

DOI: <https://doi.org/10.15407/rpra23.02.116>

УДК 550.38

PACS number: 94.30.Ms

А. Л. СУХАРЕВ¹, М. И. ОРЛЮК², М. И. РЯБОВ¹,
А. А. РОМЕНЕЦ²¹ Обсерватория “УРАН-4”, Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Пушкинская, 37, г. Одесса, 65011, Украина
E-mail: magister_phys@yahoo.com² Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,
пр-т Академика Палладина, 32, г. Киев, 02000, Украина
E-mail: orlyk@igph.kiev.ua

О ПЕРВЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИЗМЕРЕНИЙ КОРОТКОПЕРИОДНЫХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЗОНЕ ОДЕССКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ С СЕКУНДНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Предмет и цель работы: С ноября 2017 г. по апрель 2018 г. в Астрономической обсерватории Одесского национального университета им. И. И. Мечникова выполнен мониторинг вариационной составляющей геомагнитного поля с целью исследования среднеширотных геомагнитных пульсаций в центральной части Одесской магнитной региональной аномалии.

Методы и методология: Измерения проводились с использованием прецизионного феррозондового магнитометра LEMF-008 с частотой дискретизации 1 Гц. Полученные данные обрабатывались посуточно с использованием метода непрерывного вейвлет-анализа, а также полосовой фильтрации на его основе для выделения отдельных частотных полос, содержащих квазигармонические пульсации.

Результаты: Проведен анализ результатов наблюдений северной V_x -компоненты вектора индукции геомагнитного поля во время геомагнитных возмущений, бурь и в спокойных условиях с использованием метода непрерывного вейвлет-анализа. Отмечается наличие преобладающих квазипериодов быстрых пульсаций $\approx 9 \div 30$ мин в течение суток с уменьшением значения периодов и их длительности появления в данных во время магнитных бурь, а также во время бурь обычно отмечается увеличение доли нерегулярных и кратковременных пульсаций в данных наблюдений. В связи с наличием в записях техногенного городского шума выполнено сравнение результатов с эталонным мониторингом геомагнитных вариаций в магнитной обсерватории “Одесса”, расположенной в с. Степановка Одесской области. Показано, что техногенный шум города в месте расположения магнитометра заметнее всего проявляется на участках вейвлет-спектров от периодов 5 мин и меньше.

Заключение: Получены данные длительного мониторинга вариационной составляющей геомагнитного поля в наиболее интересной центральной части Одесской магнитной аномалии, где ранее подобные исследования не проводились. Дано представление об основных спектрах геомагнитных пульсаций и их сравнение в магнитно-спокойные дни и дни магнитных бурь.

Ключевые слова: геомагнитные вариации, солнечно-земные связи, магнитная аномалия, магнитометр, геомагнитные пульсации

1. Введение

В настоящее время важной научной задачей в изучении земного магнетизма являются исследования геомагнитных пульсаций в областях магнитных аномалий (участков земной поверхности, где величина и направление вектора индукции магнитного поля значительно отличаются от величины и направления вектора индукции в соседних регионах). Эти исследования позволяют определить особенности реакции магнитной аномалии на проявление эффектов солнечной активности.

В юго-западной части Украины расположена крупная и интенсивная Одесская региональная магнитная аномалия [1], которая была обнаружена и исследована еще в 1892 г. [2]. Региональные магнитные аномалии связаны с наличием намагниченных пород во всем разрезе земной коры, а возможно, и в верхах мантии. Аномальное магнитное поле в Одесской области изменяется в пределах от -400 нТ (восточная часть) до 1200 нТ (центральная часть). Модуль индукции геомагнитного поля (сумма аномального и нормального магнитных полей) изменяется в пределах $48600 \div 50400$ нТл (рис. 1).

Детальное исследование пространственной структуры геомагнитного поля, выполненное со-

© А. Л. Сухарев, М. И. Орлюк, М. И. Рябов,
А. А. Роменец, 2018

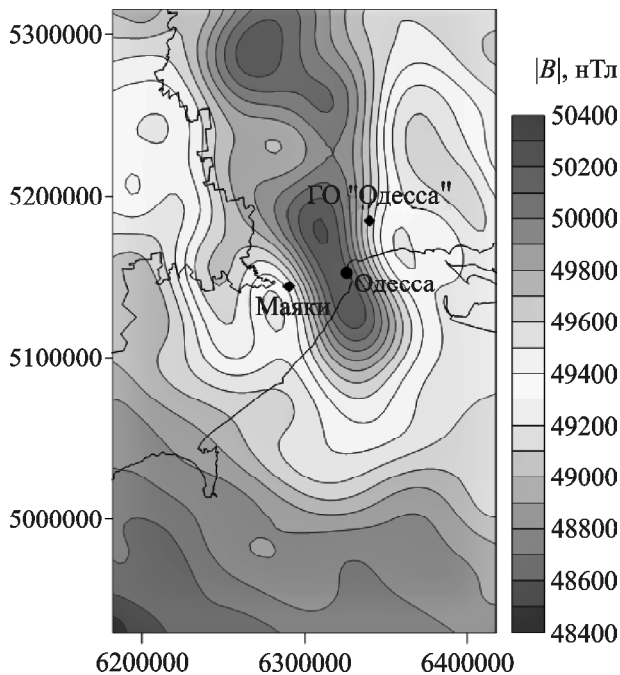


Рис. 1. Карта распределения модуля индукции $|B|$ геомагнитного поля в районе г. Одессы на эпоху 2015 г., построенная на основании аналитической модели [3]

трудниками Института геофизики НАН Украины, показало, что магнитные источники находятся в верхней и нижней частях земной коры, на глубинах от 7 до 40 ÷ 45 км [4]. По данным расчетов, на высотах формирования ионосферных и магнитосферных источников геомагнитных вариаций сохраняются некоторые отличия в интенсивности как нормальной, так и аномальной компонент поля [5, 6]. Таким образом, Одесская региональная аномалия может оказывать влияние на процессы в ионосфере Земли и связанные с ними вариации геомагнитного поля под воздействием солнечной активности.

Долговременный многолетний мониторинг изменений геомагнитного поля в исследуемом регионе ведется в магнитной обсерватории «Одесса» в с. Степановка Одесской области, однако она находится на удалении от участков с наибольшей интенсивностью аномального поля. Поскольку состояние ионосферы оказывает значительное влияние на условия наблюдений космических радиоисточников в Одесской обсерватории «УРАН-4» в дециметровом диапазоне 10 ÷ 30 МГц, непосредственные измерения возмущенности геомагнитного поля в центре магнитной аномалии будут очень полезны и позволят

прояснить физические причины наблюдаемых эффектов в изменении плотностей потоков излучения радиоисточников [7].

В связи с этим в ноябре 2017 г. по совместному соглашению Радиоастрономического института НАН Украины с Институтом геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины и с согласия Одесского национального университета им. И. И. Мечникова на территории астрономической обсерватории университета (Одесской астрономической обсерватории) в парке Т. Г. Шевченко был размещен прецизионный феррозондовый магнитометр LEMI-008.

Место расположения прибора соответствует центру Одесской магнитной аномалии.

Целью настоящей работы является исследование быстрых геомагнитных пульсаций в области высокой интенсивности аномального магнитного поля.

2. Средства и методы

Прецизионный трехкоординатный феррозондовый магнитометр LEMI-008 (рис. 2) разработан и выпускается Львовским центром Института космических исследований НАН Украины. Он предназначен для высокоточного измерения вариаций геомагнитного поля в лабораторных и полевых условиях. Технические характеристики прибора описаны в работе [8] и приведены в табл. 1.

Непрерывная регистрация обеспечивается программно-техническим комплексом, который содержит трехкоординатный магнитный датчик во влагозащищенном корпусе, блок электроники с приемником GPS, резервный аккумулятор и нетбук. Полученные на магнитометре данные непрерывно записываются в текстовые файлы. Блоки данных формируются посуточно, каждый файл содержит 86400 отсчетов (количество секунд в сутках) индукции геомагнитного поля для каждой координаты x , y , z в нанотеслах. В настоящей работе анализировалась вариация северной B_x -компоненты вектора индукции геомагнитного поля. Для защиты от внешних помех магнитометр размещен в подвальном помещении лаборатории Одесской астрономической обсерватории, расположенной в парковой зоне на удалении от источников мощных техногенных помех.

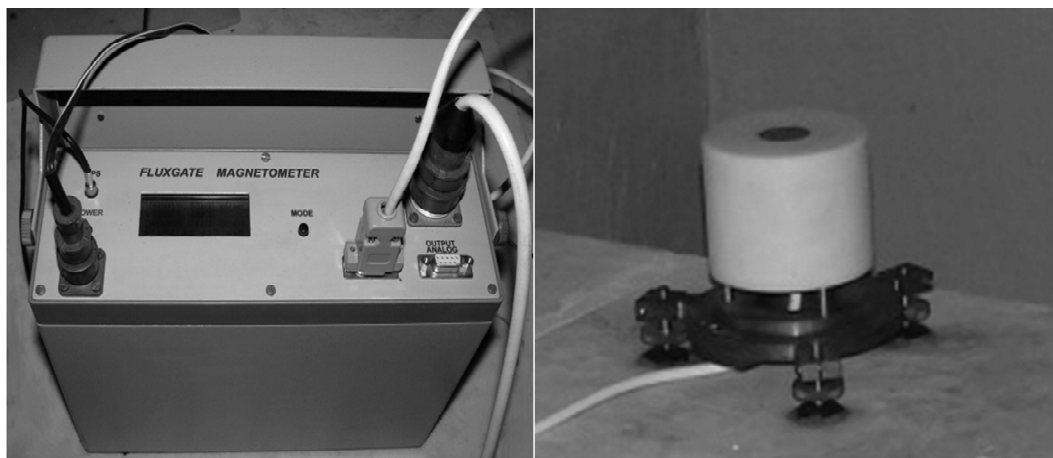


Рис. 2. Общий вид регистрационного блока (слева) и датчика (справа) феррозондового магнитометра LEM-008

Таблица 1. Технические характеристики магнитометра LEM-008 [8]

Диапазон измерения вариаций, нТл	
диапазон 1	±100000
диапазон 2	±3200
Разрешающая способность, нТл	
диапазон 1	10
диапазон 2	0.1
Уровень шума аналогового канала в полосе 0.1÷1 Гц, пТл	< 10
Долговременный дрейф нуля, нТл/год	< ±5
Погрешность коэффициента передачи, %	< 0.2
Диапазон плавного смещения нуля по каждой оси, нТл	±1000
Время усреднения отсчетов, с	1, 2, 5, 10, 60
Внутренняя память, Мб	8
Диапазон компенсаторного поля по каждой оси, нТл	±65000
Разрешающая способность датчиков температуры, °С	1
Температурный дрейф, нТл/°С	< 0.2
Температурный диапазон, °С	-5 ÷ +40
Питание, батарея	12 В, 0.2 А
Вес датчика, кг	1.7
Вес блока электроники, кг	3.6
Длина кабеля, м	10
Выходы	аналоговый, цифровой RS-232
Коррекция времени, координаты местоположения	по сигналам GPS

Частотно-временные спектры геомагнитных вариаций строились с использованием непрерывного вейвлет-преобразования на основе функции Морле. Был применен быстрый вариант расчета вейвлет-спектров с помощью быстрого преобразования Фурье (FFT) [9, 10], что позволило значительно ускорить обработку большого количества наблюдений. Предварительно из данных вычиталось среднее значение геомагнитной индукции, чтобы избежать подавления высокочастотной части спектра частотами, близкими к нулю.

Суточные данные регистрации геомагнитных вариаций показывают очень широкий спектр на временных масштабах от часов до десятков секунд. Часто происходят наложения разных типов пульсаций, поэтому удобно выделять из общего спектра полосы периодов, которые содержат исследуемые пульсации, и анализировать их отдельно. Для этого использовалась фильтрация на основе непрерывного вейвлет-преобразования [11]. Оценка значимости квазипериодов проводилась по цветным доверительным уровням (пиковый критический предел уровней значимости), нанесенным на вейвлет-спектр. Таким образом сразу видна значимость квазипериодов в разных полосах вейвлет-спектра. Так, например, доверительный уровень 95 % показывает, что только для одного из 20 случайных сигналов спектральный максимум может достичь этого уровня, а уровень 99.9 % – что только для одного из 1000 случайных сигналов. Подробнее о вычислении доверительных уровней для вейвлет-спектров изложено в работе [12]. Для сглаживания высокочастотного шума и рез-

ких выбросов на записях применялся популярный метод Савицкого–Голея [13], основанный на вычислении полинома в скользящем окне методом наименьших квадратов и эффективный для больших наборов равномерных данных.

3. Короткопериодные геомагнитные вариации в Одесской астрономической обсерватории

Рассмотрим для примера несколько записей геомагнитных вариаций в дни магнитных бурь. На рис. 3 показаны графики вариаций северной B_x , восточной B_y и вертикальной B_z компонент геомагнитного поля для магнитной бури 18 марта 2018 г. Видно, что, несмотря на то, что магнитометр расположен вдали от источников техногенных помех (таких как промышленные производства, железнодорожные линии, крупные торговые центры и жилые кварталы) в записях присутствует высокочастотный шум большого города, который увеличивается с четырех часов утра и уменьшается с девяти часов вечера местного

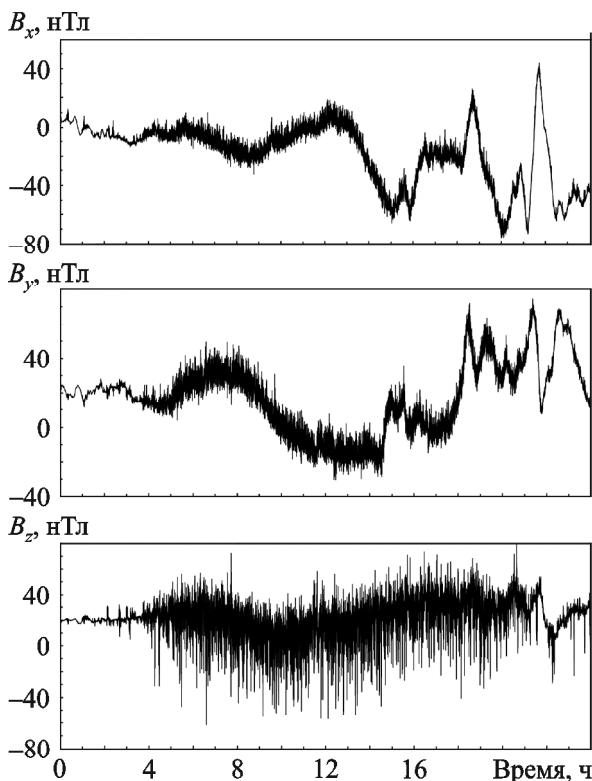


Рис. 3. Исходные несглаженные графики вариаций B_x , B_y и B_z компонент геомагнитного поля во время магнитной бури 18 марта 2018 г.

времени. Особенно это заметно на вариациях B_z -компоненты, которая, согласно работе [14], наиболее чувствительна к техногенным помехам. Горизонтальные компоненты менее подвержены помехам. Данные сглаживались фильтром Савицкого–Голея с параметрами: полуширина окна – 120 точек, степень полинома – 4 и количество проходов – 3. Амплитуда шумов обычно $\approx 10 \div 15$ нТл, реже, в некоторые дни, может возрасти до $\approx 20 \div 30$ нТл.

На рис. 4 показаны вейвлет-спектры вариаций геомагнитного поля 14 марта 2018 г. во время магнитной бури. Видно, что, кроме короткопериодных пульсаций, на спектре проявляются и фрагменты гармоник солнечно-суточных колебаний геомагнитного поля, которые из-за значительной амплитуды часто подавляют короткопериодные пульсации, уменьшая их значимость. На нижней панели рис. 4 показан вейвлет-спектр после выделения полосовой фильтрацией фрагмента данных, соответствующих полосе периодов на спектре от 4.4 до 23 мин. Однако это нерегулярные вариации, их периоды неустойчивы и резко изменяются в интервале $\approx 14 \div 20$ мин с увеличением амплитуды с 15 часов местного времени. Проявляются также нерегулярные всплески на временном масштабе около 8 мин и меньше.

Рассмотрим спектры геомагнитных пульсаций (см. рис. 5) в дни магнитных бурь 11 и 20 апреля 2018 г. На спектре пульсаций, наблюдавшихся во время бури 20 апреля, видно редкое появление длительного устойчивого квазигармонического колебания с периодом ≈ 43 мин с 7 до 22 часов местного времени, а также с периодом $\approx 23 \div 27$ мин до 14 часов. На спектре, полученном 11 апреля, видны кратковременные, длительностью $\approx 3 \div 4$ ч, квазигармонические участки с периодами $\approx 15 \div 21$ мин и нерегулярные колебания на временных масштабах $\approx 6 \div 9$ мин. Обычно во время магнитных бурь, по данным проведенных измерений, чаще наблюдается сложение нерегулярных, а также кратковременных квазипериодических колебаний индукции геомагнитного поля, нередко с изменениями значений периодов со временем, однако встречаются записи с довольно устойчивыми квазипериодическими колебаниями индукции, как показано в этом примере.

Рассмотрим еще два примера спектров, полученных 3 декабря 2017 г. и 1 февраля 2018 г. во

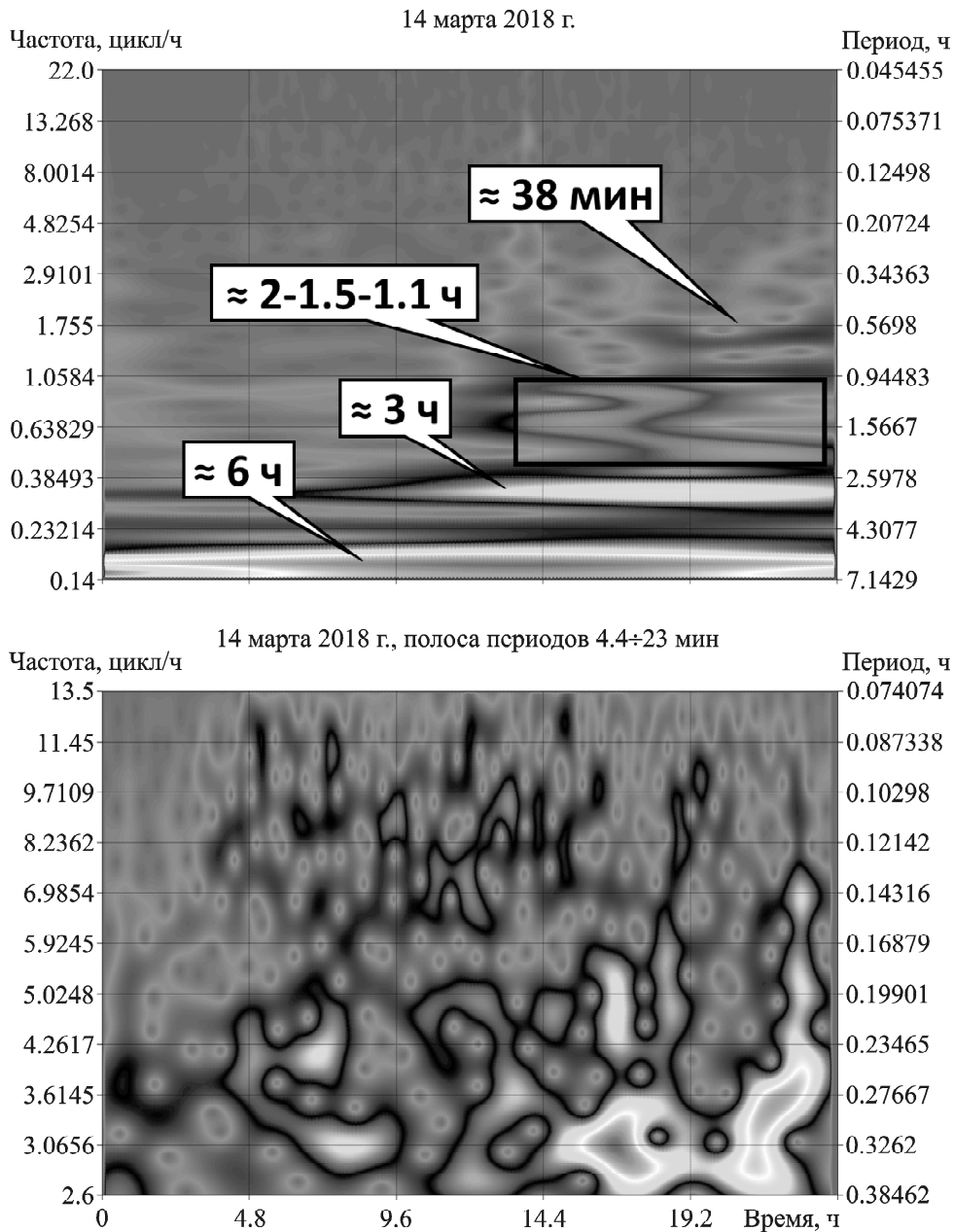


Рис. 4. Вейвлет-спектры ($\sqrt{\text{Re}^2 + \text{Im}^2}$, где Re и Im – вещественная и мнимая части вейвлет-преобразования) полного ряда геомагнитных вариаций во время магнитной бури 14 марта 2018 г. (верхняя панель) и фрагмента данных в полосе периодов 4.4 ÷ 23 мин (нижняя панель). На верхней панели указаны периоды гармоник солнечно-суточных вариаций

время спокойного и слабозмущенного геомагнитного поля (рис. 6 и рис. 7). 3 декабря наблюдался довольно редкий случай появления нескольких гармоник с основным периодом $\approx 20 \div 24$ мин и наложением квазигармонических вариаций с разными периодами ($\approx 7 \div 14$ мин) и в разное время. 1 февраля на спектре также присутствует наложение разнопериодных квазигармонических колебаний. С 5 до 13 часов местного времени

основной период изменяется с ≈ 30 до ≈ 21 мин, кроме этого, проявляются кратковременные нерегулярные колебания на временном масштабе 6 ÷ 7 мин в разное время. Таким образом, в геомагнитно спокойные и слабозмущенные дни часто наблюдаются длительные квазипериодические колебания индукции геомагнитного поля с значениями периодов в интервале 15 ÷ 30 мин, а также нерегулярные и кратковременные коле-

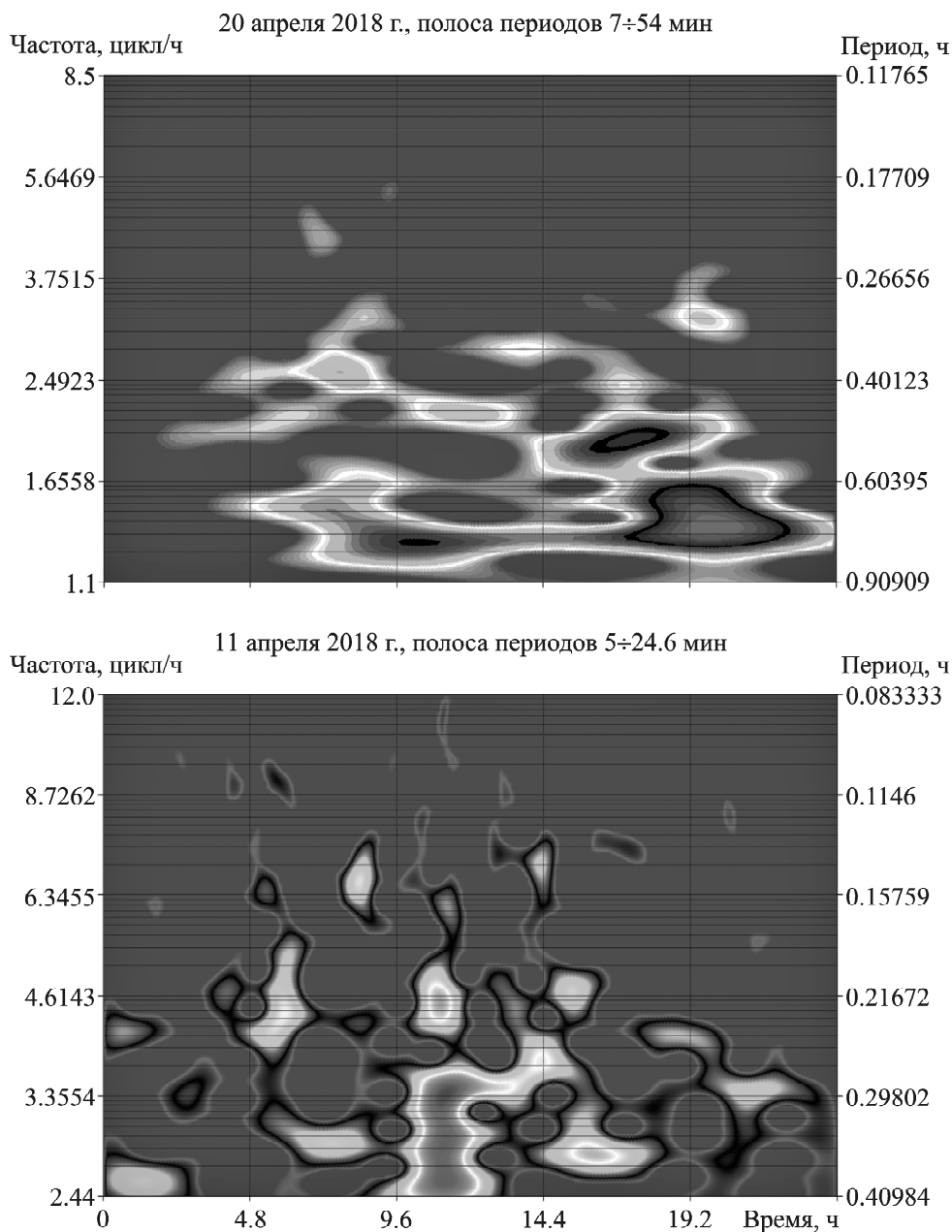


Рис. 5. Вейвлет-спектры геомагнитных пульсаций во время бурь 11 апреля (нижняя панель) и 20 апреля 2018 г. (верхняя панель) в отдельных полосах периодов. Здесь и далее диаграммы приведены в децибелах, нормированных на ноль для удобства определения на спектре участков с наибольшей мощностью, $(10 \cdot \lg(\text{Re}^2 + \text{Im}^2))$, где Re и Im – вещественная и мнимая части вейвлет-преобразования)

бания в интервале 5 ÷ 15 мин. В меньших интервалах сильная шумовая составляющая не позволяет регистрировать быстрые дневные пульсации. Однако в ночное время, когда шум города незначительный, вероятно, возможно исследовать ночные короткопериодные пульсации геомагнитного поля. Проведение такого исследования станет следующим шагом работы.

4. Сравнение результатов наблюдений в Одесской астрономической обсерватории и на магнитной станции “Одесса”

Чтобы удостовериться, что выделяемые вариации геомагнитного поля могут быть реальными, природными, а не техногенного происхождения, было выполнено определение полосы наиболее

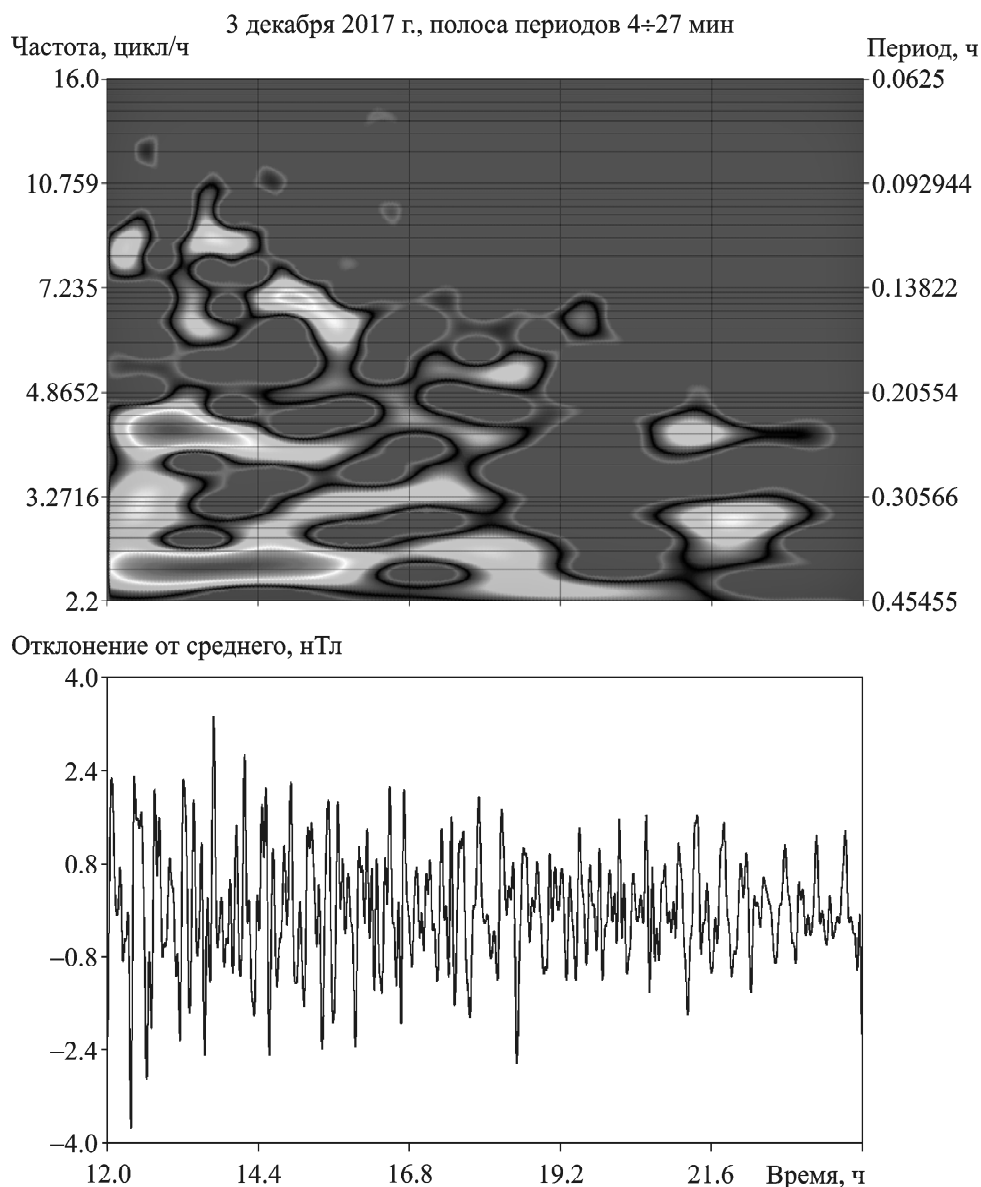


Рис. 6. Вейвлет-спектр (верхняя панель) и изменение амплитуды индукции геомагнитного поля (нижняя панель) в полосе периодов 4 ÷ 27 мин, зарегистрированные в геомагнитно спокойный день 3 декабря 2017 г в интервале с 12 до 24 часов местного времени

значимых периодов по данным магнитной станции “Одесса” в с. Степановка Одесской области. Магнитометры на станции находятся в глубоком подземном погребе, что делает ее одной из лучших в Украине по помехозащищенности, а большое удаление от Одессы (82 км) исключает вклад техногенных шумов в измерения индукции геомагнитного поля (по исследованиям, шум улавливается магнитометром за 20 ÷ 30 км от крупного города). Рассмотрим для примера записи B_x -компоненты в Одессе и Степановке 4 и 5

декабря 2017 г. Сравнение приведено на рис. 8 и рис. 9, одесские данные сглажены фильтром Са-вицкого–Голея.

Сглаженные данные, полученные в Одессе, хорошо соответствуют данным, полученным в Степановке. Сравнение фильтрованных данных в полосах периодов 4.5 ÷ 34.6 мин для 4 декабря и 4.3 ÷ 48 мин для 5 декабря показало, что на FFT спектрах у трех основных периодов следующие значения: 22.8, 15.5, 10.2 мин (Степановка) и 20.3, 11.5, 8.5 мин (Одесса) для 4 декабря; 39.7,

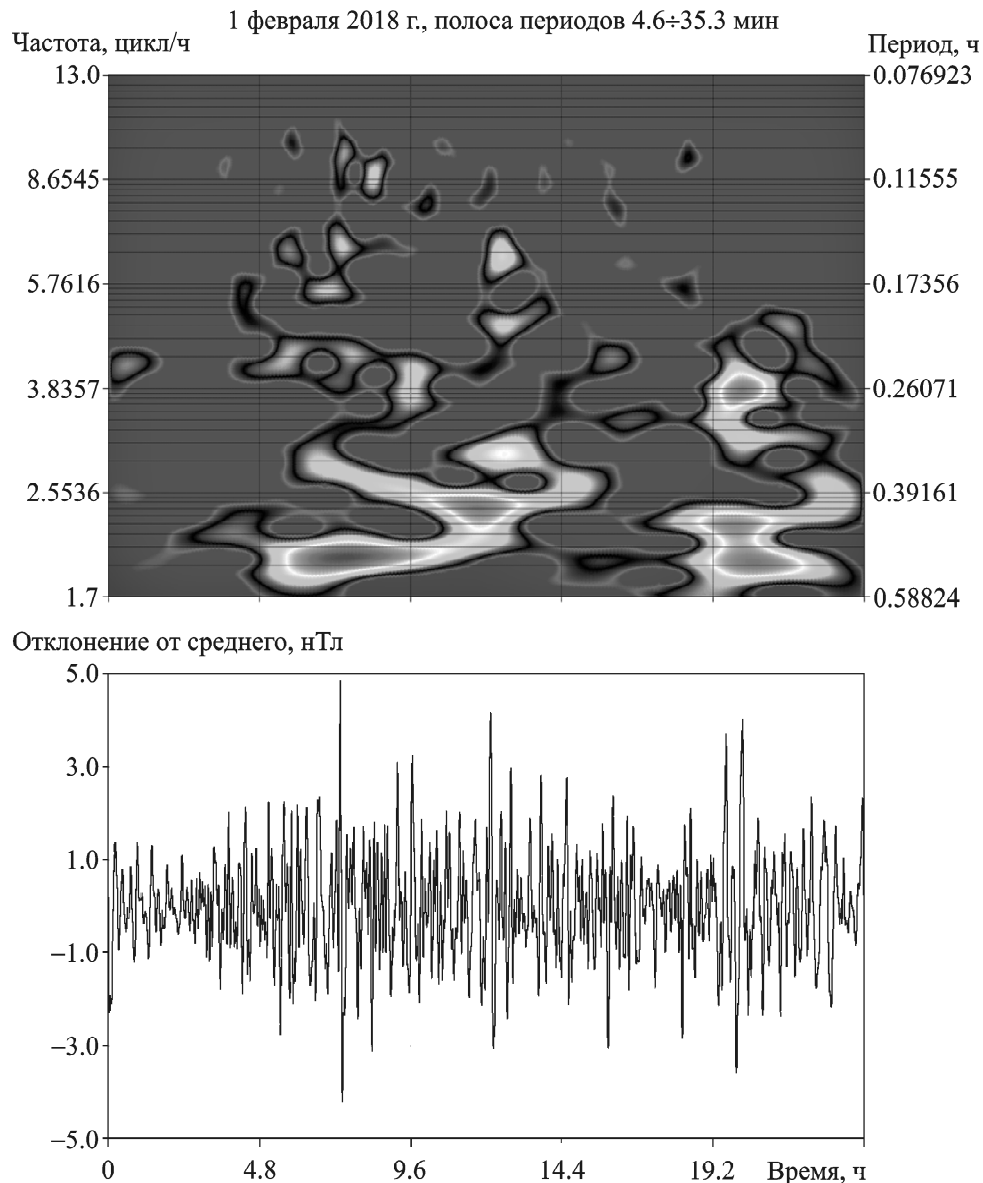


Рис. 7. Вейвлет-спектр (верхняя панель) и изменение амплитуды индукции геомагнитного поля (нижняя панель) в полосе периодов 4.6 ÷ 35.3 мин, зарегистрированные в геомагнитно слабозвущенный день 1 февраля 2018 г.

27.1, 18.4 мин (Степановка) и 39.3, 29.1, 19.4 мин (Одесса) для 5 декабря. Разница между полученными значениями периодов: 2.5, 4, 1.7 минуты для 4 декабря и 0.4, 2, 1 мин для 5 декабря. Похожие результаты были получены при сравнении периодов и для других дней. Поэтому можно сделать вывод, что, несмотря на сильный техногенный шум, рассматриваемые геомагнитные вариации в одесских наблюдениях в полосе периодов $\approx 5 \div 30$ мин искажаются незначительно, однако полосы периодов менее 5 мин, скорее всего, показывают частотно-временное распре-

деление помех, а не реальных геомагнитных пульсаций. В дальнейшей работе предпочтительна для рассмотрения полоса периодов геомагнитных вариаций $\approx 9 \div 30$ мин, поскольку она обеспечивает наилучшее соответствие периодов эталонным данным Степановки.

5. Обсуждение

Исследованию геомагнитных пульсаций посвящено огромное количество работ (например, [15]) по данным множества геомагнитных обсерваторий на различных широтах. Однако изучение геомаг-

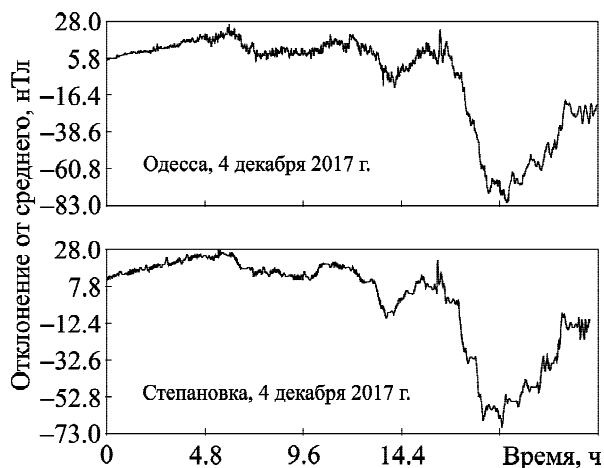


Рис. 8. Сравнение вариаций B_x - компоненты геомагнитного поля, зарегистрированных в Одессе и Степановке 4 декабря 2017 г. (из данных наблюдений в Степановке вычтено среднее значение, составляющее 21176.27 нТл)

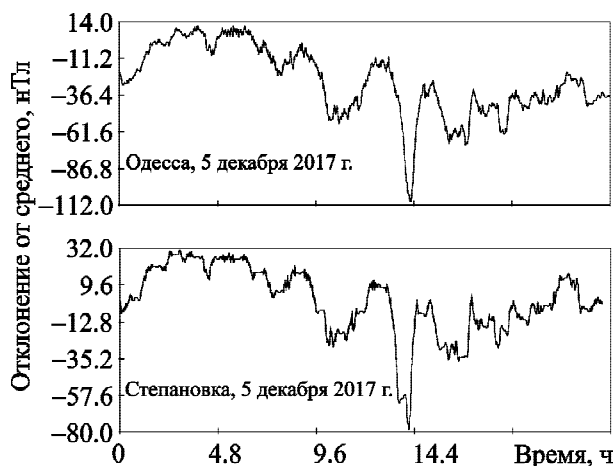


Рис. 9. Сравнение вариаций B_x - компоненты геомагнитного поля, зарегистрированных в Одессе и Степановке 5 декабря 2017 г. (из данных наблюдений в Степановке вычтено среднее значение, составляющее 21164.84 нТл)

нитных вариаций на территории Украины в основном представлено работами по свойствам солнечно-суточных вариаций (основные периоды 6 ÷ 24 ч) в разных областях страны (например, [16]), и достаточно слабо изучено влияние крупных региональных магнитных аномалий на проявления геомагнитных пульсаций в моменты магнитных бурь и моменты спокойного поля.

Непосредственно в пределах Одесской магнитной аномалии долговременные измерения с секундным разрешением по времени вблизи центральной области наибольшей индукции поля про-

водятся впервые. Сложность для исследований состоит в том, что центральная часть аномалии с наибольшей индукцией находится на территории города Одесса, что дает значительные помехи и затрудняет выбор места для расположения магнитометра. После обработки всего массива уже полученных данных о свойствах геомагнитных пульсаций планируется сравнение с данными, полученными на магнитной станции “Одесса” на краю аномалии, и с данными магнитной станции “Киев”, которая находится в области нормального геомагнитного поля.

В настоящее время известно множество разных типов геомагнитных пульсаций, которые отличаются частотным составом, изменением со временем, различным распределением по широте земной поверхности, проявлением во время спокойного и возмущенного поля, сезонными особенностями и так далее. Обычно длительные квазипериодические пульсации связаны с крупномасштабными изменениями структуры магнитосферы и резонансными колебаниями силовых линий геомагнитного поля, нерегулярные импульсные пульсации чаще всего соответствуют временам развития геомагнитных возмущений. Генерация колебаний происходит в локализованных областях магнитосферы. Более полные обзоры видов геомагнитных пульсаций и причин их появления изложены в работах [17, 18].

Для Одесской региональной магнитной аномалии характерно наличие векового увеличения магнитной индукции [19]. В связи с этим исследование развития геомагнитных пульсаций в таких особых условиях является перспективной и актуальной научной задачей.

6. Выводы

1. Проведенный цикл измерений вариаций геомагнитного поля в центре Одесской региональной магнитной аномалии продемонстрировал перспективность таких исследований для выяснения особенностей вариации потоков излучения космических радиоисточников в декаметровом диапазоне, отражающих состояние ионосферы.

2. Предварительный анализ наблюдений с ноября 2017 г. по апрель 2018 г. показал преобладание квазигармонических, с изменениями периодов, и реже нерегулярных пульсаций с усилением или затуханием в пределах дневного времени суток.

3. Во время магнитных бурь обычно наблюдаются нерегулярные вариации с широким спектром от 5 до 30 мин с наибольшей амплитудой в полосе 15 ÷ 30 мин. Иногда наблюдаются устойчивые квазигармонические вариации в сумме с нерегулярными возмущениями в виде отдельных кратковременных всплесков на разных временных масштабах. В связи с этим планируется сопоставить виды наблюдаемых пульсаций с типами магнитных бурь, во время которых они наблюдаются.

4. В дни спокойного и слабозвозмущенного геомагнитного поля преобладают долговременные квазигармонические вариации в полосе 15 ÷ 30 мин, а в некоторые дни и в полосе 5 ÷ 15 мин, реже эта полоса заполнена нерегулярными вариациями. Вариации с периодами меньше 5 мин, скорее всего, отражают вклад техногенных помех и шумов города.

5. Проведено предварительное сравнение геомагнитных наблюдений в Одесской астрономической обсерватории с эталонными наблюдениями в магнитной обсерватории “Одесса” (с. Степановка). Показано, что после фильтрации шума данные хорошо соответствуют эталонным, а их спектральный состав незначительно отличается. Поэтому расположение магнитометра можно считать приемлемым для долговременного мониторинга геомагнитных вариаций в центральной части Одесской региональной магнитной аномалии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлюк М. И., Пашкевич И. К. Методика та результати інтерпретації аномального магнітного поля за даними наземних та супутникових зйомок. *Доп. АН України*. 1994. № 4. С. 120–124.
2. Попруженко С. Одесская Магнитная аномалия. *Метеорологическое обозрение: сборник научных трудов*. Под ред. А. Клоссовского. Одесса: Тип. П. Францова, 1892. Вып 3.
3. Chulliat A., Alken P., Nair M., Woods A., and Maus S. *The Enhanced Magnetic Model 2015-2020*. National Centers for Environmental Information, NOAA. 2015. DOI: 10.7289/V56971HV
4. Орлюк М. И., Марченко А. В., Иващенко И. Н. Расчет компонент геомагнитного поля на примере Одесской магнитной аномалии. *Геодинаміка*. 2014. Т. 1, № 16. С. 96–102.
5. Marchenko A. and Orlyuk M. 3D magnetic model of the East European Craton and its effect at near-surface and satellite heights. *Геофизический журнал*. 2010. Т. 32, № 4. С. 96–98.
6. Орлюк М. И., Роменец А. А. Структура и динамика главного магнитного поля Земли на ее поверхности и в ближнем космосе. *Odessa astronomical publications*. 2011. Vol. 24. P. 124–128.
7. Собишняк Л. И., Рябов М. И., Сухарев А. Л., Панишко С. К. Структура переменности индексов космической погоды в применении к данным мониторинга потоков излучения радионисточников на радиотелескопе “УРАН-4”. *Радиофизика и радиоастрономия*. 2017. Т. 22, № 4. С. 294–303. DOI: 10.15407/rpra22.04.294
8. Сумарук Т. П. Програмно-технічний комплекс забезпечення збору, обробки та збереження даних геомагнітних обсерваторій України. *Космічна наука і технологія*. 2010. Т. 16, № 2. С. 12–16.
9. Rioul O. and Duhamel P. Fast algorithms for discrete and continuous wavelet transform. *IEEE Trans. Inform. Theory*. 1992. Vol. 38, No. 2. P. 569–586. DOI: 10.1109/18.119724
10. Buessow R. An algorithm for the continuous Morlet wavelet transform. *Mech. Syst. Signal Process.* 2007. Vol. 21, Is. 8. P. 2970–2979. DOI: 10.1016/j.ymsp.2007.06.001
11. Jordan D. and Miksad R.W. Implementation of the continuous wavelet transform for digital time series analysis. *Rev. Sci. Instrum.* 1997. Vol. 68, Is 3. P. 1484–1494. DOI: 10.1063/1.1147636
12. Ge Z. Significance tests for the wavelet power and the wavelet power spectrum. *Ann. Geophys.* 2007. Vol. 25. P. 2259–2269. DOI: 10.5194/angeo-25-2259-2007
13. Savitzky A. and Golay M. J. E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Anal. Chem.* 1964. Vol. 36, No. 8. P. 1627–1639. DOI: 10.1021/ac60214a047
14. Orlyuk M., Romenets A., and Orliuk I. Natural and technogenic components of the magnetic field for Kyiv territory. *Proceedings of XIII-th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects*. (May 12-15, 2014. Kiev). Kiev, Ukraine, 2014. id. 441. DOI: 10.3997/2214-4609.20140441
15. Троицкая В. А., Гульельми А. В. Геомагнитные пульсации и диагностика магнитосферы. *Успехи физических наук*. 1969. Т. 97. С. 453–494. DOI: 10.3367/UFGN.0097.196903d.0453
16. Максимчук В. Е., Орлюк М. И., Горыдский Ю. М., Кузнецова В. Г., Чоботок И. А. Короткопериодные вариации геомагнитного поля ΔT в центральной части Днепровско-Донецкой впадины. *Геофизический журнал*. 1996. Т. 18, № 3. С. 52–55.
17. 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 аэронаука*. 2003. Т. 43, № 3. С. 321–331.
18. Guglielmi A. and Pokhotelov O. Nonlinear problems of physics of the geomagnetic pulsations. *Space Sci. Rev.* 1993. Vol. 65, Is 1-2. P. 5–57. DOI: 10.1007/BF00749761
19. Orlyuk M., Romenets A., Sumaruk Yu., and Sumaruk T. Space-temporal structure of the magnetic field in territory of Ukraine. *Геофизический журнал*. 2010. Т. 32, № 4. С. 126–127.

REFERENCES

1. ORLYUK, M. I. and PASHKEVICH, I. K., 1994. Technique and results of the interpretation of the anomalous magnetic field from ground and satellite data. *Dopovidi Akademii Nauk Ukrainy*. No. 4, pp. 120–124 (in Ukrainian).
2. POPRUZHENKO, S., 1982. Odessa Magnetic Anomaly. In: A. KLOSSOVSKIY, ed. *Meteorological Review: collection of scientific papers*. Vol. 3. Odessa: Tip. P. Frantsova Publ. (in Russian).
3. CHULLIAT, A., ALKEN, P., NAIR, M., WOODS, A. and MAUS, S., 2015. *The Enhanced Magnetic Model 2015-2020*. National Centers for Environmental Information, NOAA. DOI: 10.7289/V56971HV
4. ORLYUK, M. I., MARCHENKO, A. V. and IVASHCHENKO, I. N., 2014. Calculating of the Geomagnetic Field Induction Vector Components on the Odessa Magnetic Anomaly Region. *Geodinamika*. vol. 1, is. 16, pp. 96–102 (in Russian).
5. MARCHENKO, A. and ORLIUK, M., 2010. 3D magnetic model of the East European Craton and its effect at near-surface and satellite heights. *Geofizicheskiy Zhurnal*. vol. 32, is. 4, pp. 96–98.
6. ORLYUK, M. I. and ROMENETS, A. A., 2011. The Structure and Dynamics of the Main Magnetic Field of the Earth on its Surface and in the Near Space. *Odessa astronomical publications*. vol. 24, pp. 124–128 (in Russian).
7. SOBITNIAK, L. I., RYABOV, M. I., SUKHAREV, A. L. and PANISHKO, S. K., 2017. Structure of Variability Indexes of Cosmic Weather as Applied to Data Monitoring of Fluxes of Radio Sources at the “Uran-4” Radio Telescope. *Radio Phys. Radio Astron.* vol. 22, is. 4, pp. 294–303 (in Russian). DOI: 10.15407/rpra22.04.294
8. SUMARUK, T. P., 2010. A Program-Technical Complex for Assemblage, Processing, and Storage of Data From Ukrainian Geomagnetic Observatories. *Kosmichna nauka i tekhnologiya. Space Science and Technology*. vol 16, is. 1, pp. 12–16 (in Ukrainian).
9. RIOUL, O. and DUHAMEL, P., 1992. Fast algorithms for discrete and continuous wavelet transform. *IEEE Trans. Inform. Theory*. vol. 38, is. 2, pp. 569–586. DOI: 10.1109/18.119724
10. BUSSOW, R., 2007. An algorithm for the continuous Morlet wavelet transform. *Mech. Syst. Signal Process.* vol. 21, is. 8, pp. 2970–2979. DOI: 10.1016/j.ymssp.2007.06.001
11. JORDAN, D. and MIKSAD, R.W., 1997. Implementation of the continuous wavelet transform for digital time series analysis. *Rev. Sci. Instrum.* vol. 68, is 3, pp. 1484–1494. DOI: 10.1063/1.1147636
12. GE, Z., 2007. Significance tests for the wavelet power and the wavelet power spectrum. *Ann. Geophys.* vol. 25, pp. 2259–2269. DOI: 10.5194/angeo-25-2259-2007
13. SAVITZKY, A. and GOLAY, M. J. E., 1964. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Anal. Chem.* vol. 36, no. 8, pp. 1627–1639. DOI: 10.1021/ac60214a047
14. ORLYUK, M., ROMENETS, A. and ORLIUK, I., 2014. Natural and technogenic components of the magnetic field for Kyiv territory. In: *Proceedings of XIII-th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and applied Aspects*. Kiev, Ukraine, May 12-15, 2014. id. 441. DOI: 10.3997/2214-4609.20140441
15. TROITSKAYA, V. A. and GUGLIELMI, A. V., 1969. Geomagnetic pulsations and diagnostics of the magnetosphere. *Sov. Phys. Usp.* vol. 12, pp. 195–218 DOI: 10.1070/PU1969v012n02ABEH003933
16. MAKSIMCHUK, V. E., ORLYUK, M. I., GORODYSKY, YU. M., KUZNETSOVA, V. G. and CHOBOTOK, I. A., 1996. Short-period variations of the geomagnetic field (AT) in the central Dnieper-Donets Depression. *Geofizicheskiy Zhurnal*. vol. 18, no. 3, pp. 52–55 (in Russian).
17. KLEIMENOVA, N. G., KOZYREVA, O. V. and SCHOTT J. J., 2003. Wave geomagnetic response of the magnetosphere on approach to Earth interplanetary magnetic clouds (14–15 July 2000, “BASTILLE DAY EVENT”). *Geomagnetism and Aeronomy*. vol. 43, no. 3, pp. 321–331 (in Russian).
18. GUGLIELMI, A. and POKHOTILOV, O., 1993. Nonlinear problems of physics of the geomagnetic pulsations. *Space Sci. Rev.* vol. 65, is 1-2, pp. 5–57. DOI: 10.1007/BF00749761
19. ORLYUK, M., ROMENETS, A., SUMARUK, YU. and SUMARUK, T., 2010. Space-temporal structure of the magnetic field in territory of Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*. vol. 32, no. 4, pp. 126–127.

A. L. Sukharev¹, M. I. Orlyuk², M. I. Ryabov¹, and A. A. Romenets²

¹ Observatory “URAN-4”, Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 37, Pushkinska St., Odesa, 65011, Ukraine

² S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 32, Akad. Palladin Av., Kyiv, 02000, Ukraine

ON THE FIRST RESULTS OF MEASUREMENTS OF GEOMAGNETIC SHORT-PERIOD FIELD VARIATIONS IN THE ODESA MAGNETIC ANOMALY ZONE WITH A SECOND-LONG RESOLUTION

Purpose: Since November 2017 till April 2018, the variation of geomagnetic field component was monitored at the Astronomical Observatory of the I. I. Mechnikov Odesa National University with the aim of investigating the mid-latitude geomagnetic pulsations in the central region of the Odesa magnetic anomaly.

Design/methodology/approach: The measurements were made by using the precision LEMI-008 flux-gate magnetometer with a sample rate of 1 Hz. The data obtained were processed daily by using the method of continuous wavelet analysis, as well as band-pass filtering based on it, in order to separate individual frequency bands containing quasi-harmonic pulsations.

Findings: The results of observations of the northern B_x - component of the geomagnetic field induction vector during the geomagnetic disturbances, storms and under quiet conditions were analyzed by using the method of continuous wavelet analysis. The presence of predominant quasiperiods of fast pulsations of $\approx 9-30$ min observed during the day with decreasing periods and their duration of appearance in the data during magne-

tic storms is noted. Also, during the storms, there is usually an increase in the proportion of irregular and short-term pulsations in observational data. Due to the presence of technogenic urban noise in records, the results are compared with the reference monitoring of geomagnetic variations at the "Odesa" geomagnetic observatory located in the Stepanivka village, Odesa region. It is shown that technogenic city noise at the magnetometer location is most evident on sections of wavelet spectra from the periods of 5 minutes or less.

Conclusions: The data of a long-term monitoring of the geomagnetic field variation component in the most interesting central part of the Odesa magnetic anomaly were obtained, where earlier such studies were never carried out. An idea is given of the main spectra of geomagnetic pulsations and their comparison in magnetically quiet days and days of magnetic storms.

Key words: geomagnetic variations, solar-terrestrial connections, magnetic anomaly, magnetometer, geomagnetic pulsations

A. Л. Сухарев¹, М. І. Орлюк², М. І. Рябов¹, А. О. Роменець²

¹Обсерваторія "УРАН-4", Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Пушкінська, 37, м. Одеса, 65011, Україна

²Інститут геофізики ім. С. І. Суботіна НАН України, пр-т Академіка Палладіна, 32, м. Київ, 02000, Україна

ПРО ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИМІРЮВАНЬ КОРОТКО-ПЕРІОДНИХ ВАРІАЦІЙ ГЕОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ЗОНІ ОДЕСЬКОЇ МАГНІТНОЇ АНОМАЛІЇ З СЕКУНДНОЮ РОЗДІЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ

Предмет та мета роботи: З листопада 2017 р. по квітень 2018 р. в Астрономічній обсерваторії Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова виконано моніторинг варіаційної складової геомагнітного поля з метою дослідження середньоширотних геомагнітних

пульсацій в центральній частині Одеської магнітної регіональної аномалії.

Методи і методологія: Вимірювання виконувалися з використанням прецизійного ферозондового магнітометра LEMI-008 з частотою дискретизації 1 Гц. Отримані дані оброблялися щодобово з використанням методу безперервного вейвлет-аналізу, а також смугової фільтрації на його основі для виділення окремих частотних смуг, що містять квазігармонійні пульсації.

Результати: Виконано аналіз результатів спостережень північної B_x -компоненти вектора індукції геомагнітного поля під час геомагнітних збурень, бур та в спокійних умовах з використанням методу безперервного вейвлет-аналізу. Відзначається наявність переважаючих квазіперіодів швидких пульсацій $\approx 9 \div 30$ хв впродовж доби зі зменшенням значення періодів і їх тривалості появи в даних під час магнітних бур, а також під час бур зазвичай відзначається збільшення частки нерегулярних і короточасних пульсацій в даних спостережень. У зв'язку з наявністю в записах техногенного миського шуму виконано порівняння результатів з еталонним моніторингом геомагнітних варіацій в магнітній обсерваторії "Одеса", розташованій в с. Степанівка Одеської області. Показано, що техногенний шум міста в місці розташування магнітометра найпомітніше проявляється на ділянках вейвлет-спектрів від періодів 5 хв і менше.

Висновок: Отримано дані тривалого моніторингу варіаційної складової геомагнітного поля в найцікавішій центральній частині Одеської магнітної аномалії, де раніше подібні дослідження не виконувалися. Надається уявлення про основні спектри геомагнітних пульсацій та їх порівняння в магнітно-спокійні дні та дні магнітних бур.

Ключові слова: геомагнітні варіації, сонячно-земні зв'язки, магнітна аномалія, магнітометр, геомагнітні пульсації

Статья поступила в редакцию 17.05.2018