение имеет местонахождение магнитных обсерваторий. Например – при помощи высокоширотных обсерваторий регистрируются изменения МПЗ недалеко от зон полярных сияний (60-70° южной или северной широты) для расчета МПЗ с учетом образования на этих широтах в ионосфере на высоте 100-150 км токовые струи, создающих магнитные поля специфического распределения.

То есть можно сказать, что существует зависящая от расположения относительно экватора и полюсов Земли магнитной обсерватории специфика использования ре-

гистрируемых на магнитных обсерваториях данных, которые необходимы для решения различных задач, связанных с физикой магнитосферы, ионосферы и МПЗ.

А теперь рассмотрим результаты обработки геомагнитных данных с различных магнитных обсерваторий, входящих в Российский сегмент сети ИНТЕРМАГНЕТ.

Обработка геомагнитных данных при помощи MATLAB

Система MATLAB, а с ней и Wavelet Toolbox, находится в постоянном развитии. Одной из отличительных особенностей новых версий Wavelet Toolbox является появление новых и модификация существующих функций. В работе представлены результаты обработки данных с различных магнитных обсерваторий.

Геомагнитные данные имеют сравнительно низкочастотную компоненту на протяжении всего сигнала и относительно высокую - на коротких интервалах. А для обработки таких сигналов как раз и применяют математический аппарат вейвлет-преобразований.

Рассмотрим геомагнитные данные от 18 марта 2018 г. с разных магнитных обсерваторий, входящих в Российский сегмент сети ИНТЕРМАГНЕТ. Дата 18 марта 2018 г. выбрана достаточно произвольно. Но в этот день, что представляет интерес для анализа, была достаточно большая магнитная буря.

Станция NVS: Ключи, Новосибирск, Россия (Klyuchi, Novosibirsk, Russia). Данные о ней представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Данные о магнитной обсерватории NVS: Ключи, Новосибирск, Россия.

Код станции	Ко-широта	Долгота	Высота
NVS	35.15°	83.23°	130 м

На Рис. 1 представлен график исходных данных (компонента X) с пункта NVS за 18 марта 2018 г.

На Рис. 1 видно, что, начиная с 15 часов, происходит возмущение геомагнитного поля.

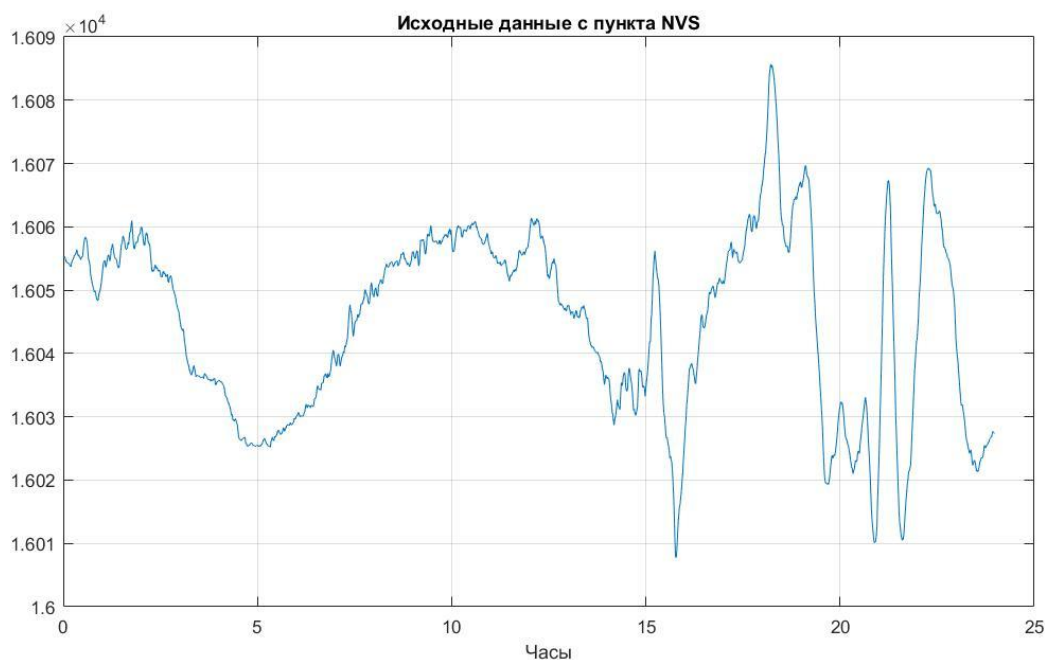


Рис.1 Исходные данные (компонента X) с пункта наблюдения NVS от 18 марта 2018 г.

Ниже представлен фрагмент исходного кода на MATLAB, в результате выполнения которого вычисляются коэффициенты разложения вейвлет-преобразования, которые представлены в графическом виде.

```

clc
clear
% Расчет CWT коэффициентов по дан-
ным наблюдения гемагнитного поля
% Format IAGA-2002
sample=1.0/60.0;
my_name_file='NVS_2018-03-
18T00_00_00_IntermagnetAscii.txt';
[F,mes]=fopen(my_name_file,'rt');
if F == -1
    disp('Ошибка при открытии файла');
    disp(mes);
    quit cancel;
end
for i = 1:23
    my_string=fgetl(F);
end
X=[]; my_min=[];
while my_string ~= -1
    my_min=[my_min
60*str2num(my_string(12:13))+...
str2num(my_string(15:16))+str2num(my_stri
ng(18:23))/60];
    X=[X str2num(my_string(28:42))];
    my_string=fgetl(F);

```

```

end
fclose(F);
count=numel(X);
% Частота дискретизации
my_frequency=sample;
%График
figure;
xlabel('Часы');
title('Исходные данные о компоненте
X');
plot(my_min/60,X)
grid on
figure;
% График данных, включая конус рас-
сеяния
[wt,f,coi] = cwt(X,my_frequency);
cwt(X,my_frequency);
grid on

```

Результаты расчетов представлены на Рис. 2. Анализ Рис. 2. показывает, что после 15 часов происходит изменение величины коэффициентов разложения, о чем говорит изменение цветовой гаммы в определенных областях. Можно даже сказать, на каких частотах происходило наибольшее возмущение геомагнитного поля.

2. Геомагнитная обсерватория ARTI: Арти, Свердловская область, Россия (Arti, Sverdlovsk region, Russia). Данные о ней представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Данные о магнитной обсерватории ARS: Арти, Свердловская область, Россия.

Код станции	Ко-широта	Долгота	Высота
Arti	33.567°	58.567°	290 м

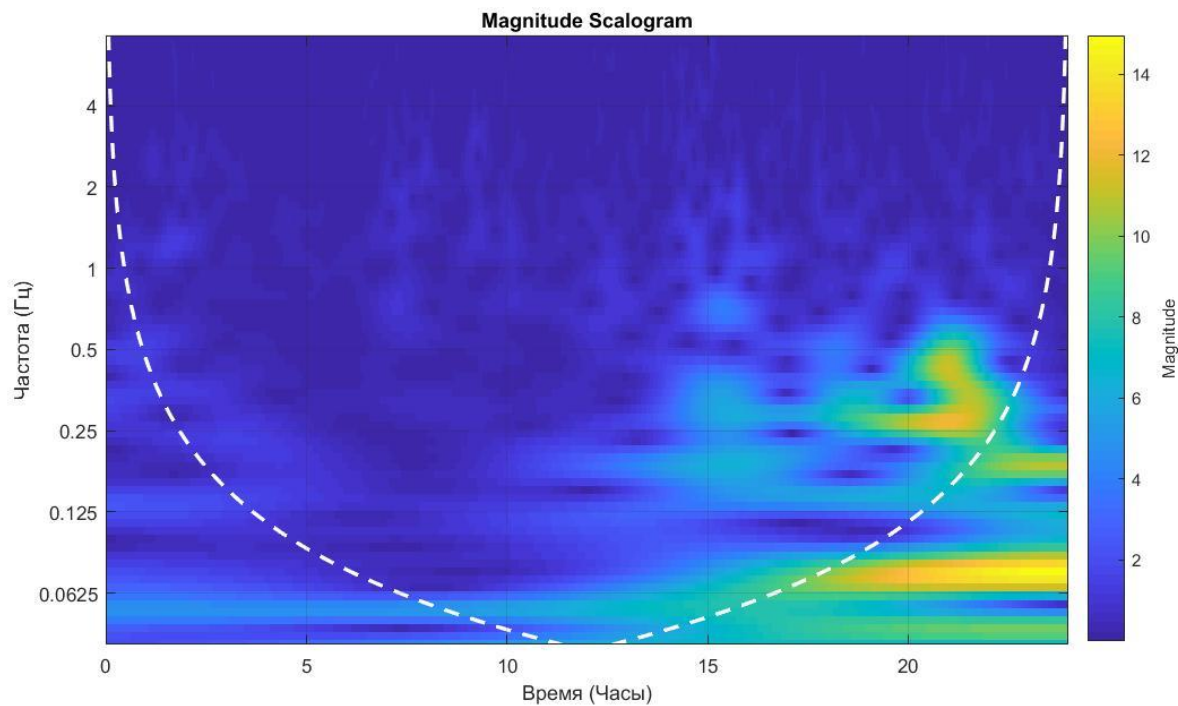


Рис. 2. Результат обработки исходных геомагнитных данных, представленных на Рис. 1, с использованием вейвлет преобразования.

На Рис. 3 представлен график исходных данных (компонента X) с пункта Arti за 18 марта 2018 г.

Исходный код на MATLAB будет отличаться только в имени файла – NVS\_2018-03-18T00\_00\_00\_IntermagnetAscii.txt изменен на ARS\_2018-03-18T00\_00\_00\_IntermagnetAscii. Результаты представлены на Рис. 4.

Анализ Рис. 4. показывает, что после 15 часов происходит изменение величины коэффициентов разложения, о чем говорит

изменение цветовой гаммы в определенных областях. Можно даже сказать, на каких частотах происходило наибольшее возмущение.

3. А теперь проведем обработку данных с магнитной обсерватории, которая еще не включена в состав Российского сегмента сети ИНТЕРМАГНЕТ. Но работа по решению этого вопроса ведется. Геомагнитная обсерватория MOS: «Москва», Россия. Данные о ней представлены в Таблице 3.

Таблица 3. Данные о магнитной обсерватории MOS: «Москва», Россия.

Код станции	Широта	Долгота
MOS	55.48°	37.31°

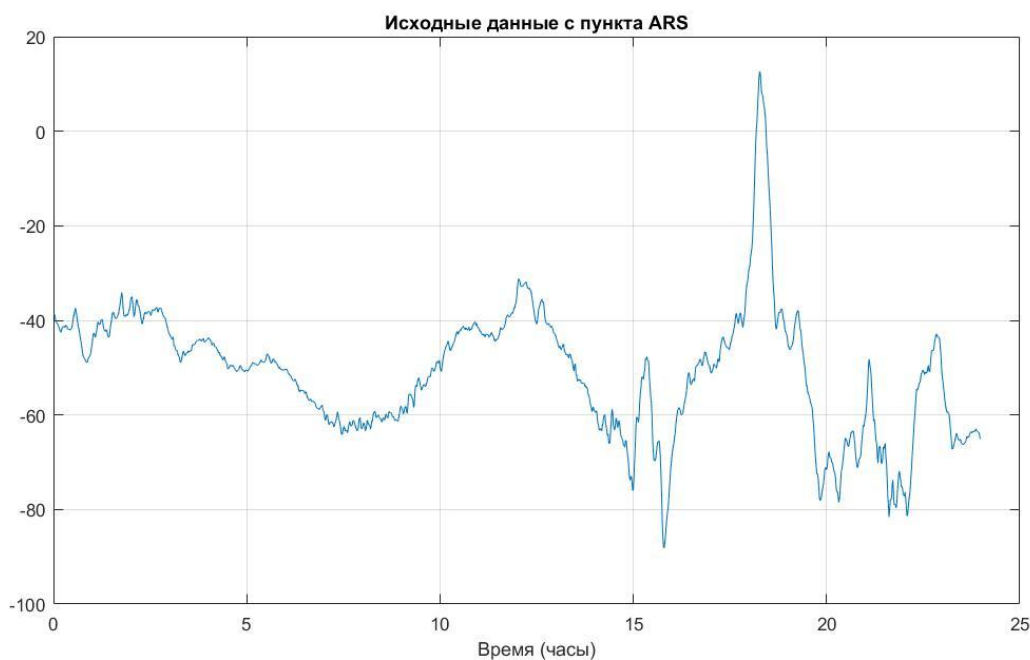


Рис.3. Исходные данные (компонента X) с пункта наблюдения ARS от 18 марта 2018 г.

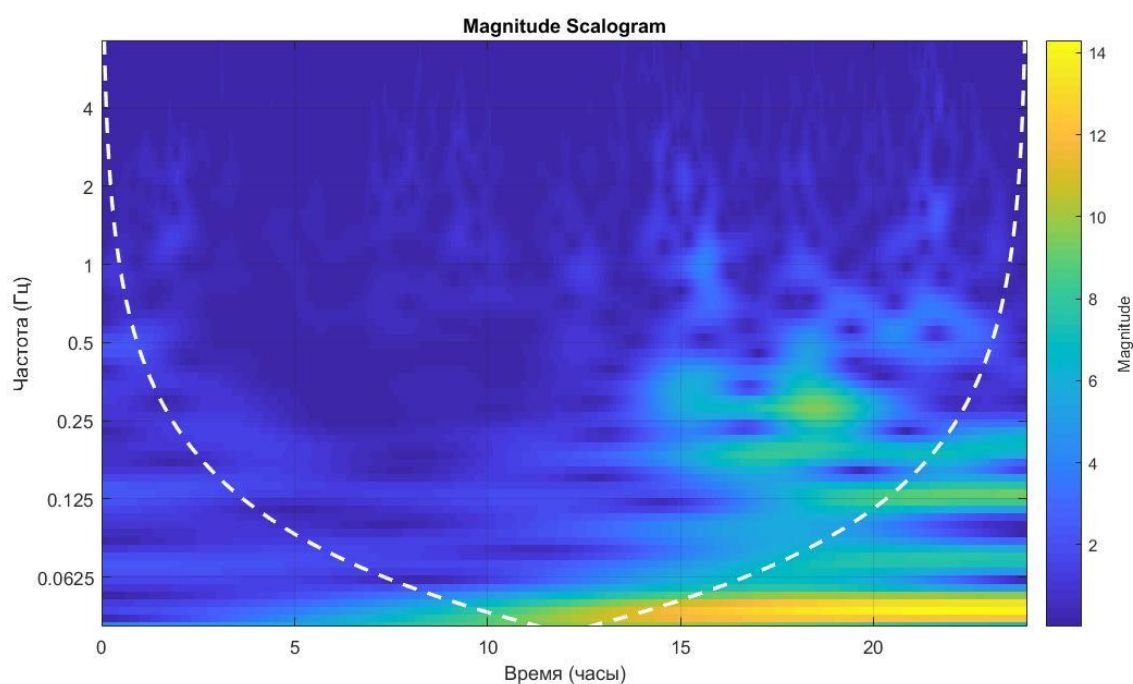


Рис. 4. Результат обработки исходных геомагнитных данных, представленных на Рис. 3, с использованием вейвлет преобразования.

На Рис. 5 представлен график исходных данных (компонента H) с пункта MOS за 18 марта 2018 г.

Результаты обработки представлены на Рис. 6. Анализ Рис. 6. показывает, что начиная с 10 часов происходит заметное из-

менение величины коэффициентов разложения, о чем говорит изменение цветовой гаммы в определенных областях. Можно даже сказать, на каких частотах происходило возмущение.

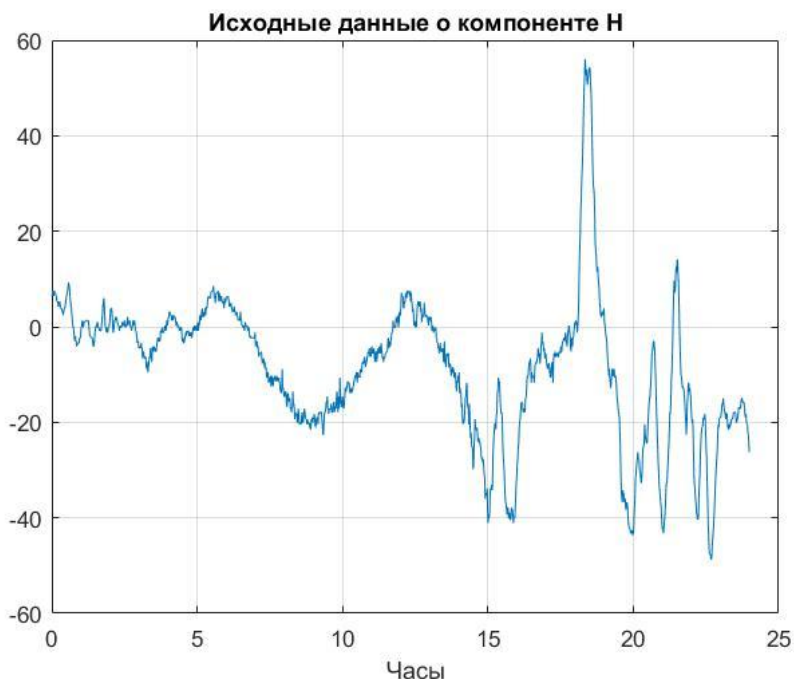


Рис. 5. Исходные данные с пункта наблюдения MOS от 18 марта 2018 г.

### Заключение

В статье была продемонстрирована обработка при помощи вейвлетов реализованных в MATLAB нестационарных сигналов, каковыми являются данные с геомагнитных обсерваторий, входящих в состав Российского сегмента сети ИНТЕРМАГНЕТ. Предоставленная информация

(исходные коды и адреса доступов) позволяют любому знакомому с системой MATLAB проводить первичный анализ геомагнитной обстановки практически в любом регионе Земли. Кроме того, в данной работе показана эффективность использования системы MATLAB, что способствует ее дальнейшей популяризации.

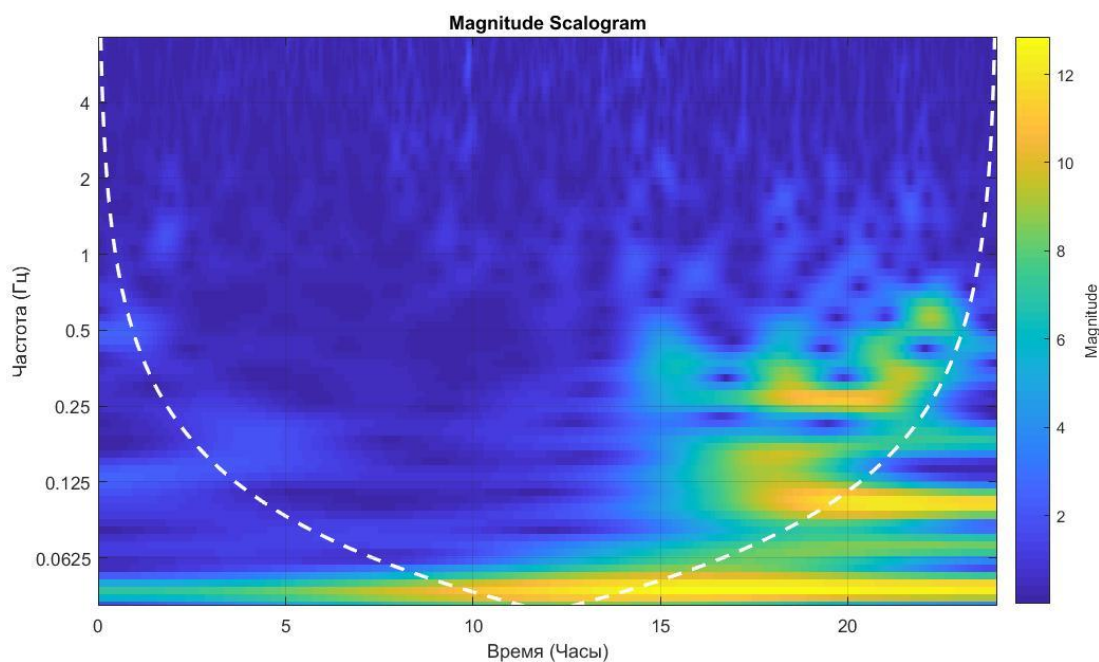


Рис. 6. Результат обработки исходных геомагнитных данных, представленных на Рис. 5, с использованием вейвлет преобразования.

### Библиографический список

*Коробейников А.Г.*. Разработка и анализ математических моделей с использованием MATLAB и MAPLE – СПб: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики. – 2010. – 144 стр. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_26121333\\_69483773.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_26121333_69483773.pdf)

*Коробейников А.Г.* Проектирование и исследование математических моделей в средах MATLAB и Maple. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2012. – 160 с. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_26120684\\_34232766.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_26120684_34232766.pdf)

*Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю.* Разработка и исследование многомерных математических моделей с использованием систем компьютерной алгебры. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 100 с. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_26121279\\_54604165.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_26121279_54604165.pdf)

*Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г.* Обратная задача радиочастотного зондирования ионосферы // Российская академия наук «ЖУРНАЛ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» <http://jre.cplire.ru/jre/oct10/6/text.html>, [электронный ресурс]// электронный журнал, ISSN 1684-1719, №10 - октябрь 2010.

*Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г.* Разработка модели решения обратной задачи вертикального зондирования ионосферы // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2011. № 2 (72). С. 109-113.

*Коробейников А.Г., Кутузов И.М., Колесников П.Ю.* Анализ методов обфускации // Кибернетика и программирование. 2012. № 1. С. 31-37.

*Коробейников А. Г., Гатчин Ю. А.* Математические основы криптологии. Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2004. – 106 с.

*Velichko E.N., Grishentsev A., Korikov S., Korobeynikov A.G.* On Interoperability in Distributed Geoinformational Systems // Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). - 2015, Vol. 9247, pp. 496-504

*А. Ю. Гришенцев, А. Г. Коробейников.* Средства интероперабельности в распределенных геоинформационных системах // Журнал радиоэлектроники - 2015. - № 3. - С. 19. <http://jre.cplire.ru/jre/mar15/7/text.pdf>

*Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю., Кутузов И.М., Пирожникова О.И., Соколов К.О., Литвинов Д.Ю.* Разработка математической и имитационной моделей для расчета оценки защищенности объекта информатизации от несанкционированного физического проникновения // Кибернетика и программирование. 2014. № 5. С. 14-25.

*Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю., Святкина М.Н.* Применение интеллектуальных агентов магнитных измерений для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Кибернетика и программирование. 2013. № 3. С. 9-20.

*Коробейников А.Г., Кутузов И.М.* Алгоритм обфускации // Кибернетика и программирование. 2013. № 3. С. 1-8.

*Коробейников А.Г., Федосовский М.Е., Алексанин С.А.* Разработка автоматизированной процедуры для решения задачи восстановления смазанных цифровых изображений // Кибернетика и программирование. 2016. № 1. С. 270-291.

*Коробейников А.Г., Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А., Петрищев М.С.* Исследование геоэлектрической структуры земной коры на базе анализа фазовых скоростей ультранизкочастотных геомагнитных вариаций // NB: Кибернетика и программирование. – 2013. – № 2. – С.36-43. DOI: 10.7256/2306-4196.2013.2.8736. URL: [http://enotabene.ru/kp/article\\_8736.html](http://enotabene.ru/kp/article_8736.html)

*Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г.* Улучшение сходимости метода конечных разностей с помощью вычисления промежуточного решения // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2012. № 3 (79). С. 124-127.

*Коробейников А.Г., Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А., Петрищев М.С.* Обработка экспериментальных исследований геоэлектрической структуры земной коры на базе анализа фазовых скоростей ультранизкочастотных геомагнитных вариаций // Программные систе-

мы и вычислительные методы. – 2013. – №3. – С. 295-300. DOI: 10.7256/2305-6061.2013.3.10381

Н. К. Смоленцев. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2014. – 628 с.

## PROCESSING AND ANALYSIS OF DATA FROM THE RUSSIAN SEGMENT OF THE WORLD NETWORK OF MAGNETIC OBSERVATORY INTERMAGNET

**A.G. Korobeynikov**, *doctor of technical sciences, professor*

**St. Petersburg (branch) of the Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and propagation of radio waves. N.V. Pushkova of the Russian Academy of Sciences (Russia, St. Petersburg)**

**Abstract.** *In this paper, the application of a mathematical apparatus based on wavelet transforms is considered using the example of data processing from the Russian segment of the world network of magnetic observatories INTERMAGNET. Historically, the most famous mathematical apparatus used to process digital signals is the Fourier transform. But at the present time, it is often necessary to process non-stationary data. Hence the need arose for the development and implementation of a special mathematical apparatus. For example, the Hilbert transform, the Wigner-Villa transformation, the Walsh transform, the wavelet transform, and others. One of the main factors in the choice of wavelet transforms in this work is a good implementation of this mathematical apparatus in the MATLAB system. Analysis of non-stationary geomagnetic monitoring data obtained from the Russian segment of the world network of magnetic observatories INTERMAGNET is proposed to be carried out using a wavelet transform. The main result of this work is the conclusion about the possibility of analyzing non-stationary data, such as geomagnetic monitoring data from the Russian segment of the world network of magnetic observatories INTERMAGNET, by wavelet transform methods implemented in the MATLAB system. In addition, these methods can be applied to data that can be obtained and not from the Russian segment of INTERMAGNET.*

**Keywords:** *processing of digital data, nonstationary data, wavelets, matlab, continuous observations, magnetic observatory, geomagnetic monitoring, geomagnetic data, geomagnetic information node, intermagnet.*