

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА ДИНАМИКИ РАДИАЦИОННОГО ФОНА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Муравьёв Д.А., Лакотко В.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Телеш И.А. – к.г.н, доцент, доцент кафедры ИПиЭ

Аннотация. Представлен программный комплекс на C++/Qt для автоматизированного анализа данных радиационного мониторинга. На основе 864 измерений в восьми населенных пунктах Беларуси (2023–2025) выявлена стабильность фона в крупных городах и сохранение повышенных показателей на отдельных территориях. Комплекс применим в образовательных, научно-исследовательских и прикладных целях в системе экологического мониторинга.

Ключевые слова: радиационная безопасность, мониторинг, программный комплекс, анализ данных, временные ряды, статистика, визуализация, Qt.

Введение. Актуальность радиационной безопасности для Беларуси обусловлена долгосрочными последствиями аварии на ЧАЭС: около 23% территории загрязнено, значительное население проживает в зонах отселения. Мониторинг радиационного фона необходим для выявления аномалий, анализа тенденций и оценки рисков. Существующие системы сбора данных функционируют, но их анализ часто ведется вручную, что трудоемко и чревато ошибками. В связи с этим целью работы является разработка программного комплекса для автоматизации сбора, анализа и визуализации данных радиационного мониторинга и его апробация для оценки динамики радиационного фона в регионах Беларуси.

Основная часть. Разработанный программный комплекс автоматизирует полный цикл работы с данными радиационного мониторинга. Программа на C++ с фреймворком Qt обеспечивает кроссплатформенность и производительность. C++ выбран благодаря эффективности и поддержке современных парадигм [2]. Основой служит модуль работы с данными с несколькими режимами ввода: ручное добавление через интерфейс (дата, доза в мкР/ч) и импорт из JSON-файлов для интеграции с базами данных и автоматизированными системами сбора. Интерфейс программы представлен на рисунке 1.

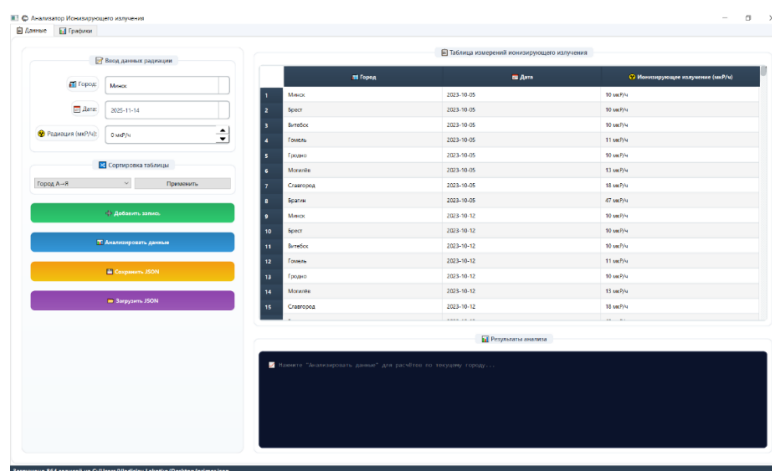


Рисунок 1 – Общий вид интерфейса программного комплекса

Пользователь может добавлять данные вручную через интуитивный графический интерфейс. Для каждого измерения указывается дата, а также значение экспозиционной дозы

в микрорентгенах в час. Кроме ручного ввода, реализована возможность импорта данных из JSON-файлов, что позволяет интегрировать систему с существующими базами данных и автоматизированными системами сбора информации.

Статистический модуль программы выполняет комплексный анализ данных с применением современных методов математической статистики. Для каждого города рассчитываются основные описательные статистики: среднее арифметическое, минимальное и максимальное значения, стандартное отклонение. Реализованные алгоритмы позволяют сравнивать показатели между различными городами и выявлять аномальные значения, которые могут свидетельствовать о локальных проблемах радиационной безопасности. Модуль графиков построен на библиотеке Qt Charts и поддерживает несколько типов отображения информации в соответствии с рекомендуемыми практиками разработки [3]. Данные визуализируются в виде точек измерений. Для выявления основных закономерностей система предоставляет возможность построения линии тренда, которая аппроксимирует общую динамику. Программа поддерживает режим интерактивного масштабирования графиков – пользователь может выделить интересующий временной интервал для детального изучения.

Проведенная визуализация данных [рис.2] наглядно демонстрирует динамику мощности экспозиционной дозы для всех исследуемых городов в едином временном масштабе, что является основой для последующего сравнительного анализа и выявления пространственно-временных закономерностей.

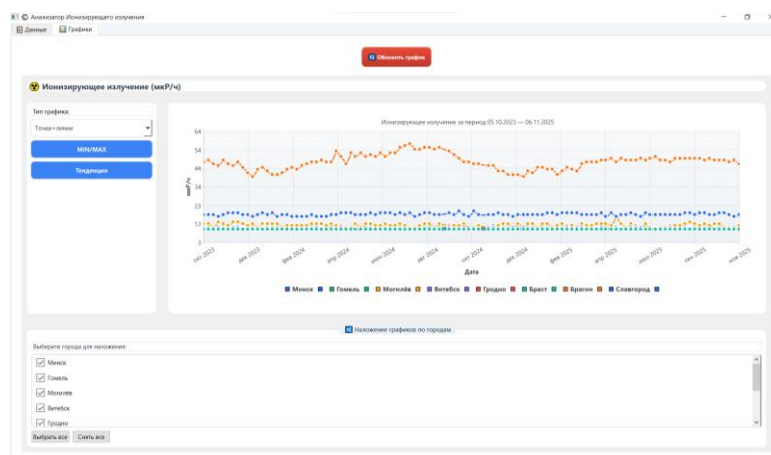


Рисунок 2 – График динамики мощности экспозиционной дозы по городам

Источником данных для анализа послужили результаты еженедельных измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в восьми населенных пунктах Беларуси, включая все областные центры, а именно: Минск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилёв, а также города Славгород и Брагин [4]. Период наблюдений охватывает временной интервал с октября 2023 по ноябрь 2025 года, общий объем данных составляет 864 измерений, все значения представлены в единицах измерения микрорентген в час.

Для комплексной оценки радиационной обстановки был проведен статистический анализ данных по всем восьми населенным пунктам. Результаты анализа демонстрируют четкую дифференциацию территорий по уровню радиационного фона. Города Минск, Брест и Гродно показывают абсолютно стабильные показатели на уровне 10 мкР/ч с нулевым стандартным отклонением. Витебск и Гомель демонстрируют незначительные колебания в пределах 10-13 мкР/ч со стандартным отклонением менее 0,5 мкР/ч и коэффициентом вариации менее 5%, что указывает на высокую стабильность радиационной обстановки в этих городах. Могилёв характеризуется средним значением 12,23 мкР/ч с заметными колебаниями и стандартным отклонением 1,42, коэффициент вариации составляет 11,5%, что свидетельствует о средней степени изменчивости показателей. Славгород показывает стабильно повышенный фон на уровне 18-20 мкР/ч с умеренной вариабельностью и стандартным отклонением 1,06. Наиболее высокие показатели зарегистрированы в Брагине,

где среднее значение составляет 47,08 мкР/ч с существенной вариабельностью показателей и стандартным отклонением 4,07, при этом диапазон колебаний достигает 18 мкР/ч. Расчет линейных трендов показал слабую положительную динамику в Брагине с коэффициентом наклона +0,12 мкР/ч в месяц.

Визуальный анализ временных рядов позволил выявить аномальные значения и тенденции: в Брагине зафиксирован максимальный уровень 57 мкР/ч в июле 2024 и 2025 годов, а минимальные значения 39-40 мкР/ч отмечаются в декабре-январе. Иначе говоря, для Брагина был выявлен выраженный сезонный паттерн. Сравнительный анализ выявил существенные различия между выделенными кластерами. Разница между средними значениями столицы и Брагина составляет более 37 мкР/ч, что визуально очевидно и не требует статистической проверки для подтверждения значимости. Анализ коэффициентов вариации показал, что наибольшая относительная изменчивость характерна для Могилёва (11,5%), тогда как в Славгороде при более высоком абсолютном уровне фона наблюдается меньшая относительная вариабельность (4,4%).

Закключение. Проведенный анализ подтвердил соответствие выявленных региональных различий известной картине радиоактивного загрязнения: абсолютная стабильность фона в Минске, Бресте и Гродно (10 мкР/ч) подтверждает радиационную безопасность крупных городов, тогда как сохранение повышенных показателей в Брагине (47 мкР/ч) и Славгороде (18-20 мкР/ч) с выраженной сезонной динамикой в Брагине (максимумы в июле до 57 мкР/ч) обосновывает необходимость продолжения мониторинга в загрязненных зонах. Обнаруженные временные динамики в пострадавших регионах, в частности сезонные колебания в Брагине, могут быть связаны с влиянием атмосферных осадков и состоянием почвенного покрова. Иначе говоря, наблюдаемое увеличение показателей летом может объясняться более интенсивным испарением и выносом радионуклидов на поверхность, а зимнее снижение – наличием снежного покрова, выполняющего экранирующую функцию.

Список литературы

1. Последствия Чернобыльской катастрофы для Беларуси [Электронный ресурс] / Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi/>. – Дата доступа: 07.11.2025.
2. Страуструп, Б. Язык программирования C++. Специальное издание / Б. Страуструп. – М.: Бином, 2019. – 1136 с.
3. Блишкет, Ж. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++ / Ж. Блишкет, С. Саммерфилд. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1072 с.
4. Радиационный мониторинг в Республике Беларусь [Электронный ресурс] / Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды. – Режим доступа: <https://rad.org.by/news/>. – Дата доступа: 07.11.2025.

UDC 004.42:551.509.321(476)(1-21)

A SOFTWARE PACKAGE FOR ANALYZING THE DYNAMICS OF THE RADIATION BACKGROUND USING THE EXAMPLE OF CITIES IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Muravyov D.A., Lakotko V.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Telesh I.A. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of EPE

Annotation. A software package in C++/Qt for automated analysis of radiation monitoring data is presented. Based on 864 measurements in eight settlements of Belarus (2023-2025), background stability in large cities and the persistence of elevated indicators in certain territories were revealed. The complex is applicable for educational, research and applied purposes in the environmental monitoring system.

Keywords: radiation safety, monitoring, software package, data analysis, time series, statistics, visualization, Qt.