УДК 004.62:550.388.2
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-411
ORCID: 0009-0003-0277-4755

СИСТЕМА ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Буряк Н.В.[1, 2], Вилутис А.Р.[1, 2], Носиков И.А.[2]

[1]Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта,
Калининград, Россия,
bnikolay2005@gmail.com
[2]Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн,
Калининград им Н.В. Пушкова Российской академии наук, Россия

GEOPHYSICAL MONITORING SYSTEM BASED ON OBSERVATIONS AT THE KALININGRAD OBSERVATORY

Buryak N. V.[1, 2], Vilutis A. R [1, 2], Nosikov I. A.[2]

[1]Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia, bnikolay2005@gmail.com
[2]West Department of Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation RAS,
Kaliningrad, Russia

Аннотация. В работе представлено описание разработанной автоматизированной системы реального времени для непрерывного ионосферного и геофизического мониторинга на базе Калининградской обсерватории КФ ИЗМИРАН. Рассматривается архитектура программно-аппаратного комплекса, включающая подсистемы автоматического сбора разнородных научных данных, многопоточной оптимизированной обработки тяжелых астрономических изображений, распределенного логирования на базе брокера сообщений RabbitMQ, а также инструменты веб-визуализации геофизических параметров. Разработанная система решает проблему удаленности обсерватории и обеспечивает сотрудников института оперативным доступом к экспериментальным данным в режиме реального времени.

Ключевые слова: ионосферный мониторинг, автоматизация сбора данных, RabbitMQ, КФ ИЗМИРАН, камера всего неба, визуализация данных.

Abstract. This paper describes the developed automated real-time system for continuous ionospheric and geophysical monitoring at the Kaliningrad Observatory of WB IZMIRAN. The architecture of the software and hardware complex is considered, including subsystems for automatic collection of heterogeneous scientific data, multi-threaded optimized processing of heavy astronomical images, distributed logging based on the RabbitMQ message broker, and tools for web visualization of geophysical parameters. The developed system solves the problem of the remote location of the observatory and provides the institute staff with prompt access to experimental data in real time.

Keywords: ionospheric monitoring, data collection automation, RabbitMQ, WD IZMIRAN, all-sky camera, data visualization.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение непрерывного мониторинга состояния околоземного космического пространства и ионосферы является важнейшей научно-практической задачей для прогнозирования условий распространения радиоволн и стабильного функционирования радиотехнических систем. Калининградская магнитная обсерватория КФ ИЗМИРАН осуществляет регулярные наблюдения с использованием комплекса научного оборудования [Борчевкина и др., 2020]. Данные обсерватории используются при анализе геомагнитных бурь [Chernyshov et al., 2025]

Однако географическая удаленность обсерватории от основного здания института (около 26 км) создает значительные сложности при получении экспериментального материала и оперативном контроле работоспособности измерительных приборов. Ранее сбор данных выполнялся непосредственно на физические носители с выездом сотрудников на место, а оповещение о технических сбоях (авариях, зависаниях ПО или отключениях электроэнергии) происходило со значительным опозданием.

Для устранения указанных недостатков была разработана и внедрена автоматизированная распределенная система сбора, каталогизации, обработки и визуализации данных геофизического мониторинга в режиме реального времени.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ И ОПОВЕЩЕНИЯ

На начальном этапе модернизации была реализована служба автоматического оповещения о критических сбоях. На локальных ЭВМ обсерватории развернуты специализированные скрипты, осуществляющие циклический опрос (с интервалом 5 с) сетевой доступности приборов и мониторинг параметров электропитания. Интеграция разработанных программ с API мессенджера Telegram позволила организовать оперативное уведомление сотрудников КФ ИЗМИРАН при возникновении нештатных ситуаций.

Следующим шагом стала централизация хранения данных на базе FTP-сервера института. В обсерватории на выделенном сервере были смонтированы сетевые диски компьютеров научных приборов. Разработанный управляющий скрипт (рис. 1) осуществляет регулярную выгрузку

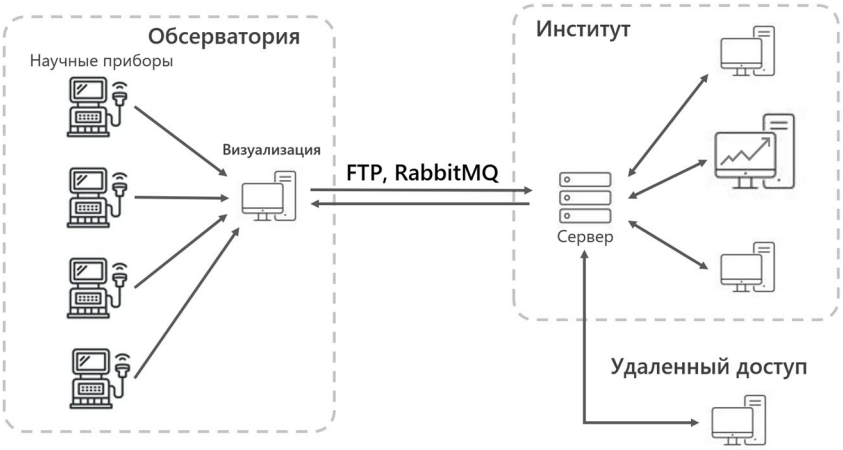

Рис. 1. Схема системы сбора данных

файлов с возможностью гибкой параметризации под каждый конкретный инструмент (настройка расписания с интервалами от 15 мин до суток, масок и форматов исходных файлов, путей локализации). Обеспечена автоматическая каталогизация поступающих данных по типу прибора, а также по временным меткам (год, месяц, день).

В настоящее время в контур автоматизированного сбора интегрированы следующие приборы:

— ионозонд вертикального зондирования «Парус-А» (ИПГ) [Гивишвили и др. 2013];

— цифровая магнитовариационная станция (ЦМВС-2, ИЗМИРАН) [Канониди, 2015];

— абсолютный магнитометр (POS-4) [Хомутов и др., 2016];

— цифровая метеорологическая станция (М-49М);

— камера всего неба (КФ ИЗМИРАН) [Chernyshov et al., 2025].

Специфика данных камеры всего неба потребовала создания обособленной программы. За одну ночь наблюдений прибор формирует массив из более чем 1000 кадров в астрономическом формате FITS (многомерные массивы данных), суммарный объем которых превышает 11 ГБ.

Вычислительный скрипт реализует многопоточный режим обработки (8 потоков) и параллельную отправку данных (6 потоков). В результате время сквозной обработки ночного массива данных сократилось до 3–4 мин, а итоговый объем папки, передаваемой на FTP-сервер, уменьшился до ~250 МБ.

СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕННОГО ЛОГГИРОВАНИЯ

Повышение отказоустойчивости и своевременности уведомлений обеспечивается брокером сообщений RabbitMQ [https://www.rabbitmq.com].

Все распределенные скрипты системы формируют структурированные аппаратные логи (записи журнала событий) в формате JSON, содержащие поля: дата и время, источник, уровень важности и текст сообщения. Логи транслируются в централизованную серверную очередь RabbitMQ. Обработчик на стороне института считывает сообщения из очереди, фильтрует их и маршрутизирует. Реализован пользовательский Telegram-интерфейс, позволяющий операторам гибко настраивать фильтрацию уведомлений и временно отключать уведомления по конкретным зависшим приборам во избежание избыточного спама.

Дополнительно с помощью RabbitMQ решена критическая проблема уведомлений о потери связи с самой обсерваторией. В текущей конфигурации сервер обсерватории каждые 5 с отправляет контрольный пакет в выделенную очередь. Если обработчик в институте фиксирует отсутствие новых пакетов в течение 60 с, он автоматически отправляет уведомление о потере связи.

ВЕБ-ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Собранные в реальном времени научные данные поступают на внутренний веб-ресурс КФ ИЗМИРАН. Специализированные математические скрипты в режиме реального времени считывают исходные данные, по которым осуществляется построение:

— Графиков К-индекса (ЦМВС-2): суточных, 3-, 7- и 14-дневных.

— Амплитудных, высотных, частотных карт (ионозонд «ПАРУС-А»). Суточных, 3-, 7- и 14-дневных графиков.

— Ежедневно обновляемого таймлапса по данным камеры всего неба.

Интерфейс наглядно отображает динамику ионосферно-магнитных возмущений, позволяя работникам КФ ИЗМИРАН мгновенно верифицировать отклик параметров на геофизические события.

На рис. 2 представлена визуализация динамики геомагнитной активности за период с 17.03.26 по 30.03.26 в виде *K*-индекса. На графике можно отметить геомагнитную активность 20–23 марта 2026 г. Максимум возмущенности был зафиксирован 22 марта в часы с 15:00 до 21:00.

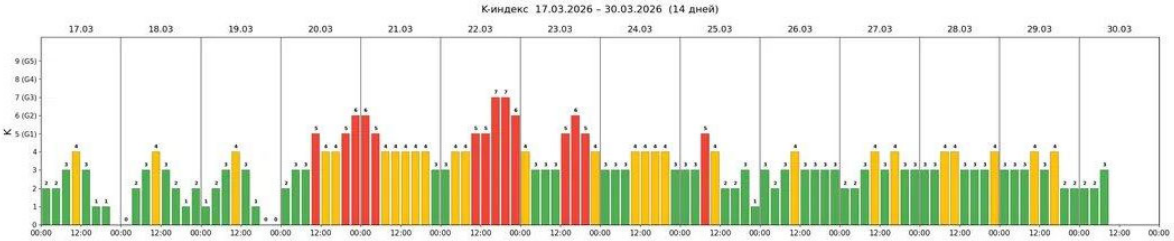

Рис. 2. График *K*-индекса за период 17.03.26–30.03.26

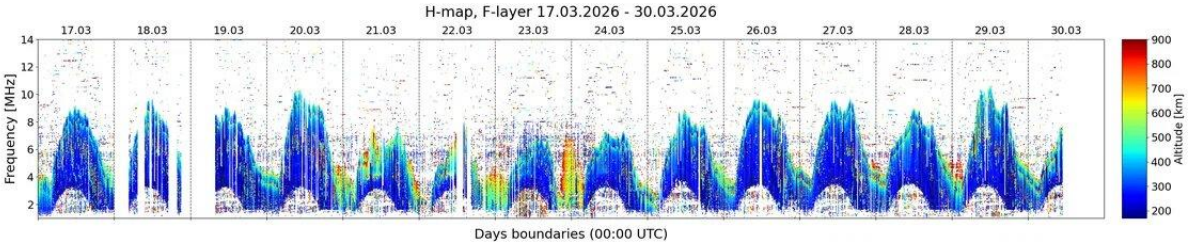

Рис. 3. Высотная карта для F-слоя за период 17.03.26–30.03.26

Ионосферный отклик на геомагнитную возмущенность представлен на рис. 3. Видно нарушение хода, которое выражается резки понижением дневных значений частоты f_oF2 с 10 МГц 20.03.2026 до значений 7 МГц 21–23.03.2026. Наблюдается также повышение виртуальной высоты в ночные часы с 350 км 20.03.2026 до порядка 650 км 23.03.2026. Отметим, что повышение на картах отображает все отражения сигнала ионозонда, в том числе от области смещенного аврорального овала в период рассматриваемой геомагнитной бури.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная система автоматизированного ионосферного мониторинга успешно введена в эксплуатацию в Калининградском филиале ИЗМИРАН. Разработанная система объединяет весь поток данных и организованно сохраняет, обрабатывает и делает предварительную визуализацию данных в режиме реального времени. На примере геомагнитной бури периода 21–23.03.2026 показаны возможности оперативного отображения и предварительного анализа эффектов геомагнитной бури.

Работа поддержана грантом РНФ № 25-77-00033 (https://rscf.ru/project/25-77-00033/).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Борчевкина О.П. и др. Комплекс радиофизических, геомагнитных и метеорологических наблюдений Калининградского филиала ИЗМИРАН // Химическая физика. 2020. Т. 39. №. 10. С. 80–89.

Гивишвили Г.В. и др. Ионозонд «Парус-А»: функциональные возможности и перспективы развития // Гелиогеофизические исследования. 2013. №. 4. С. 68–74.

Канониди К.Х., Канониди Х.Д., Петров В.Г. Развитие сети геомагнитных наблюдений ИЗМИРАН // Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли: Юбилейный сборник ИЗМИРАН-75. М.: Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, 2015. С. 77–87.

Хомутов С.Ю., Сапунов В.А., Денисов А.Ю. и др. Оверхаузеровский компонентный магнитометр POS-4: результаты непрерывных измерений в 2015–2016 гг. на геофизической обсерватории «Паратунка» ИКИР ДВО РАН, Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2016. № 4(15). С. 106–111. DOI: 10.18454/2079-6641-2016-15-4-106-111.

Chernyshov A.A. et al. Some aspects of Victory Day 2024 geomagnetic storm occurred on May 10–12, 2024, using satellite and ground-based data // Russian Journal of Earth Sciences. 2025.V. 25, № 5, ES5011. DOI: 10.2205/2025es001009.

URL: https://www.rabbitmq.com (дата обращения: 20.06.2026).