УДК 537.86 DOI: 10.62955/0135-3748-2024-136

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ШУМАНОВСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛИН ВОЛН

А.А. Долинин[1,2], Ф.Г. Сарафанов[1,2], Ю.В. Шлюгаев[1,2]

[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова
Российской академии наук»,
Нижний Новгород, Россия, a.dolinin@ipfran.ru
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»,
Нижний Новгород, Россия

MEASUREMENT OF THE MAGNETIC FIELD OF THE SCHUMANN WAVELENGTH RANGE

A.A. Dolinin[1,2], F.G. Sarafanov[1,2], Yu.V. Shlyugaev[1,2]

[1]Federal Research Center A.V. Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences,
Nizhny Novgorod, Russia, a.dolinin@ipfran.ru
[2]National Research Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

Аннотация. Шумановские резонансы – это собственные моды электромагнитных колебаний резонатора Земля-ионосфера, источником возбуждения которых являются природные электромагнитные явления — молнии. Измерение шумановских резонансов представляет собой сложную задачу, в связи низкими амплитудами и частотами регистрируемых полей. Разработанная авторами система непрерывного мониторинга магнитного поля позволяет проводить регистрацию натурных данных. В рамках работы проведены измерения геомагнитного поля, проведен спектральный анализ полученных данных. Исследование суточной вариации геомагнитного поля показало влияние антропогенного фактора на амплитуду и частоту резонансов Шумана. Исследованы основные характеристики первых двух гармоник шумановских резонансов. Выявлены характерные закономерности суточного хода шумановских резонансов.

Ключевые слова: резонансы Шумана, геомагнитное поле

Abstract. Schumann resonances are the proper modes of electromagnetic oscillations of the Earth–ionosphere resonator, the source of excitation of which is lightning, a natural electromagnetic phenomenon. Measuring Schumann resonances is a difficult task due to the low amplitudes and frequencies of the recorded fields. The system of continuous monitoring of the magnetic field developed by the authors makes it possible to register field data. As part of the work, measurements of the geomagnetic field were carried out, and spectral analysis of the obtained data was carried out. A study of the diurnal variation in the geomagnetic field has shown the influence of an anthropogenic factor on the amplitude and frequency of Schumann resonances. The main characteristics of the first two harmonics of Schumann resonances are investigated. The characteristic patterns of the daily course of Schumann resonances are revealed.

Keywords: Schumann resonances, geomagnetic field

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время существенно выросло внимание к естественному электромагнитному окружению Земли и, в частности, его возможным связям с изменчивостью климата и эволюцией биосистем [Williams, 1992]. Одним из наиболее важных проявлений электромагнитного окружения являются т.н. шумановские резонансы [Schumann, 1952]: собственные моды резонатора «Земля–ионосфера», возбуждаемые природными электрическими явлениями — молниями [Bozóki, 2023]. Понимание связей шумановских резонансов с крупномасштабными процессами, происходящими в атмосфере, позволит получить независимую оценку климатических изменений на Земле, что дает возможность прогнозировать климатические условия как на Земле, так и на других планетах [Nickolaenko, 2014]. Для решения данных задач, помимо моделирования из первых принципов, необходимо создавать, развивать и совершенствовать непрерывный мониторинг различных параметров шумановских резонансов.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для проведения высокочувствительных измерений требуется низкий уровень постоянных шумов в крайне-низкочастотном диапазоне (от 3 до 30 Гц), связано это с очень низким уровнем мощности глобального электромагнитного окружения по сравнению с мощностью на промышленных частотах. Данная проблема широко распространена в любых видах измерений электрических и магнитных полей. Для непрерывных долговременных измерений была разработана схема бесперебойного малошумящего аккумуляторного питания. Для проведения эксперимента выбраны модифицированные датчики IMS-007 с установленным в них режекторным фильтром на 50 Гц. Регистрация аналоговых данных, поступающих с этих измерителей, предполагает применение высококачественных аналого-цифровых преобразователей (АЦП) разрядностью не менее 24 бит. Также частота дискретизации должна превышать необходимую (по критерию Найквиста) частоту для возможности дальнейшей цифровой обработки. В нашем случае была выбрана интегрированная система сбора данных (логгер) EDR 209 фирмы EarthData, предназначенная для автономной работы в полевых условиях. Для обеспечения автономности измерений реализован алгоритм автоматической выгрузки данных наблюдений из пункта регистрации на сервер, а также алгоритм отслеживания состояния системы (напряжение сети, логгера, зарядки аккумуляторов). Общая схема всей системы представлена на рис. 1.

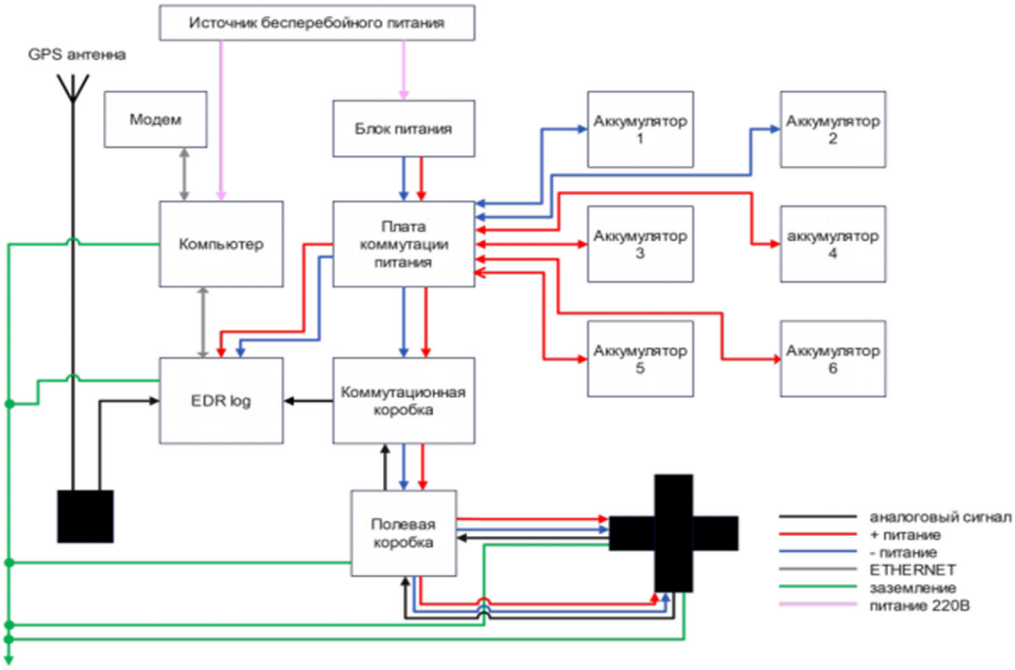

Рис. 1. Принципиальная схема подключения оборудования в пункте наблюдения

Отдельную проблему представляет расположение измерительной аппаратуры в связи с существенным уровнем электромагнитных помех антропогенного происхождения. Поэтому станции измерения и мониторинга размещают вдали от промышленных зон, населенных пунктов, транспортных магистралей и линий электропередач.

Для регистрации сигналов в электромагнитном фоне диапазона крайне низких частот (КНЧ) были выбраны позиции расположения магнетометров по минимальному уровню помех на гармониках промышленной частоты (50 Гц) в поле у деревни Дроздово Городецкого района Нижегородской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Проведен анализ суточных данных для первого и второго шумановского резонанса, получены суточные вариации амплитуды и частоты (рис. 2). На рис. 2а), 2в) показаны суточные вариации частоты первых двух шумановских резонансов. Частоты обоих резонансов достигают максимума в 11 ч по UTC. На рис. 2б), 2г) показан суточный ход амплитуды шумановских резонансов. Отчетливо видно два максимума амплитуды для обоих резонансов. Эти максимумы достигаются в 6 и в 14 ч UTC. Интересно заметить, что в это же время достигается максимум молниевой активности в двух крупнейших грозовых центрах Австралия и Африка.

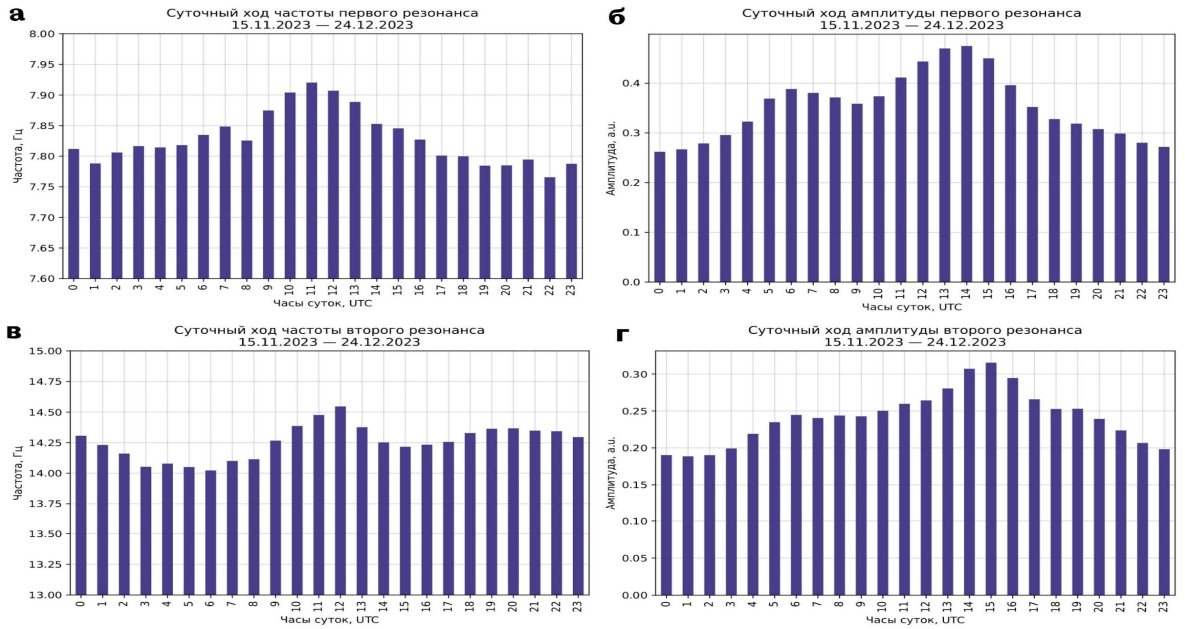

Рис. 2. Суточные вариации основных характеристик шумановских резонансов: а) частоты первого резонанса; б) амплитуды первого резонанса; в) частоты второго резонанса; г) амплитуды второго резонанса

Частотный спектр: Построен частотный спектр геомагнитного поля в полосе частот от 5×10^{-5} до 38 Гц, нормированный на амплитуду первого резонанса Шумана, с часовыми интервалами. Результаты показывают выраженные резонансы Шумана на частотах 7.83 Гц, 14.1 Гц, 20.4 Гц и 26.3 Гц, а также слабо выраженный пятый резонанс Шумана на частоте 32.4 Гц (рис. 3).

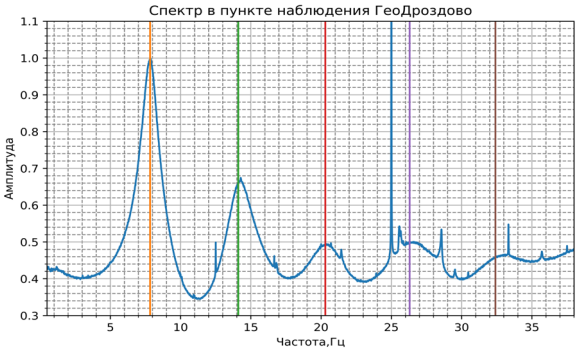

Рис. 3. Частотный спектр геомагнитного поля

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты свидетельствуют о высокой чувствительности использованной аппаратуры, что позволяет регистрировать глобальные шумановские резонансы с 1-го по 5-й порядок, а также анализировать характеристики резонансной кривой. Созданная в рамках данной работы система непрерывного мониторинга позволяет делать долгосрочные измерения, способствующие исследованию месячных, полугодовых и годовых вариаций шумановских резонансов, а также изучению влияния антропогенных факторов на суточную вариацию амплитуды и частоты шумановских резонансов.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания ННГУ (проект 0729-20220-0037).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Bozóki T., Sátori G., Williams E. et al. Day-to-day quantification of changes in global lightning activity based on Schumann resonances // J. Geophys. Res. Atmos. 2023. V. 128, N. 11. e2023JD038557.

Nickolaenko A., Hayakawa M. Schumann Resonance for Tyros // Springer Geophysics. Tokyo: Springer, 2014. 348 p.

Schumann W.O. Über die strahlungslosen Eigenschwingungen einer leitenden Kugel, die von einer Luftschicht und einer Ionosphärenhülle umgeben ist // Zeitschrift für Naturforschung A. 1952. V. 7, N 2. P. 149–154.

Williams E.R. The Schumann resonance: a global tropical thermometer // Science. 1992. V. 256. P. 1184–1187.