


УДК: 550.38

 10.70769/3030-3214.SRT.4.1.2026.39

## СРЕДНЕСУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЯНГИБАЗАРСКОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ НАУЧНО- ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В ПЕРИОДЫ СИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ БУРЬ



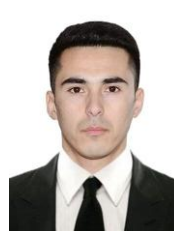
**Эгамбердиев Сайдигани**

Институт сейсмологии  
Академии наук Республики  
Узбекистан, Ташкент,  
Узбекистан



**Хусомиддинов Ахрор**

Институт сейсмологии  
Академии наук Республики  
Узбекистан, Ташкент,  
Узбекистан



**Рузимбоев Фаррух**

Институт сейсмологии  
Академии наук Республики  
Узбекистан, Ташкент,  
Узбекистан



**Жураев Элёр**

Институт сейсмологии  
Академии наук Республики  
Узбекистан, Ташкент,  
Узбекистан

**Аннотация.** В данной статье проанализированы среднесуточные вариации магнитного поля Земли, зарегистрированные в Янгибазарской геофизической научно-исследовательской обсерватории в периоды возникновения сильных магнитных бурь ( $K_p \geq 7$ ,  $Dst \leq -100$  нТ). В ходе исследования изучены суточная динамика, амплитудные изменения и фазовые смещения основных компонентов магнитного поля —  $H$ ,  $D$  и  $Z$ . Полученные результаты показали, что во время сильных магнитных бурь суточные магнитные вариации существенно возрастают по сравнению с фоновыми значениями и претерпевают структурные изменения. Результаты исследования имеют важное значение для прогнозирования и оценки возможных землетрясений, а также для совершенствования регионального геофизического мониторинга.

**Ключевые слова:** сильные магнитные бури, магнитное поле Земли, суточные вариации, геомагнитная активность, Янгибазарская обсерватория.

## KUCHLI MAGNIT BO‘RONLARI DAVRIDA YANGIBOZOR GEOFIZIK ILMIY-TADQIQOT OBSERVATORIYASIDA MAGNIT MAYDONNING SUTKALIK O‘ZGARISHLARI

**Egamberdiyev Saidigani**

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar  
akademiyasi Seysmologiya instituti,  
Toshkent, O‘zbekiston

**Husomiddinov Ahror**

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar  
akademiyasi Seysmologiya instituti,  
Toshkent, O‘zbekiston

**Ruzimboev Farrux**

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar  
akademiyasi Seysmologiya instituti,  
Toshkent, O‘zbekiston

**Jo‘rayev Elyor**

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar  
akademiyasi Seysmologiya instituti,  
Toshkent, O‘zbekiston

**Аннотация.** Ushbu maqolada kuchli magnit bo‘ronlari ( $K_p \geq 7$ ,  $Dst \leq -100$  нТ) davrida Yangibazar geofizik ilmiy-tadqiqot observatoriyasida qayd etilgan Yer magnit maydonining o‘rtacha sutkalik variatsiyalari tahlil qilingan. Tadqiqot jarayonida magnit maydonining asosiy komponentlari —  $H$ ,  $D$  va  $Z$  bo‘yicha sutkalik dinamika, amplitudaviy o‘zgarishlar hamda fazaviy siljishlar o‘rganildi. Olingan natijalar kuchli magnit bo‘ronlari vaqtida sutkalik magnit variatsiyalari fon qiymatlariga nisbatan sezilarli darajada ortishini va ularning strukturasi o‘zgarishlar yuz berishini ko‘rsatdi. Tadqiqot natijalari ehtimoliy zilzilalarni prognoz qilish va baholash, shuningdek, mintaqaviy geofizik monitoring tizimlarini takomillashtirishda muhim ahamiyatga ega.

*Kalit soʻzlar:* kuchli magnit boʻronlari, Yer magnit maydoni, sutkalik variatsiyalar, geomagnit faollik, Yangibazar observatoriyasi.

## DIURNAL VARIATIONS OF THE MAGNETIC FIELD AT THE YANGIBAZAR GEOPHYSICAL RESEARCH OBSERVATORY DURING PERIODS OF STRONG MAGNETIC STORMS

**Egamberdiyev Saidigani**

*Institute of Seismology, Academy of  
Sciences of the Republic of  
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

**Khusomiddinov Ahror**

*Institute of Seismology, Academy of  
Sciences of the Republic of  
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

**Ruzimboev Farrukh**

*Institute of Seismology, Academy of  
Sciences of the Republic of  
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

**Jurayev Elyor**

*Institute of Seismology, Academy of  
Sciences of the Republic of  
Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

**Abstract.** *This paper analyzes the mean daily variations of the Earth's magnetic field recorded at the Yangibazar Geophysical Research Observatory during periods of strong magnetic storms ( $K_p \geq 7$ ,  $Dst \leq -100$  nT). The study examines the diurnal dynamics, amplitude variations, and phase shifts of the main magnetic field components—H, D, and Z. The obtained results show that during strong magnetic storms, daily magnetic variations significantly increase compared to background levels and undergo notable structural changes. The findings are of great importance for the assessment and possible forecasting of earthquakes, as well as for improving regional geophysical monitoring systems.*

**Keywords:** *strong magnetic storms, Earth's magnetic field, daily variations, geomagnetic activity, Yangibazar Observatory.*

**Введение.** Сильные магнитные бури, возникающие в результате повышения солнечной активности, инициируют крупномасштабные физические процессы в магнитосфере, ионосфере и атмосфере Земли. Эти процессы проявляются в виде резких изменений магнитного поля Земли — усиления магнитных вариаций, фазовых смещений и изменения спектрального состава [1].

Сильные магнитные бури могут оказывать влияние не только на космические технологии, но и на геофизические процессы, протекающие в недрах Земли. В связи с этим изучение вариаций магнитного поля Земли в периоды магнитных бурь на региональном уровне представляет собой значительный научный интерес [2].

Янгибазарская геофизическая научно-исследовательская обсерватория является одним из важных научных центров на территории Узбекистана, осуществляющих непрерывную регистрацию магнитного поля Земли. Основной целью данной работы является выявление особенностей среднесуточных вариаций магнитного поля в периоды сильных магнитных бурь на основе данных Янгибазарской обсерватории.

Солнечно-суточные вариации имеют продолжительность, равную одним суткам, и обусловлены суточным вращением Земли вокруг своей оси. Вариации, периодичность которых равна одному календарному году, называются годовыми вариациями и связаны с обращением Земли вокруг Солнца. В результате ионизации земной атмосферы ультрафиолетовым излучением Солнца в атмосфере формируется слой с относительно высокой электрической проводимостью. Движение атмосферы приводит к определённому перемещению этого слоя в постоянном магнитном поле Земли, в результате чего возникают суточные вариации. Солнечно- и лунно-суточные вариации объясняются аналогичным образом. В первом случае такие движения обусловлены гравитационным воздействием Солнца, во втором — притяжением Луны. Ниже рассматриваются изменения полного вектора магнитного поля Земли в течение 2023 года. Представленные данные основаны на результатах непрерывных наблюдений, проводившихся в течение года в Янгибазарской обсерватории [6].

**Материалы и методы.** В исследовании использованы данные высокоточного трёх-

компонентного флюксгейт-магнитометра, установленного в Янгибазарской геофизической обсерватории. Прибор осуществляет регистрацию компонентов магнитного поля Земли  $H$  (горизонтальная),  $D$  (деклинация) и  $Z$  (вертикальная) с дискретизацией 1 минута.



**Рис.1. Магнитные измерения Янгибазарской геофизической научно-исследовательской обсерватории.**

Сильные магнитные бури были отобраны на основе международных геомагнитных индексов  $K_p$  и  $Dst$ . Для анализа были отдельно выделены фазы начала, главная фаза и фаза восстановления магнитных бурь, для каждой из которых рассчитаны среднесуточные значения [5].

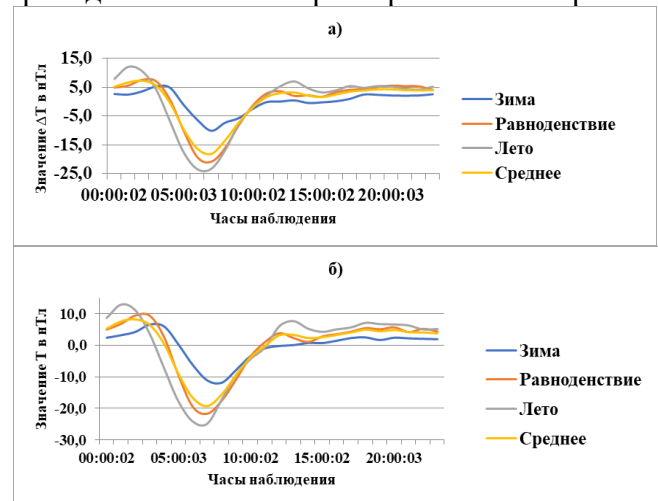
К данным были применены следующие методы обработки:

- расчёт среднесуточных значений;
- сравнение с фоновыми (спокойными) периодами;
- амплитудный и статистический анализ;
- оценка фазовых характеристик суточных вариаций.

**Результаты.** Результаты анализа показали, что в периоды сильных магнитных бурь суточные вариации магнитного поля Земли существенно возрастают по сравнению с фоновыми значениями. В частности, для компоненты  $H$  в ряде случаев наблюдалось увеличение амплитуды в 2–4 раза.

Для компоненты  $D$  было зафиксировано смещение времени суточных максимумов и минимумов, что указывает на перераспределение ионосферных токовых систем. Для компоненты  $Z$ , несмотря на сравнительно меньшую выраженность изменений, в главной фазе магнитной бури отчётливо проявились вертикальные возрастания.

Ниже рассмотрим изменения полного вектора магнитного поля Земли в течение 2023–2024 годов. Эти данные основаны на результатах непрерывных наблюдений, проводившихся в обсерватории Янгибазар.



**Рис.2. Суточный ход полной силы  $T$  по всем дням (а) 2023 и (б) 2024 годов.**

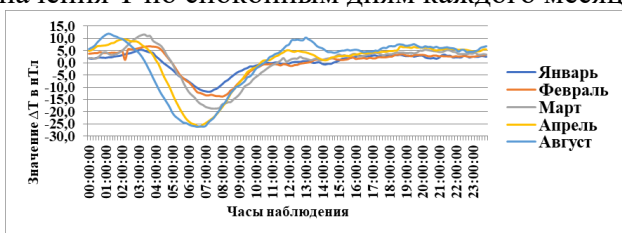
В предыдущие сезоны значения составляли  $-17,4$  нТл в 2023 году и  $-18,6$  нТл в 2024 году. Как видно, минимумы, зафиксированные в 2024 году, значительно глубже по сравнению с предыдущим годом. Следует отметить, что практически во все месяцы 2023–2024 годов наблюдались магнитные бури, существенно влияющие на состояние магнитного поля (рисунок 2).

Солнечно-суточные вариации принято подразделять на две группы: спокойные ( $Sq$ ) и возмущённые ( $Sd$ ). Спокойные вариации представляют собой изменения элементов геомагнитного поля с периодом, равным продолжительности солнечных суток, и обусловлены вращением Земли вокруг своей оси. Их источником является ультрафиолетовое излучение Солнца, вызывающее ионизацию верхних слоёв атмосферы, обладающих повышенной электропроводностью. Основной механизм формирования таких вариаций связан с генерацией токов в  $E$ -слое ионосферы вследствие динамо-эффекта.

Наблюдения показывают, что  $Sq$ -вариации не являются постоянными: их суточный ход изменяется от дня ко дню в определённых пределах. Амплитуда вариаций в северном

полушарии возрастает от зимних месяцев, когда склонение Солнца минимально ( $-23,5^\circ$ ), к летним, когда оно достигает максимального значения ( $+23,5^\circ$ ).

На рисунке 3 представлен суточный ход полного вектора  $T$  в относительно магнитоспокойные дни. Информация о спокойных и возмущённых днях получена с сайта <https://wds.kugi.kyoto-u.ac.jp/qddays> [7], где для каждого месяца приводятся 10 спокойных и 5 возмущённых дней. Для построения графика использованы средние значения  $T$  по спокойным дням каждого месяца.



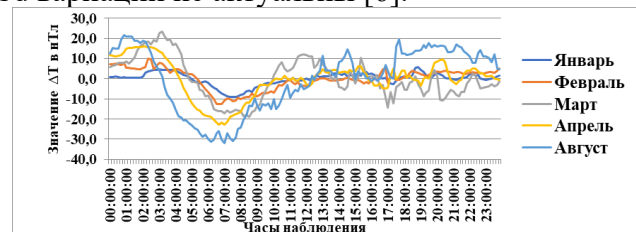
**Рис.3. Суточный ход полного вектора  $T$  в спокойные дни.**

Как видно из рисунка, на графиках отмечаются один резкий минимум и по два максимума. Время минимальных значений апреля и августа месяцев практически совпадают – в 06:30 часов по Гринвичу. В марте минимум со значением 18,8 нТл отмечается в 07:30, в феврале в 08:00 – 13,8 нТл, в январе в 07:10 – 11,7 нТл и все значения минимумов имеют отрицательный знак. Максимумы также отмечаются в разное время: в январе – в 03:20 и, в феврале – в 03:40, в марте – 03:00, в апреле – 02:00 и в августе – 01:10 часов. Вторые максимумы четко отмечены в апреле и августе – 12:00 и 13:00 часов соответственно, у остальных четко выраженных максимумом отсутствуют (рисунок 3.).

Суточный ход полного вектора магнитного поля Земли меняется в течение года и резко отличается друг от друга. Эти изменения можно рассматривать как удовлетворительное состояние перехода к двум характерным временам года — лету и зиме. Влияние солнечной активности на суточный ход также меняется в зависимости от сезона. При больших суточных вариациях в летние месяцы этот эффект проявляется в увеличении амплитуды суточных вариаций с увеличением солнечной

активности. Зимой, когда амплитуда суточного хода обычно очень мала, изменение формы суточного хода имеет еще большее значение.

Способ определения  $S_q$  вариаций может быть применен и для вычисления возмущенных солнечно-суточных вариаций. Если  $S_q$  вариации определяют путем обработки наблюдений по 5 спокойным дням каждого месяца, то осреднение вариаций по 5 бурным дням дает  $S_d$  вариацию. Очевидно, что  $S_d$  вариация представляет собой некий усредненный образ суперпозиции многих источников возмущений, поэтому в современной физике магнитосферы исследования  $S_d$  вариаций не актуальны [6].



**Рис.4. Суточный ход полного вектора  $T$  в магнитовозмущенные дни.**

На рисунке 4. представлены графики поведения  $T$ , которые построены по результатам наблюдений  $T$  по 5 возмущенным дням каждого месяца. Как видно, здесь каждый график имеет свою особенность, нет четкого минимума, который отмечается в 07-08 часов утра и максимумов в утренние и вечерние часы.

Как уже говорилось выше, изменение среднегодовых значений той или иной компоненты геомагнитного поля за один год называется вековым изменением геомагнитного поля. Величины годового изменения неодинаковы для разных мест земной поверхности, они являются общим результатом ряда физических процессов, которые меняются от периода к периоду и не остаются постоянными.

На рисунке 5 показано изменение полного вектора в 2023 -2024 годах которое, демонстрирует постоянный рост значений  $T$ . Кроме того, на графике отмечены некоторые максимумы и минимумы, связанные с вариациями полного вектора. Самые значительные минимумы с разной глубиной: 15.01.2023 г. (53579 нТл), 27.02.2023 г. (53567,1 нТл), 24.03.2023 г. (53569,4 нТл), 24.04.2023 г. (53571,2 нТл), 24.03.2024 г. (53642,1 нТл),

11.05.2024 г. (53607,7), 12.08.2024 г. (53649,6), 11.10.2024 г. (53639 нТл) и др. При этом отмечаются и небольшие максимумы: 17.01.2023 г. -53594,0 нТл, 19.05.2023 г. - 53621,3 нТл, 18.03.2024 г. – 53666,2 нТл, 12.08.2024 г.-53649,6,0 нТл и др. (рисунок 5).



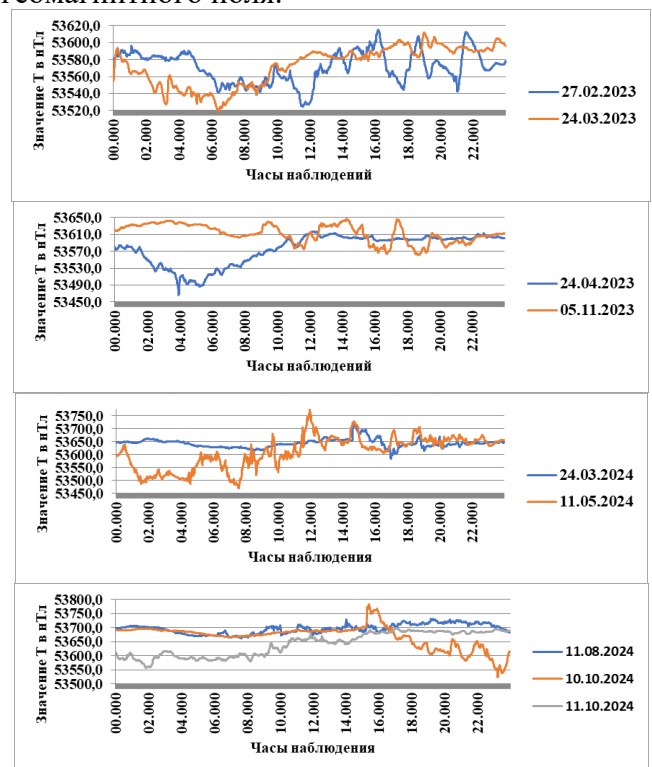
**Рис.5. Изменение значений полной силы геомагнитного поля в 2023 – 2024 годах.**

Магнитные бури разной интенсивности наблюдались в те дни, когда были зафиксированы минимальные значения полного вектора магнитного поля. Например, 15.01.2023 г. оно было сильным (5 баллов), 24.02.2023 г. — 3 балла, 24.03.2023 г.— слабый всплеск поля, 21–24 апреля 2023 года — 6 баллов, 1–6 сентября 2023 года— была сильной (6 баллов), 2 декабря — 4 балла, 05.11.2023 г., 24.03.2024 г.- 5 баллов, 10-11 мая была зафиксирован самая сильная 9-балльная магнитная буря, 12.08.2024 года степень возмущенности магнитного поля Земли достигала уровня 4-5 баллов (G4).

На рис. 6 представлены суточный ход полного вектора магнитного поля в дни, когда происходили сильные магнитные бури. Как видно из рисунка, во всех случаях кривые изменения различны и напоминают магнитные бухты с положительного и отрицательного знаков. Как пример, рассмотрим некоторые из них, отрицательные бухты зафиксированы: 24.04.2023г. в 15:30 часов по Гринвичу с амплитудой -78,2 нТл, 27.02.2023 г.в 11:40 часов -44,6 нТл, 23.03.2023 г. в 23:50 часов - с амплитудой -41,2 нТл, 5.11.2023 г. в 18:40 часов с амплитудой -50,9 нТл. 24.03.2024 г. в 16:54 с амплитудой -59,2 нТл, 11.05.2024 г. в 07:36 с амплитудой -140,6 нТл и др. Положительные бухты зафиксированы 27.02.2024 г.в 16:10 часов с амплитудой 49,7 нТл, 23.03.2024 г. марта в 18:50 часов с амплитудой 48,9 нТл, 24.04.2023 г. в 12:00 часов с амплитудой 40,8 нТл и 5.11.2024 г. в 16:50 часов с амплитудой 42,7 нТл, 24.03.2024 г. в 14:30 с амплитудой 84,4 нТл,

11.05.2024 г. в 11:58 с амплитудой 164,9 нТл и др. (рисунок 6).

Выше мы рассмотрели графики суточного хода лишь некоторых возмущенных дней, где были зафиксированы магнитные бури разной степени. На самом деле, в течение 2023 -2024 годов (эти годы являются "пиковыми" 25 цикла солнечной 11 летней активности) наблюдались достаточно много сильных возмущений геомагнитного поля.



**Рис.6. Изменения полного вектора T во время сильных магнитных бур.**

**Обсуждение.** Полученные результаты согласуются с современными геомагнитными исследованиями и показывают, что усиление суточных магнитных вариаций в периоды сильных магнитных бурь в основном обусловлено активизацией магнитосферно-ионосферных токовых систем [3].

Данные Янгйбазарской обсерватории позволяют выявлять геомагнитные реакции, характерные для региона Центральной Азии. Анализ среднесуточных значений выявил статистически значимые отклонения параметров магнитного поля в периоды магнитных бурь. Это, в свою очередь, может служить основой для изучения отдельных геофизических

процессов, протекающих в недрах Земли под воздействием сильных магнитных бурь, включая микросейсмический фон и электромагнитные аномалии.

В периоды сильных магнитных бурь изучение среднесуточных вариаций магнитного поля, регистрируемых в Янгибазарской геофизической научно-исследовательской обсерватории, имеет важное значение с точки зрения выявления региональных особенностей геомагнитной среды. Использование среднесуточных значений позволяет снизить влияние кратковременных случайных колебаний и высокочастотных шумов, а также выявить устойчивые тенденции, формирующиеся под воздействием магнитных бурь. Это, в свою очередь, обеспечивает более точную и надёжную оценку общего геомагнитного отклика, обусловленного активизацией магнитосферно-ионосферных токовых систем.

Кроме того, такой подход служит важной научной основой для изучения взаимосвязей между геомагнитными изменениями и отдельными геофизическими процессами, протекающими в недрах Земли. В частности, анализ среднесуточных магнитных вариаций имеет существенное значение в исследованиях, связанных с микросейсмическим фоном, электромагнитными аномалиями и возможными предвестниками сейсмической активности. Подобные исследования способствуют совершенствованию региональных систем геофизического мониторинга и расширяют возможности предварительной оценки природных опасностей.

**Заключение.** Проведённые исследования на основе данных Янгибазарской геофизической научно-исследовательской обсерватории предоставили убедительные доказательства того, что в периоды сильных магнитных бурь в среднесуточных вариациях магнитного поля Земли происходят существенные изменения. Результаты анализа показали, что во время магнитных бурь по основным компонентам геомагнитного поля —  $H$ ,  $D$  и  $Z$  — наблюдаются

амплитудные возрастания, фазовые смещения, а также изменения формы суточного хода. Особенно выраженное увеличение амплитуды вариаций компоненты  $H$ , достигающее нескольких раз, является наглядным проявлением воздействия сильных магнитных бурь на геомагнитную среду.

Использование среднесуточных значений позволило снизить влияние кратковременных случайных колебаний и высокочастотных шумов, а также выявить устойчивые геомагнитные тенденции, формирующиеся под воздействием магнитных бурь. Это обеспечило более точную и надёжную оценку общего геомагнитного отклика, обусловленного активизацией магнитосферно-ионосферных токовых систем. Полученные результаты согласуются с современными геомагнитными исследованиями и вносят вклад в понимание механизмов регионального воздействия магнитных бурь [4].

Вместе с тем установлено, что данные Янгибазарской обсерватории позволяют выявлять геомагнитные реакции, характерные для региона Центральной Азии. Это обстоятельство создаёт важную научную основу для изучения взаимосвязей между геомагнитными изменениями и отдельными геофизическими процессами, протекающими в недрах Земли, включая микросейсмический фон, электромагнитные аномалии и возможные предвестники сейсмической активности.

В целом, комплексный анализ среднесуточных вариаций магнитного поля в периоды сильных магнитных бурь имеет существенное значение для совершенствования региональных систем геофизического мониторинга, оценки геомагнитных рисков и расширения возможностей предварительного прогнозирования природных опасностей. Полученные результаты могут служить научной основой для дальнейшей интеграции геомагнитных и сейсмогеофизических исследований, а также для создания комплексных систем наблюдений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Love, J. J. (2019). Magnetic storms and geomagnetic variability. *Space Science Reviews*.

- [2] Pulkkinen, A. (2020). Space weather impacts on ground-based systems. *Space Weather*.
- [3] Tsurutani, B. T., & Gonzalez, W. D. (2021). The physics of geomagnetic storms. *Journal of Geophysical Research*.
- [4] Campuzano, S. A., et al. (2022). Daily geomagnetic variations during intense storm periods. *Advances in Space Research*.
- [5] Karpenman, J. G. (2023). Geomagnetic storms and induced currents. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
- [6] Егамбердиев С. А., Юсупов В. Р., Хусомиддинов С. С., Азимов А. М., Нуриддинов Н. Р. (2024). Особенности проявления вариаций геомагнитного поля в Янгибазарской обсерватории. *Проблемы сейсмологии*, 6(2), 29–36.
- [7] Геофизический центр Киото (Япония). База данных спокойных и возмущённых дней. URL: <https://wds.kugi.kyoto-u.ac.jp/qddays>