

## WEB-ОРИЕНТИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ УРОВНЯХ

В. В. ЖУРАВКОВ<sup>1)</sup>, Б. А. ТОНКОНОГОВ<sup>1)</sup>, М. Г. ГЕРМЕНЧУК<sup>1)</sup>, Н. Н. ЦЫБУЛЬКО<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова,  
Белорусский государственный университет,  
ул. Долгобродская, 23/1, 220070, г. Минск, Беларусь

Рассмотрены архитектура, функциональность и модель данных Web-ориентированной информационно-аналитической системы для совершенствования комплекса радиационной защиты населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях. Исследуются методы, алгоритмы и технологии построения архитектуры и оптимизированной реляционной структуры (модели) данных, состоящей из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, информационно-аналитической системы общего доступа для совершенствования комплекса радиационной защиты населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях.

Цель исследования – разработка архитектуры информационно-аналитической системы и оптимизированной реляционной структуры (модели) данных, состоящей из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, определение специализированного программного обеспечения, используемого при разработке информационно-аналитической системы для совершенствования радиационной защиты населения и объектов окружающей среды, в том числе по оценке радиоэкологических рисков. В задачи исследования входят следующие направления: разработка архитектуры информационно-аналитической системы; определение общего архитектурного стиля и основных архитектурных решений; определение и организация совокупности элементов и компонентов; определение функциональности программных модулей системы; описание основных ролей и характеристик структурных элементов и возможных видов взаимодействий между ними (интерфейсов), соответствие их модульной декомпозиции; наделение свойствами гибкости, масштабируемости и открытости для расширения и реализации дополнительной функциональности. Разработана структура данных: определение назначения и содержания таблиц; полей таблиц и их типов; связей между таблицами; реализация функциональных объектов базы данных, обеспечивающих модульность, масштабируемость и переносимость. Выделено специализированное программное обеспечение, используемое при разработке информационно-аналитической системы: выбор интегрированной среды

### Образец цитирования:

Журавков ВВ, Тонконогов БА, Герменчук МГ, Цыбулько НН. Web-ориентированная информационно-аналитическая система для совершенствования мероприятий по радиационной защите населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2024;4:61–73. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-61-73>

### For citation:

Zhuravkov VV, Tonkonogov BA, Germenchuk MG, Tsybulka MM. Web-oriented information and analytical system for improving complex of radiation protection of population and environmental objects at various regional levels. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2024;4:61–73. Russian. <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-61-73>

### Авторы:

**Владислав Владимирович Журавков** – кандидат биологических наук, доцент; заместитель директора по учебной работе.

**Мария Григорьевна Герменчук** – кандидат технических наук, доцент; заместитель директора по научной работе.

**Борис Александрович Тонконогов** – кандидат технических наук, доцент; декан факультета мониторинга окружающей среды.

**Цыбулько Николай Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор; начальник научно-исследовательского сектора.

### Authors:

**Vladislav V. Zhuravkov**, PhD (biology), docent; deputy director for educational work.

[zhvl@mail.ru](mailto:zhvl@mail.ru)

**Mariya G. Germenchuk**, PhD (engineering), docent; deputy director for research.

[margermen@gmail.com](mailto:margermen@gmail.com)

**Boris A. Tonkonogov**, PhD (engineering), docent; dean of the faculty of environmental monitoring.

[boristonkonogov@iseu.by](mailto:boristonkonogov@iseu.by)

**Mikalai M. Tsybulka**, doctor of science (agriculture), full professor; head of the scientific-research sector.

[nik.nik1966@tut.by](mailto:nik.nik1966@tut.by)

разработки, системы управления базой данных и программного инструментария (платформ, фреймворков и библиотек), позволяющих выполнить поставленные задачи проектирования и программной реализации; проектирование прототипа Web-платформы представления экологических данных с использованием современных инструментов географических информационных систем; реализация условий для создания пилотного проекта прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы для совершенствования комплекса радиационной защиты населения и объектов окружающей среды.

**Ключевые слова:** архитектура; функциональность; модель данных; информационно-аналитическая система; антропогенные и природные факторы; региональные уровни; радиационная защита населения; радиоэкологические риски.

## WEB-ORIENTED INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM FOR IMPROVING COMPLEX OF RADIATION PROTECTION OF POPULATION AND ENVIRONMENTAL OBJECTS AT VARIOUS REGIONAL LEVELS

V. V. ZHURAVKOV<sup>a</sup>, B. A. TONKONOGOV<sup>a</sup>, M. G. GERMENCHUK<sup>a</sup>, M. M. TSYBULKA<sup>a</sup>

<sup>a</sup>International Sakharov Environmental Institute, Belarusian State University,  
23/1 Daŭhabrodskaja Street, Minsk 220070, Belarus

Corresponding author: B. A. Tonkonogov (boristonkonogov@iseu.by)

The paper considers the architecture, functionality and data model of a Web-based information and analytical system for improving the complex of radiation protection of the population and environmental objects at different regional levels. The object of the study is the methods, algorithms and technologies for constructing the architecture and optimized relational structure (model) of data consisting of tables that include fields for storing parameters and information about objects and resource potential, a public information and analytical system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors at various regional levels.

The purpose of the work is to develop the architecture of the information and analytical system and the optimized relational structure (model) of data consisting of tables that include fields for storing parameters and information about objects and resource potential, and to determine the specialized software used in the development of the information and analytical system, including radioecological risks.

Development of the architecture of the information and analytical system: definition of the general architectural style and main architectural solutions; definition and organization of the set of elements and components; definition of the functionality of the software modules of the system; description of the main roles and characteristics of the structural elements and possible types of interactions among them (interfaces); compliance with modular decomposition; endowment with the properties of flexibility, scalability and openness for expansion and implementation of additional functionality. Development of the data structure: definition of the purpose and content of tables; definition of table fields and their types; definition of relationships among tables; implementation of functional database objects that ensure modularity, scalability and portability. Definition of specialized software used in the development of the information and analytical system: selection of an integrated development environment, database management system and software tools (platforms, frameworks and libraries) that allow performing the assigned design and software implementation tasks; design of a prototype Web-platform for presenting environmental data using modern tools of geographic information systems; implementation of conditions for the creation of a pilot project of an applied Web-oriented information and analytical system.

**Keywords:** architecture; functionality; data model; information and analytical system; anthropogenic and natural factors; regional levels; radiation protection of the population; radioecological risks.

### Введение

Деятельность человека постоянно связана с накоплением информации об окружающей среде, ее отбором и хранением. Информационные системы, основное назначение которых – информационное обеспечение пользователя, то есть предоставление ему необходимых сведений по конкретной проблеме или вопросу, помогают человеку решать задачи быстрее и качественнее. При этом одни и те же данные могут использоваться при решении разных задач, в том числе для расчета радиоэкологических рисков<sup>1</sup>. Любая информационная система предназначена для решения некоторого класса задач и включает в себя как хранилище данных, так и средства реализации различных процедур, обеспечивающих

---

<sup>1</sup>Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100066> (дата обращения 17.07.2024)

сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и преобразование пространственно-распределенных данных.

Информационно-аналитические системы рассчитаны, как правило, на установку и подключение большого количества автоматизированных рабочих мест (клиентов), располагающих собственными базами (источниками) данных и средствами ввода / вывода результатов. Специалисты в области радиационной защиты населения и объектов окружающей среды на автоматизированном рабочем месте на основе пространственно-привязанной информации способны решать следующие задачи<sup>2</sup>:

- анализировать изменения окружающей среды под влиянием природных и техногенных факторов;
- давать заключения о рациональном использовании и охране атмосферных, земельных, водных, минеральных и энергетических ресурсов, снижении ущерба и предотвращении техногенных катастроф;
- разрабатывать рекомендации по совершенствованию комплекса радиационной защиты населения и объектов окружающей среды на разных региональных уровнях и в различных типах ситуаций облучения;
- обеспечивать безопасное проживание людей, охрану их здоровья и т. д.

При оценке ситуаций, связанных с решением задач по совершенствованию системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды, используются расчетные данные по оценке доз облучения на основные компоненты биогеоценоза, а также оценки и прогноз действующих и потенциальных радиоэкологических рисков, поэтому информационная подготовка занимает достаточно много времени, а информационно-аналитические системы в состоянии должны быстро предоставить информацию и обеспечить нахождение эффективных методов регулирования. В условиях возникшей ситуации (ситуации риска) решения не могут быть смоделированы в явном виде, однако основой для их принятия может служить большой объем разнообразной информации, хранимой и передаваемой интегрированной базой данных. По предоставленным результатам управленческий персонал на основе своего опыта и методом экспертного анализа может принять конкретные решения для проведения мероприятий по радиационной защите населения и объектов окружающей среды на различных региональных уровнях.

Разработаны новая архитектура и оптимизированная реляционная структура (модель) данных, состоящая из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, а также факторах, влияющих на степень радиоэкологических рисков RR [1], Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях, реализующая методы и модели для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, анализе антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях, базирующаяся на геоинформационных технологиях. Указанные разработки – основа для создания прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях [2].

Разработка указанной системы является актуальной научной и практической задачей, решение которой создаст условия для хранения параметров и информации об объектах, ресурсном потенциале и анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях с использованием геоинформационных технологий. Это повысит комфортность проживания граждан Республики Беларусь и способствует поддержке принятия соответствующих управленческих решений в области освоения и повышения эффективности использования различных видов природных ресурсов и мониторинга состояния компонентов окружающей среды в целях устойчивого развития на территориальных единицах различного уровня. Результаты могут быть использованы в интересах учреждений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, в частности для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях и принятия соответствующих управленческих решений. Сфера и масштабы ожидаемого применения результатов могут быть распространены на всю территорию Республики Беларусь.

**Характеристика и назначение разрабатываемой информационно-аналитической системы.** Основные возможности, предоставляемые пользователям разрабатываемой информационно-аналитической системы [3]:

- работа с интерактивной электронной картой (манипулирование слоями, перемещение и масштабирование, удаление и добавление объектов и т. д.);
- вывод в заданном виде любых объектов территории и объектов определенного класса с соответствующей атрибутивной информацией о них;

<sup>2</sup>Государственная программа «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов» на 2021–2025 годы [Электронный ресурс] // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100099> (дата обращения 17.07.2024).

– обработка информации статистическими методами и отображение результатов такого анализа непосредственным наложением на карту или в другой форме визуализации (таблицы, графические зависимости, гистограммы и т. д.);

– подготовка расчетных данных для проведения мероприятий радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на основе моделирования радиоэкологических процессов и оценки радиоэкологических рисков.

В рамках разработки архитектуры Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях определены общий архитектурный стиль и основные архитектурные решения, связанные с организацией совокупности элементов и компонентов, а также функционированием программных модулей системы. Описаны основные роли и характеристики структурных элементов, возможные виды взаимодействий между ними (интерфейсы).

**Архитектура разрабатываемой информационно-аналитической системы.** Архитектура информационно-аналитической системы предполагает реализацию следующих аспектов [4]:

– технология обработки данных – локальное (централизованное) взаимодействие с интегрированной базой данных, то есть все данные будут храниться на одном сервере под управлением одной системы управления базами данных, а не распределенным образом, так как многие проекты распределенных баз данных характеризуются определенными проблемами в вопросах стандартизации информационных потоков, типов, представления данных и метаданных, а также совместимости отдельных информационных систем и проектов, созданных разными организациями с применением различного программного обеспечения;

– способ доступа к данным – локальный и удаленный (сетевой) доступ с разграничением прав пользователей и поддержкой клиент-серверных технологий.

Следует отметить, что архитектура системы предполагает и модульную декомпозицию. В этой связи целесообразно разделить интерфейсную часть системы и части, отвечающей за работу с данными. Тип архитектуры предполагает то, что ее элементы реализуют поддержку объектов специализированной серверной базы данных, работу аналитических функциональных программных модулей, представление и визуализацию данных, а также взаимодействие с удаленными пользователями. В частности, программные модули реализуют методики комплексной оценки и анализа влияния антропогенных и природных факторов с учетом угроз и рисков, последствий природных и антропогенных загрязнителей для организмов и экосистем на различных региональных уровнях, оптимального использования потенциала природных ресурсов и общедоступного мониторинга состояния компонентов окружающей среды, направленные на повышение комфортности проживания граждан и принятия соответствующих управленческих решений.

Архитектуре свойственна гибкость, масштабируемость и открытость для расширения и реализации дополнительной функциональности, в частности разработки специальных алгоритмов и программных модулей взаимодействия с базой данных и графическим Web-ориентированным пользовательским интерфейсом, предоставляющим возможность оптимально, быстро и удобно работать с картографической информацией посредством использования соответствующих технологий и алгоритмов [5]. Это позволит реализовать соответствующие своему специфическому назначению и оптимальные по функциональности клиентскую и серверную части системы. Их основные особенности – возможность поддержки динамически изменяющегося содержимого клиентских Web-страниц без перезагрузки, что значительно сокращает время обновления страниц и ускоряет работу пользователей, реализацию программного пользовательского интерфейса на стороне Web-сервера и создание программного уровня доступа к информации, хранящейся в базе данных, для использования в указанном интерфейсе. Реализация в соответствии с разработанной архитектурой алгоритмов работы аналитических методов и моделей послужит основой для разработки пилотного проекта указанной прикладной системы (рис. 1).

**Основные архитектурные компоненты и функциональные программные модули информационно-аналитической системы.** Проектирование прототипа информационно-аналитической системы предполагало то, что она будет включать в себя следующие основные архитектурные компоненты и функциональные программные модули (подсистемы):

- 1) разграничение прав пользователей;
- 2) взаимодействие с базой данных;
- 3) сбор и обработка пространственных данных;
- 4) хранение и защита пространственных данных;
- 5) аналитическая обработка данных;
- 6) представление и визуализация данных;
- 7) импорт / экспорт, конвертация и парсинг данных и др.

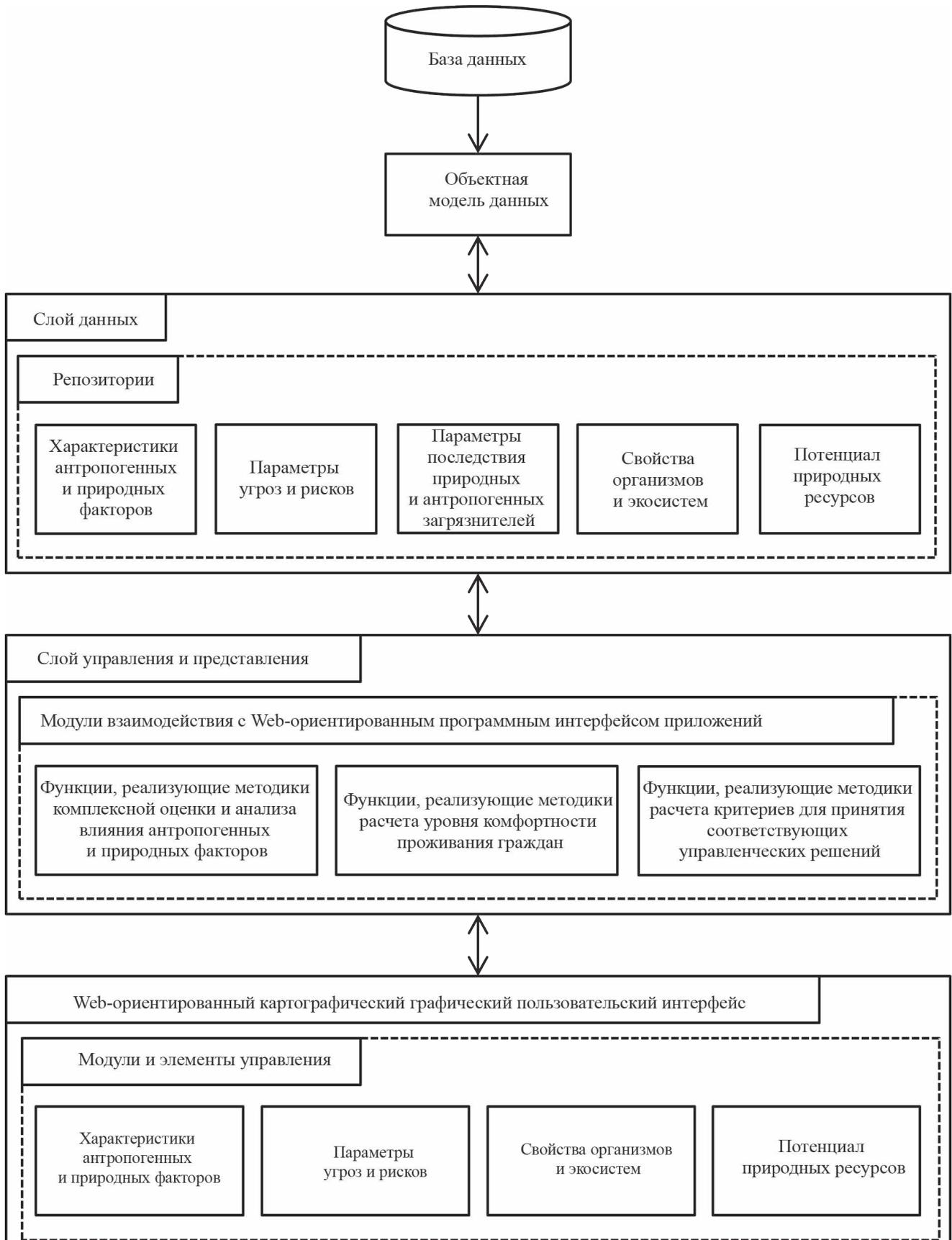


Рис. 1. Общая архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы

Fig. 1. General architecture of Web-oriented information and analytical system

Указанный набор программного обеспечения на основе полученной информации позволит [6]:

- классифицировать и кластеризовать соответствующие данные для дальнейшего создания различного картографического содержимого в виде различных картографических слоев с визуализацией содержимого разных типов данных;

- реализовать дополнительные сервисы для обработки и представления данных;

- производить аналитические (статистические) вычисления различного рода для дальнейшего использования (в составе картографического содержимого).

Для процессов визуализации и мониторинга экологических последствий (выбросов и сбросов загрязняющих веществ) могут выполняться процедуры компьютерного моделирования (аналитических расчетов) с использованием стационарных (для предприятий) и мобильных (для транспорта) точек. В процессе моделирования необходимо собрать и обработать первичные пространственные данные с учетом определенных атрибутов и параметров, а затем применить к ним определенные технологии программной визуализации:

- данные о стационарных источниках загрязнения, полученные от пунктов различных измерений (мониторинга) выбросов и сбросов загрязняющих веществ предприятиями (визуализация – круги определенного цвета, значения радиусов которых пропорциональны уровню (степени) загрязнения);

- данные о загрязняющих веществах предприятий (визуализация – цветовой градиент (дискретный набор цветов) в соответствии с уровнем (степенью) загрязнения);

- данные ретроспективного анализа и прогнозного моделирования загрязнения территорий Республики Беларусь основными дозообразующими радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС;

- данные с GPS-треков от подвижного транспорта и других мобильных источников загрязнения (визуализация – закрашенные линии (траектории) выбросов цветами в соответствии с уровнем (степенью) загрязнения) и т. д.

В проектируемом программном продукте при автоматизированных расчетах можно также учитывать поправочные коэффициенты, связанные со значениями силы и направления ветра, а также характеристиками рельефа местности. В результате обработки указанных данных получают комплексные данные, на основе которых рассчитывается совокупность выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и воду как для точечных объектов, так и на определенной территории.

Программный модуль для разграничения прав пользователей используется при санкционированном доступе к информационному ресурсу. Программные механизмы разграничения прав доступа к информационному ресурсу основаны на алгоритмах, принципах авторизации и аутентификации пользователей, администрирования содержимого серверной базы данных и защиты от несанкционированного доступа к этому содержимому.

Таким образом, пользователи в соответствии со своими правами могут формировать различные запросы, выполнять визуализацию данных и производить прочие манипуляции в среде информационного ресурса.

**Характеристика и назначение данных разрабатываемой информационно-аналитической системы.** В задачи разрабатываемой Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа (совершенствование компонентов радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения) на основе моделирования радиэкологических процессов на различных региональных уровнях входят предоставление (визуализация) и анализ (обработка) во времени данных о результатах:

- воздействия человеческой деятельности на живые организмы;

- воздействия на живые организмы через изменение людьми их среды обитания;

- естественного изменения различных качественных и количественных природных величин и характеристик.

Указанные особенности системы направлены на повышение уровня информированности населения о различных аспектах состояния окружающей среды и возможности принятия своевременных управленческих решений на различных региональных (территориальных) уровнях.

В этой связи база данных, входящая в состав разрабатываемой информационно-аналитической системы, должна содержать или иметь возможность манипулировать следующими данными:

- различные географические (природные) объекты;

- результаты наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель и параметров радиационной обстановки;

- результаты радиационного мониторинга окружающей среды, а также локального мониторинга, предоставляемых природопользователями;

- ресурсный потенциал и т. д.

Рассмотрим оптимизированную реляционную структуру (модель) данных разрабатываемой информационно-аналитической системы. По структуре разрабатываемая база данных может быть как реляционного, так и нереляционного типа, что имеет свои достоинства и недостатки. Она состоит из таблиц, включающих поля для хранения различных параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале, и в дальнейшем подлежит нормализации и оптимизации.

Возможность анализа изменений данных во времени (ретроспективы) предполагает хранение в указанной базе данных определенной информации (в том числе пространственно-распределенной в соответствии с географическими координатами) в зависимости от времени, либо использование специальных программно реализованных статистических или иных аппроксимирующих математических моделей.

При хранении данных в структуре (модели) базы данных должна быть предусмотрена возможность ответственности их различным региональным уровням (хозяйства, населенные пункты, районы, области и т. д.).

Данные, хранящиеся в проектируемой базе данных, подразделяются на:

– географические – описывают объект путем указания его расположения относительно других географических объектов;

– пространственные – описывают объект путем указания его географических координат (широты и долготы) и другой атрибутивной информации.

Оптимизированная (нормализованная) реляционная структура (модель) данных включает в себя различные объекты базы данных в виде таблиц, содержащие поля с определенными типами данных для хранения параметров и информации о пространственных объектах и ресурсном потенциале, связей (отношений) между этими таблицами и полями.

**Разработка функциональных объектов базы данных.** Для оценки и анализа влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях в зависимости от пространственного и временного распределения, условий и параметров реализованы такие оригинальные функциональные объекты базы данных, как хранимые процедуры, функции, триггеры и представления.

Другим вариантом реализации таблиц базы данных является их объектная модель, включенная в архитектуру интегрированной информационной системы и представляющая собой набор классов (сущностей), соответствующих определенным таблицам. В этом случае хранимые процедуры могут быть представлены функциями (методами). Репозитории изолируют друг от друга разнородные данные и включают в себя механизмы управления ими, например, функции для реализации выборок, редактирования, удаления и подбора данных для географических объектов, а также различных расчетов.

Web API-контроллеры возвращают и принимают данные в определенном формате. Обработкой и отображением данных занимается клиентское приложение. Используются контроллеры указанного типа, так как картографический интерфейс требует работы без перезагрузки страницы. MVC-контроллеры формируют готовые страницы и возвращают их пользователю.

Для выполнения как аналитических расчетов на основе информации, хранящейся в базе данных, так и предоставления непосредственно самих данных, программный код, выполняющий вышперечисленные операции, может быть размещен на стороне сервера и на стороне клиента. Учитывая, что создаваемая информационно-аналитическая система – сетевой ресурс, то программный код, оперирующий данными, необходимо разместить как можно ближе к самим обрабатываемым данным, позволяющем избежать пересылки через сеть множества команд и особенно необходимости передачи больших объемов данных с клиента на сервер.

Система управления базами данных предоставляет возможность разместить программный код на стороне сервера в виде хранимых процедур, пользовательских функций, триггеров и представлений, содержащихся в базе данных.

Схема доступа к данным с использованием указанных объектов приведена на рис. 2.

*Хранимые процедуры и пользовательские функции* – это отдельные программы, написанные на языке SQL, то есть представляющие собой набор SQL-инструкций, который хранится в базе данных. Эти объекты являются частью метаданных базы данных. Они могут получать входные параметры, возвращать значения приложению и быть вызваны явно из Web-приложения или подстановкой вместо имени таблицы в инструкции SELECT. В рамках данного проекта хранимые процедуры и функции обеспечивают следующие возможности:

– модульность – хранимые процедуры могут быть общими для приложений (программных модулей), которые обращаются к той же самой базе данных, что позволяет избежать повторяющегося кода и уменьшает размер приложений;

– упрощение сопровождения приложений – при обновлении процедур, изменения автоматически отражаются во всех приложениях, которые используют их, без необходимости их повторной компиляции и сборки;

– повышение эффективности работы – для удаленных клиентов процедуры выполняются сервером, а не самими клиентами, что снижает сетевой трафик и повышает производительность.

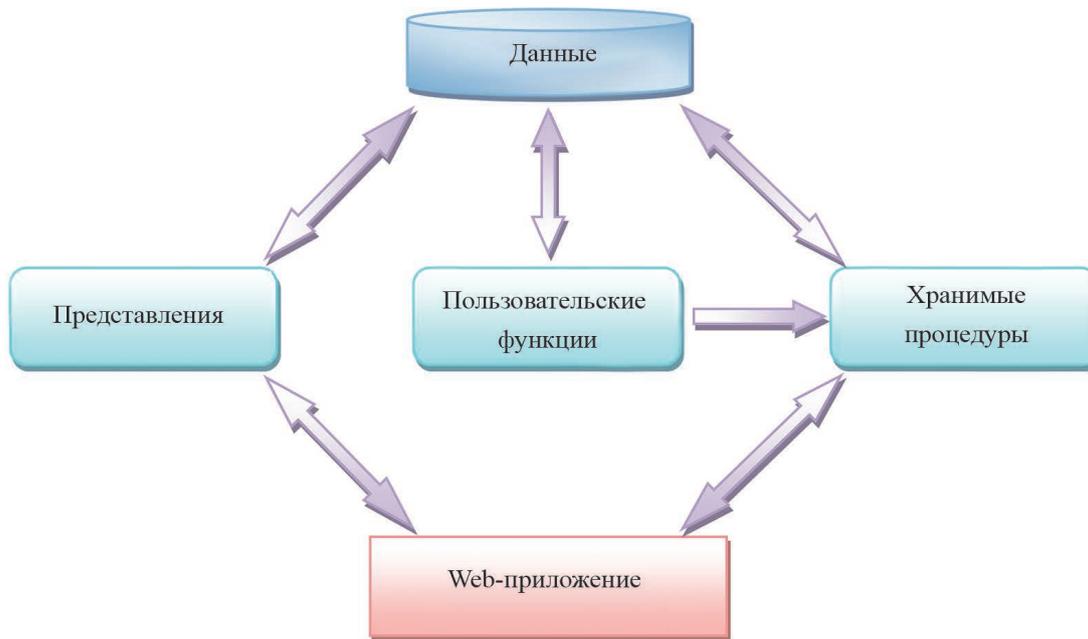


Рис. 2. Схема доступа к данным при помощи хранимых процедур, пользовательских функций и представлений

Fig. 2. Data access diagram using stored procedures, user-defined functions and views

Хранимые процедуры, отличаются от функций тем, что в них допускается использование выходных параметров только целочисленного типа. Использование хранимых процедур позволяет повысить производительность, расширить возможности программирования и поддержать функции безопасности данных.

Как серверные программы, так и хранимые процедуры имеют ряд преимуществ:

- хранение в скомпилированном виде, поэтому выполняются быстрее, чем пакеты или запросы;
- выполнение обработки данных на сервере, а не на рабочей станции, что значительно снижает нагрузку на локальную сеть;
- модульный вид, поэтому их легко внедрять и изменять (если клиентское приложение вызывает хранимую процедуру для выполнения некоторой операции, то модификация процедуры в одном месте влияет на ее выполнение у всех пользователей);
- важный компонент системы безопасности базы данных (если все клиенты осуществляют доступ к данным с помощью хранимых процедур, то прямой доступ к таблицам может быть запрещен, и все действия пользователей будут находиться под контролем).

Наполнение базы данных сводится к заполнению определенных элементов информацией, которая впоследствии пересылается и обрабатывается хранимой процедурой на стороне сервера баз данных. Получив информацию, хранимая процедура проверяет данные на корректность ввода и, если есть нарушения, то возвращает код ошибки (коды ошибок определяются разработчиками системы), если же информация корректна, то данные добавляются в заданную таблицу.

Кроме добавления информации непосредственно в таблицы, хранимые процедуры позволяют производить первичную обработку информации, то есть проводить аналитическую обработку данных. Использование этих объектов позволяет ограничить участие пользователя в различных расчетах, а также скрыть определенные детали работы системы. Пользователю предоставляется уже обработанная информация в виде результатов проведенных расчетов или же при помощи таких графических средств отображения информации, как графики и диаграммы.

Вместо хранения часто используемого запроса, клиенты могут ссылаться на соответствующую хранимую процедуру. При вызове хранимой процедуры ее содержимое сразу же обрабатывается сервером. В создаваемой базе данных хранимые процедуры содержат запросы на получение и изменение данных, инкапсулируют вызов пользовательских функций (ввиду того, что пользовательские функции не могут быть вызваны напрямую из Web-приложения).

Таким образом, при вызове пользовательской функции, необходимо выделить соответствующую хранимую процедуру, инкапсулирующую вызываемую функцию.

Вызов сопровождается получением результирующей таблицы из функции и удалением временных данных из таблицы «Session\_FactorType». На основе написанных пользовательских функций создана также хранимая процедура «dbo.all\_factors», выполняющая оценку всех значений антропогенных

и природных факторов, хранимых в базе данных. Данная процедура производит поочередный вызов пользовательских функций с передачей в них усредненных параметров, получает результат их работы и предоставляет пользователю среднее значение антропогенных и природных факторов. Таким образом, использование хранимых процедур позволяет не только обеспечить простоту доступа к данным, но и защитить их от несанкционированного доступа.

Пользовательские функции представляют упорядоченное множество операторов, которые заранее оптимизированы, откомпилированы и могут быть вызваны для выполнения работы в виде единого модуля. При использовании пользовательских функций допускается передавать только входные параметры, так как выходные параметры в них не предусмотрены. Отказ от использования выходных параметров компенсируется введением в действие более надежно формируемого возвращаемого значения. Возвращаемое значение может быть скалярным, как и в случае применения системных переменных. Но особенно привлекательным свойством пользовательских функций является то, что тип данных возвращаемого значения не ограничивается только целочисленным типом, как при использовании хранимых процедур. Значения, возвращаемые пользовательской функцией, могут относиться к любому типу данных.

Возможности формирования возвращаемых значений пользовательскими функциями не ограничиваются лишь скалярными значениями, а допускается использовать таблицы в качестве возвращаемых значений. Такая возможность является чрезвычайно удобной для проведения расчетов. Оформление кода в виде пользовательских функций является предпочтительным по многим причинам, однако в данном случае они представляют удобство в том, что функции могут вызываться на выполнение как объекты, непосредственно встроенные в запрос.

Все функции возвращают таблицы с определенным набором полей для различных типов географических объектов. В связи с этим обязательными полями для всех таблиц, формирующихся в результате работы функций, будут являться поля с различными идентификаторами.

Таким образом, результирующие таблицы являются своеобразным дополнением к соответствующим таблицам антропогенных и природных факторов, в которых указывается их влияние в зависимости от введенных пользователем параметров.

Пользовательские функции, возвращающие таблицу, используются в базе данных исключительно для аналитических расчетов. Причем некоторые функции возвращают данные не только конечному пользователю, но и могут передавать их в другие функции (на выбор пользователя) для дальнейших аналитических расчетов. Эти данные используются функцией, которая в зависимости от потребностей пользователя подбирает необходимые параметры.

В основные задачи разработанных функциональных объектов базы данных Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на различных региональных уровнях входят анализ (обработка) во времени данных о результатах:

- воздействия человеческой деятельности на живые организмы;
- воздействия на живые организмы через изменение людьми их среды обитания;
- естественного изменения различных качественных и количественных природных величин и характеристик.

В этой связи база данных, входящая в состав разрабатываемой информационно-аналитической системы, должна содержать или иметь возможность манипулировать следующими данными:

- различные географические (природные) объекты;
- результаты наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, земель и радиационного фона;
- результаты радиационного мониторинга окружающей среды и локального мониторинга, предоставляемых природопользователями;
- ресурсный потенциал и т. д.

Для проведения различного рода аналитических расчетов функциональные объекты должны взаимодействовать с табличными объектами базы данных:

- географическое положение объектов;
- антропогенные и природные факторы, свойственные объектам;
- материальные и человеческие ресурсы, оборудование и т. д.

Таким образом, созданы специальные хранилища данных с использованием объектно-ориентированной технологии для объектно-реляционного отображения, позволяющей связывать базы данных с концепциями объектно-ориентированных языков программирования с использованием подхода Database First, который позволяет по существующей базе данных сгенерировать модель для подключения к ней.

**Проектирование прототипа Web-платформы представления экологических данных.** Пример графического пользовательского интерфейса и визуализации прототипа разрабатываемой информационно-аналитической системы с результатами автоматизированного анализа антропогенных и природных факторов с использованием инструментария географических информационных систем и специализированных программных интерфейсов приложений, которые будут использованы в дальнейших разработках, представлен на рис. 3.

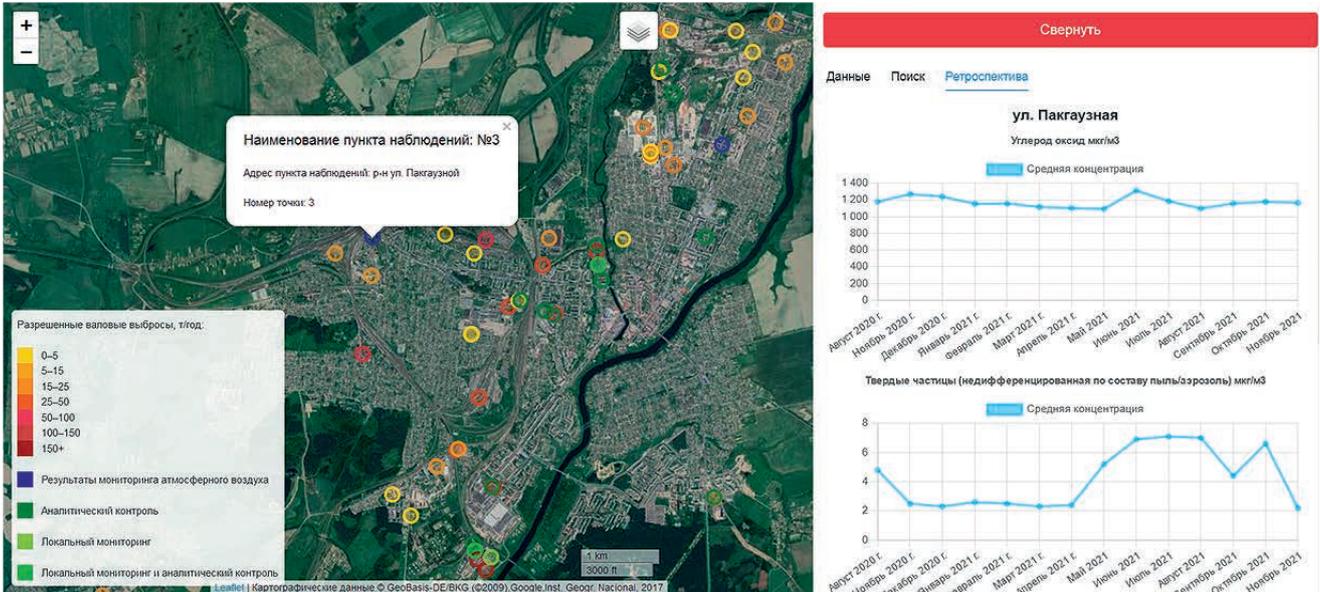


Рис. 3. Пример графического пользовательского интерфейса и визуализации прототипа информационно-аналитической системы

Fig. 3. Example of graphical user interface and visualization of information and analytical system prototype

Разработанная архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для организации системы защиты населения и объектов окружающей среды при ретроспективном и прогнозном моделировании радиационной обстановки позволяет визуализировать данные о загрязнении территорий Республики Беларусь основными дозообразующими радионуклидами:  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{136}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и др. (рис. 4). На этой основе провести оценки дозовых нагрузок на население, проживающее в наиболее загрязненных районах страны (рис. 5) [9]. Анализ данных рис. 5 определяет области и районы Республики Беларусь, которые в результате аварии на Чернобыльской АЭС подверглись радиоактивному загрязнению, и население, проживающее в южных районах Республики Беларусь. В будущем этому необходимо уделять повышенное внимание при медицинском обследовании [7].

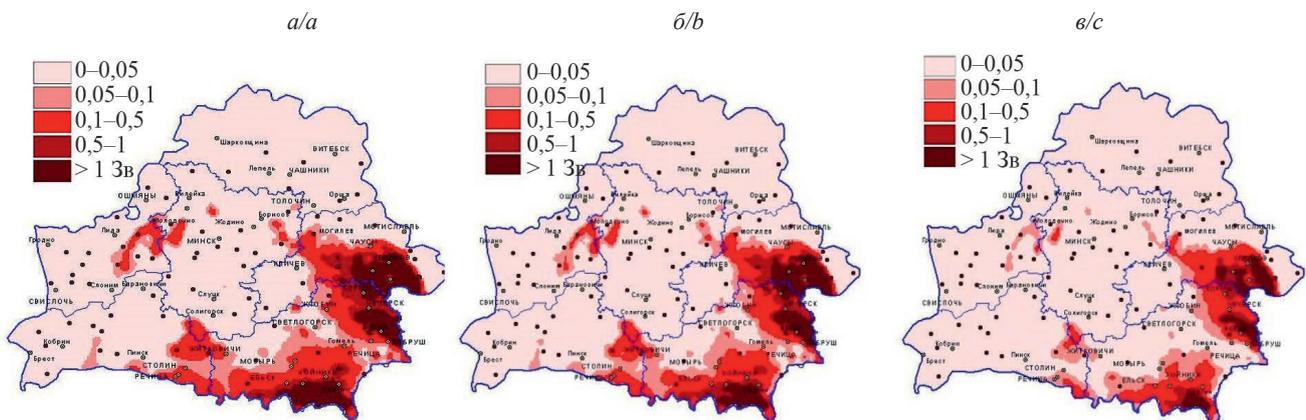


Рис. 5. Среднегрупповая доза на 1986 г.: а) дети до 5 лет; б) подростки от 5 до 17 лет; в) взрослые от 17 лет

Fig. 5. Average group dose for 1986 year:  
 a) children under 5 years old; b) adolescents from 5 to 17 years old; c) adults from 17 years old

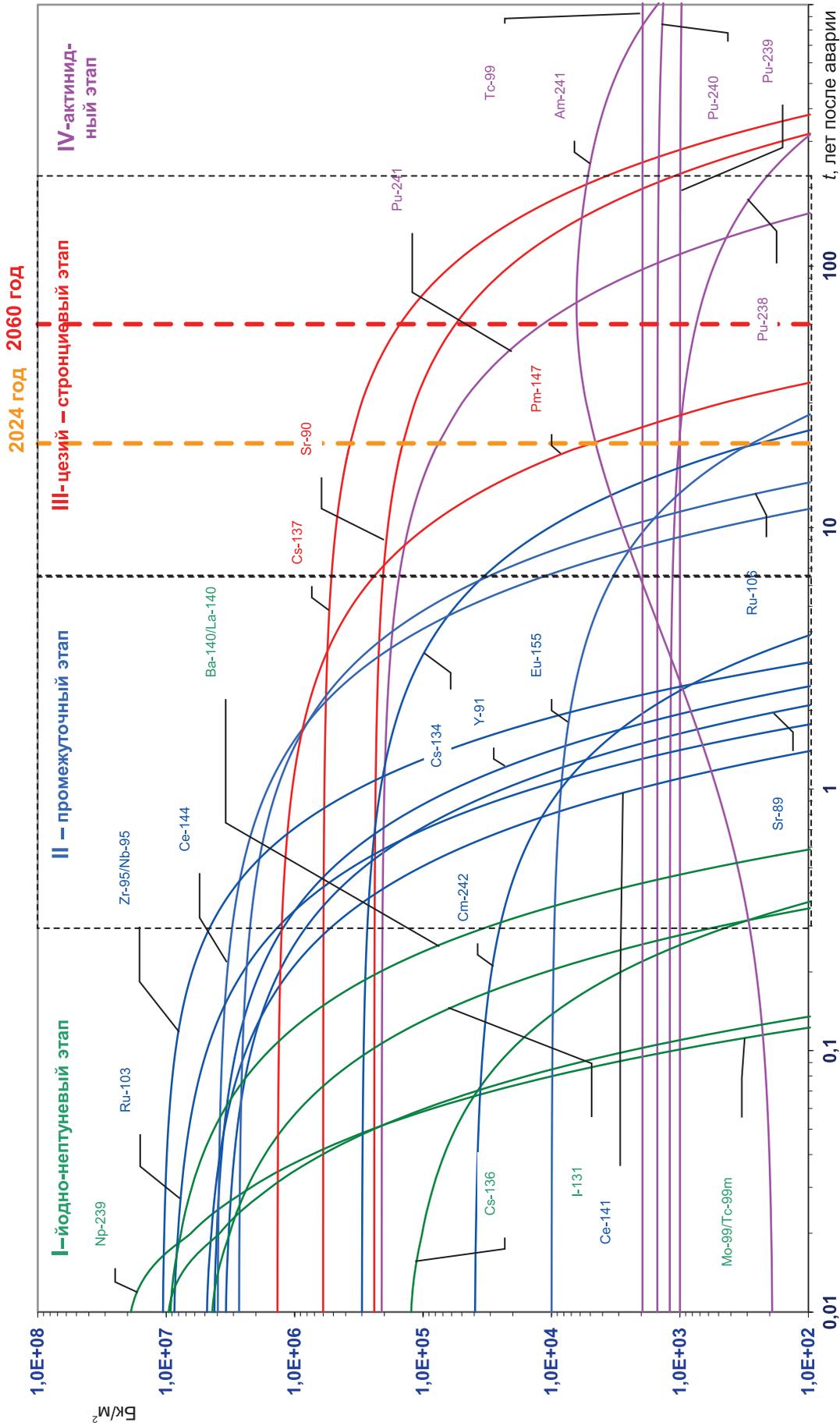


Рис. 4. Динамика радиоактивного загрязнения почвы на реперной площадке «Масаны» на основе экспериментальных данных

Fig. 4. Dynamics of radioactive contamination of soil at reference site «Masany» based on experimental data

## Заключение

Таким образом, по результатам исследования авторами:

- 1) разработана архитектура Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях, реализующая методы, модели для хранения параметров и информации об объектах, ресурсном потенциале, анализа антропогенных и природных факторов на различных территориальных уровнях, базирующаяся на геоинформационных технологиях;
- 2) разработана новая оптимизированная реляционная структура (модель) данных, состоящая из таблиц, включающих поля для хранения параметров и информации об объектах и ресурсном потенциале.
- 3) разработаны новые функциональные объекты базы данных;
- 4) выполнено проектирование прототипа Web-платформы представления экологических данных с использованием современных инструментов географических информационных систем;
- 5) реализованы условия для создания пилотного проекта прикладной Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях, разных типах ситуаций облучения;
- 6) проведена ретроспективная и прогнозная оценка радиационной обстановки, позволяющая визуализировать данные о загрязнении территорий Республики Беларусь основными дозообразующими радионуклидами, и на этой основе провести оценки дозовых нагрузок на население, проживающего в наиболее загрязненных районах страны, а также степень радиозэкологических рисков RR.

Данная работа подготовлена в рамках выполнения диссертационного исследования по теме «Совершенствование системы радиационной защиты населения и объектов окружающей среды в ситуации существующего облучения на основе моделирования радиозэкологических процессов» Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 годы, НИР «Разработка Web-ориентированной информационно-аналитической системы общего доступа для комплексного изучения влияния антропогенных и природных факторов на различных региональных уровнях», НИР «Оценить дозовые нагрузки и эффекты ионизирующих излучений в сочетании со стрессом различной природы на биоту в зоне хронического радиационного воздействия».

## Библиографические ссылки

1. Герменчук МГ, Цыбулько НН. Основные механизмы управления рисками в сфере радиационной безопасности и мониторинг окружающей среды. *Вестник Брестского государственного технического университета. Геоэкология*. 2024;1(133):160–168. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2024-133-1-160-168>.
2. Zhuravkov VV. Development of a Web-oriented system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors on the example of the Orshan region of the Republic of Belarus. В: *Актуальные проблемы науки и техники. Материалы II Международной научно-технической конференции, ФГБОУВО «ИжГТУ им. М. Т. Калашникова», 19–21 мая 2022 г.* Сарапул: [б. и.]; 2022. с. 137–142.
3. Журавков ВВ. Разработка Web-ориентированной системы общего доступа для изучения влияния антропогенных и природных факторов на примере г. Орша Республики Беларусь. В: *Наука, образование, производство в решении экологических проблем (Экология – 2022). XVII Международная научно-техническая конференция «3–4 июня 2022; Уфимский государственный авиационный технический университет.* Уфа: [б. и.]; 2022. с. 148–152.
4. Гамма Э, Хелм Р, Джонсон Р, Влиссидес Д. *Паттерны объектно-ориентированного проектирования*. Санкт-Петербург: Питер; 2023. 448 с.
5. Маклафлин Б, Поллайс Г, Уэст Д. *Объектно-ориентированный анализ и проектирование*. Санкт-Петербург: Питер; 2018. 608 с.
6. Фаулер М. *Шаблоны корпоративных приложений*. Москва: Вильямс; 2012. 544 с.
7. Конопля ЕФ, Миронов ВП, Журавков ВВ. *Радиация и Чернобыль: Короткоживущие радионуклиды на территории Беларуси*. Минск: Белорусская наука; 2008. 198 с.

## References

1. Germenchuk MG, Basic risk management mechanisms in the field of radiation safety and environmental monitoring. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Geoecology*. 2024;1(133):160–168. <https://doi.org/10.36773/1818-1112-2024-133-1-160-168>. Russian.
2. Zhuravkov VV Development of a Web-oriented system for a comprehensive study of the influence of anthropogenic and natural factors on the example of the Orshan region of the Republic of Belarus. In: *Actual problems of science and technology. Proceedings of the II International scientific and technical conference, IzhSTU named after M. T. Kalashnikov, 2022 May 19–21.* Sarapul: [publisher unknown]; 2022. p. 137–142. Russian.
3. Zhuravkov VV. *Razrabotka Web-orientirovannoi sistemy obshchego dostupa dlya izucheniya vliyaniya antropogennykh i prirodnkh faktorov na primere g. Orsha Respubliki Belarus'* [Development of a Web-oriented public access system for studying the influence

of anthropogenic and natural factors on the example of the city of Orsha of Republic of Belarus]. In: Science, education, production in solving environmental problems (Ecology – 2022). XVII International scientific and technical conference. 2022 June 3–4; Ufa state aviation technical university. Ufa: [publisher unknown]; 2022. p. 148–152. Russian.

4. Gamma E, Helm R, Johnson R, Vlissides D. *Patterny ob'ektno-orientirovannogo proektirovaniya* [Object-oriented design patterns]. Saint Petersburg: Piter; 2023. 448 p. Russian.

5. McLaughlin B, Pollais G, West D. *Ob'ektno-orientirovannyi analiz i proektirovanie* [Object-oriented analysis and design]. Saint Petersburg: Piter; 2018. 608 p. Russian.

6. Fowler M. *Shablony korporativnykh prilozhenii* [Enterprise application patterns]. – Moscow: Williams; 2012. 544 p. Russian.

7. Konoplya EF, Mironov VP, Zhuravkov VV. *Radiatsiya i Chernobyl': Korotkozhivushchie radionuklidy na territorii Belarusi* [Radiation and Chernobyl: Short-lived radionuclides in Belarus]. Minsk: Belarusskaya nauka; 2008. 198 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 19.09.2024.

Received by editorial board 19.09.2024.