



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-92-99>

Оригинальная статья
Original paper

УДК 004.043

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДАННЫМИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БИОСФЕРЫ

П. К. ШАЛЬКЕВИЧ¹, Д. С. ЛАВНИКОВИЧ², Ю. С. ГОРОДНАЯ², А. В. ЧЕМЕНЦОВА²

¹Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета (г. Минск, Республика Беларусь)

²Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 10.01.2024

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2024

Аннотация. В рамках решения задачи комплексной оценки состояния биосферы актуален вопрос о разработке такой геоинформационной системы, которая будет не только хранить большие объемы данных разного типа, но и обеспечивать возможности по применению методов обработки и анализа этих данных, методов численного моделирования и интеллектуальных методов принятия решений. Основами для функционирования геоинформационной системы являются база данных и система управления базой данных. Поэтому главной задачей исследований был выбор структуры базы данных и технологии системы управления базой данных для разработки программного обеспечения геоинформационной системы комплексной оценки состояния биосферы. Проведен анализ видов данных, используемых в геоинформационной системе, показавший, что система для комплексной оценки состояния биосферы должна обеспечивать возможность работы со всеми видами пространственных данных, которые могут потребоваться для решения задач различного характера в области мониторинга окружающей среды. Согласно экспериментальным показателям, была выбрана система управления базой данных MariaDB, показавшая лучшую производительность при работе с геоинформационной системой онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района.

Ключевые слова: база данных, система управления базой данных, реляционная база данных, геоинформационная система, мониторинг окружающей среды.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Система управления данными и программное обеспечение для комплексной оценки состояния биосферы / П. К. Шалькевич [и др.] // Доклады БГУИР. 2024. Т. 22, № 4. С. 92–99. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-92-99>.

DATA MANAGEMENT SYSTEM AND SOFTWARE FOR COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE STATE OF THE BIOSPHERE

PAVEL K. SHALKEVICH¹, DARYA S. LAVNIKOVICH², YULIYA S. GORODNAYA²,
ALEXANDRA V. CHEMENTSOVA²

¹*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University (Minsk, Republic of Belarus)*

²*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

Submitted 10.01.2024

Abstract. As part of solving the problem of a comprehensive assessment of the state of the biosphere, the urgent question is to develop a geographic information system that will not only store large amounts of data of various types, but also provide the ability to use methods for processing and analyzing this data, numerical modeling methods and intelligent decision-making methods. The basis for the functioning of a geographic information system is a database and a database management system. Therefore, the main task of the research was to select the database structure and database management system technology for developing software for a geographic information system for a comprehensive assessment of the state of the biosphere. An analysis of the types of data used in the geographic information system was carried out, which showed that a system for a comprehensive assessment of the state of the biosphere should provide the ability to work with all types of spatial data that may be required to solve problems of various nature in the field of environmental monitoring. According to experimental data, the MariaDB database management system was selected, which showed the best performance when working with a geographic information system for online monitoring of the state of environmental components in the city of Orsha and the Orsha region.

Keywords: database, database management system, relational database, geoinformation system, environmental monitoring.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

For citation. Shalkevich P. K., Lavnikovich D. S., Gorodnaya Yu. S., Chementsova A. V. (2024) Data Management System and Software for Comprehensive Assessment of the State of the Biosphere. *Doklady BGUIR*. 22 (4), 92–99. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2024-22-4-92-99> (in Russian).

Введение

Применение геоинформационных систем (ГИС) охватывает широкий спектр важных научных задач, таких как: определение оптимальных маршрутов на цифровых картах местностей; анализ факторов, влияющих на экологические и демографические проблемы; моделирование и прогнозирование физических и социальных процессов; принятие управленческих решений, основанных на аналитических отчетах и прогнозах, и т. д. При этом разнообразие и сложность решаемых задач подразумевают следующие признаки классификации ГИС: пространственный охват, объект информационного моделирования, предметная область информационного моделирования, проблемная ориентация, функциональные возможности, уровень управления [1]. Такая классификация свидетельствует о том, что технологии ГИС должны быть, с одной стороны, достаточно разнообразными для решения задач в различных областях научных исследований, а с другой – объединенными одной общей концепцией работы с пространственно-координированными данными. Как следствие, разработка одного универсального программного комплекса (ПК) ГИС для решения задач широкого спектра из всех существующих областей научных исследований является крайне сложной, возможно, неразрешимой проблемой. Например, универсальные ГИС, такие как ПК QGIS и Grass GIS, применяются для решения задач геоморфометрии, гидрологии, экологии, ландшафтного дизайна, возобновляемой энергетики и логистики [2], что ограничивает исследователей этих областей единым интерфейсом, программной архитектурой и структурой данных, усложняя решение специфической для конкретной области задачи. С другой стороны, разработка специализированного программного обеспечения (ПО) ГИС, предназначенного для решения определенного класса задач, ограниченного одной или несколькими областями исследований, – актуальное и перспективное направление научной деятельности. Примером такого класса задач являются задачи мониторинга окружающей среды, которые требуют решений не только в области наблюдений за состоянием окружающей среды, но и в области оценки и прог-

ноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов [3]. К ГИС, способным решать такого класса задачи, относится разработанная на основе данных Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) Республики Беларусь ГИС онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района [4]. Эта ГИС обеспечивает работу со структурой данных, которая годами формировалась Главным информационно-аналитическим центром НСМОС и обеспечивает технические возможности для интеграции методов прогнозирования изменений состояния окружающей среды [5, 6] и разработки принятия решений в рамках комплексной оценки состояния исследуемых территорий. Так, рассматриваемая ГИС может быть использована для решения одной из важнейших задач мониторинга окружающей среды – комплексной оценки состояния биосферы.

Следовательно, при решении задачи комплексной оценки состояния биосферы актуальна разработка такой ГИС, которая будет не только хранить большие объемы данных разного типа (геометрические полигоны, свойства геологических материалов, параметры загрязняющих веществ), но и обеспечивать возможность применения методов обработки и анализа этих данных, методов численного моделирования и интеллектуальных методов принятия решений. Необходимость в такой широко направленной функциональности формирует ряд требований к программному обеспечению ГИС для комплексной оценки состояния биосферы. При этом одно из важнейших требований – открытость программного кода ГИС для ее развития, модернизации и интеграции с другими программно-аппаратными системами. Основами для функционирования такой ГИС являются база данных (БД) и система управления базой данных (СУБД). Поэтому задача проводимых исследований состояла в выборе структуры БД и технологий СУБД для разработки ГИС комплексной оценки состояния биосферы.

Виды данных в геоинформационных системах для комплексной оценки состояния биосферы

В целом ГИС оперируют четырьмя видами данных: пространственными, которые содержат информацию о пространственном положении объектов; атрибутивными, описывающими качественные и количественные свойства; библиотекой условных знаков, где содержатся наборы стандартных условных данных; метаданными, как правило, содержащими информацию об источниках данных, о методах получения и конкретных исполнителях, получивших данные. Представление пространственных данных подразумевает способы цифрового описания объектов, наиболее универсальные из которых – растровый, векторный, GRID и TIN [1]. Учитывая широкий ряд задач, стоящих перед современными ГИС [7–9], востребованным является использование каждого из перечисленных способов описания объектов. При этом применение того или иного способа определяется спецификой задач, решаемых конкретной ГИС.

Комплексная оценка состояния биосферы подразумевает наличие данных мониторинга различных компонентов окружающей среды и системы оценки этих данных. На примере системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района (рис. 1) [7] видно, что информация об окружающей среде представлена в виде набора геомаркеров, к которым привязаны данные измерений параметров компонентов окружающей среды. Геомаркеры, в свою очередь, привязаны к картографическим данным веб-сервисов OpenStreetMap и Google Maps. Этих данных может быть достаточно для проведения экспертной оценки [10] состояния окружающей среды, что открывает перспективы для применения технологий искусственного интеллекта в комплексе с рассматриваемой ГИС. Кроме того, данные ГИС онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района могут быть использованы как исходные для решения задач моделирования и прогнозирования состояния окружающей среды. Пример такой задачи – прогнозирование миграции радионуклидов в почве [5]. Для ее решения с помощью рассматриваемой ГИС потребуются подключение к ГИС БД с параметрами почв и реализация в рамках ГИС программного модуля прогнозирования трехмерной миграции радионуклидов в почве. Визуализация результатов может быть реализована в виде трехмерной карты или массива данных для их импорта в стороннее программное обеспечение.

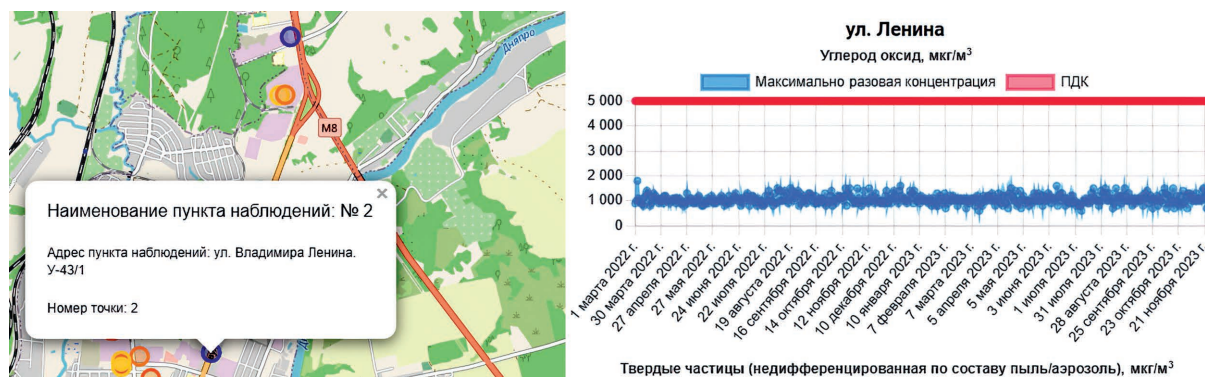


Рис. 1. Данные измерений параметров в пункте наблюдений системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района

Fig. 1. Parameter measurement data at the observation point of the online monitoring system for the state of environmental components in the city of Orsha and Orsha region

Таким образом, система комплексной оценки состояния биосферы должна обеспечивать возможность работы со всеми видами пространственных данных, которые могут потребоваться для решения задач различного характера в области мониторинга окружающей среды.

Анализ структур баз данных и выбор системы управления базой данных

На основании видов данных и типов хранимых объектов к оптимальной структуре БД ГИС справедливо выдвинуть следующие требования [11]:

- полнота предоставленной информации;
- избыточность и внутренняя непротиворечивость (данные и связи между ними должны быть корректными и неповторяющимися);
- актуализация хранимых данных (особо важно для решения задач мониторинга окружающей среды);
- позиционная точность (информация в базе данных должна быть строго совместима с теми данными, которые могут добавляться в нее в процессе работы);
- достоверность (все явления должны быть правильно отражены посредством атрибутов);
- доступность данных (информация должна быть легко извлекаемой для выбранной категории пользователей).

На сегодняшний день выделяют три основных типа структур баз данных: иерархическую, сетевую и реляционную [12]. Для работы с БД реляционной структуры существует широкий диапазон СУБД, предоставляющих необходимые средства для работы с реляционными базами данных: Oracle Database, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MySQL, MariaDB, SQLite, dBase, R:Base, Informix, Paradox, Microsoft Access.

Широкий выбор СУБД открывает хорошие перспективы выбора такой системы, которая будет соответствовать не только вышеперечисленным требованиям, но и обеспечивать интеграцию с современными информационно-коммуникационными технологиями, обеспечивающими возможности расширения функциональности ГИС комплексной оценки состояния биосферы. Применение иерархической и сетевой структур БД этой цели не соответствует. Однако в качестве альтернативы реляционным СУБД предлагаются так называемые нереляционные СУБД (NoSQL), использование которых при решении технических задач позволяет получить лучшую производительность [13].

Для выбора наиболее подходящей СУБД для ГИС комплексной оценки состояния биосферы воспользуемся списком самых распространенных СУБД [14]: Oracle Database, MySQL, Microsoft SQL Server, PostgreSQL, MongoDB, Redis, Elasticsearch, IBM Db2, SQLite, Microsoft Access, MariaDB. Учитывая, что одним из важных требований для ГИС комплексной оценки состояния окружающей среды является открытость программного кода, при выборе СУБД исключим из списка проприетарное ПО. Характеристики наиболее распространенных открытых СУБД приведены в табл. 1 [15, 16].

Таблица 1. Характеристики наиболее распространенных
открытых систем управления базами данных
Table 1. Characteristics of the most common open database management systems

Наименование системы	Структура данных	Поддерживаемая платформа	Поддерживаемый язык программирования
MySQL	Реляционная	AIX, BSDi, FreeBSD, HP-UX, Linux, macOS, NetBSD, OpenBSD, OS/2 Warp, SGI IRIX, Solaris, SunOS, SCO OpenServer, UnixWare, Tru64, Windows 95, Windows 98, Windows NT, Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003, WinCE, Windows Vista, Windows 7 и Windows 10	Delphi, C, C++, Эйфель, Java, Лисп, Perl, PHP, Python, Ruby, Smalltalk, Компонентный Паскаль, Tcl, Lua, .NET
PostgreSQL		AIX, BSD-системы, HP-UX, IRIX, Linux, macOS, Solaris/OpenSolaris, Tru64, QNX, Microsoft Windows	Lua, LOLCODE, Perl, PHP, Python, Ruby, PL/sh, PL/Tcl, PL/Scheme, PL/v8 (Javascript), C, C++, Java
MongoDB	Нереляционная	Linux, macOS, Windows, OpenBSD	C, C++, C#, Go, Java, Node.js, Perl, PHP, Python, Ruby, Rust, Scala, Swift
Redis		Linux, BSD, Mac OS X	C, C++, C#, Clojure, Лисп, Erlang, Java, JavaScript, Haskell, Lua, Perl, PHP, Python, Ruby, Scala, Go, Tcl, Rust, Swift, Nim.
Elasticsearch		Linux, macOS, Windows	PHP, Java, .NET (C#), Python, Groovy
SQLite	Реляционная	Linux, macOS, Windows	Apple Swift, Delphi, C++, Java, Kotlin, C#, VB.NET, Python, Perl, Node.js, PHP, PureBasic, Ruby, Haskell, Scheme, Smalltalk, Lua, Parser
MariaDB		Windows, macOS, Linux, Solaris, OpenBSD	Delphi, C, C++, Эйфель, Java, Лисп, Perl, PHP, Python, Ruby, Smalltalk, Компонентный Паскаль, Tcl, Lua, .NET

Как видно из табл. 1, все перечисленные СУБД являются кросс-платформенными и поддерживают многие современные языки программирования. Однако при выборе СУБД для ГИС комплексной оценки состояния биосферы необходимо учесть, что данные об измерениях параметров окружающей среды поступают в систему в результате проведения мероприятий по мониторингу окружающей среды. Эти мероприятия включают в себя обработку и структурирование данных о параметрах окружающей среды на основании различных источников этих данных. Таким образом, в ГИС комплексной оценки состояния биосферы используются структурированные данные, следовательно, в качестве ее СУБД рационально применять реляционную систему.

Чтобы выявить наиболее подходящую СУБД для ГИС комплексной оценки состояния биосферы, проведем эксперимент на базе системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района. Программная структура этой ГИС реализована с использованием системы управления содержимым Drupal 7 и языка программирования PHP. Drupal 7 поддерживает взаимодействие с любой из реляционных СУБД, приведенных в табл. 1, однако поддержка SQLite ограничена. Кроме того, применение СУБД SQLite показывает лучшую производительность не в онлайн-системах, а в локальных, что является дополнительным

аргументом против ее применения в системе онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды. Поэтому для проведения эксперимента использовали системы MySQL, PostgreSQL, MariaDB. Суть исследований сводилась к измерению времени выполнения запросов в этих системах при следующих действиях в ГИС: создание страницы, добавление группы параметров при помощи AJAX, сохранение страницы, фильтрация страниц, загрузка страницы модулей. Каждое измерение проводилось 10 раз с последующим расчетом среднего значения. В качестве сервера при выполнении эксперимента использовался компьютер на базе четырехъядерного процессора AMD EPYC с 8 Гб оперативной памяти. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение скорости работы системы управления базой данных в геоинформационных системах онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района

Table 2. Comparison of the speed of the database management system in geographic information systems for online monitoring of the state of environmental components of the city of Orsha and the Orsha region

Наименование задачи	Время выполнения запроса, мс, в системе		
	MySQL (v. 8.0.36)	PostgreSQL (v. 16.1)	MariaDB (v. 10.11)
Создание страницы	149	234	142
Добавление группы параметров при помощи AJAX	1314	1423	1208
Сохранение страницы	584	787	536
Фильтрация страниц	1077	984	981
Загрузка страницы модулей	1268	1587	1147

Результаты эксперимента показывают, что у СУБД MariaDB лучшая производительность при работе с ГИС онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района. Следовательно, применение этой системы более предпочтительно в программном комплексе ГИС комплексной оценки состояния биосферы при условии использования в ней программных технологий Drupal 7 и PHP.

Заключение

1. Анализ видов данных, используемых в геоинформационных системах, показал, что такие системы для комплексной оценки состояния биосферы должны обеспечивать возможность работы со всеми видами пространственных данных, которые могут потребоваться для решения задач различного характера в области мониторинга окружающей среды. При этом в геоинформационных системах комплексной оценки состояния биосферы используются структурированные данные. Следовательно, в качестве системы управления базой данных рационально применять реляционную систему.

2. Выбранная в процессе экспериментов система управления базой данных MariaDB показала лучшую производительность при работе с геоинформационной системой комплексной оценки состояния биосферы на примере системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды города Орши и Оршанского района.

Список литературы

1. Красовская, И. А. ГИС-технологии / И. А. Красовская, Д. М. Курлович, А. Н. Галкин. Витебск: Витеб. гос. ун-т им. П. М. Машерова, 2015.
2. Tangible Modeling with Open Source GIS / A. Petrasova [et al.]. Springer Internat. Publ., 2018.
3. Об охране окружающей среды: Закон Респ. Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-ХІІ, с изм. и доп. Минск: Нац. центр прав. инф. Респ. Беларусь, 2022.
4. Журавков, В. В. Разработка веб-ориентированного интерфейса для проведения ретроспективного анализа данных системы онлайн-мониторинга состояния компонентов окружающей среды г. Орши и Оршанского района / В. В. Журавков, Б. А. Тонконогов, П. К. Шалькевич // г. Сахаровские чтения 2022 года: экологические проблемы XXI века: матер. 22-й Междунар. науч. конф., г. Минск, 19–20 мая 2022 г.; в 2 ч. Минск: Информ.-вычисл. центр Мин-ва финан. Респ. Беларусь, 2022. Ч. 2.

5. Шалькевич, П. К. Компьютерное прогнозирование пространственного распределения концентрации Cs-137 в почве / П. К. Шалькевич // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2021. Т. 65, № 2. С. 139–145.
6. Шалькевич, П. К. Алгоритм автоматизации процессов ввода и обработки исходных данных для компьютерного прогнозирования пространственной миграции радионуклидов в почвах / П. К. Шалькевич, А. О. Долматова // Цифровая трансформация. 2023. Т. 29, № 3. С. 34–42.
7. Application of Modern GIS and Remote Sensing Technology Based on Big Data Analysis in Intelligent Agriculture / X. Wang [et al.] // J. Indian Soc Remote Sens. 2022. Vol. 50, No 2.
8. Spatial Modeling Through GIS Analysis of Flood Risk and Related Financial Vulnerability: Case Study: Turcu River, Romania / S. Trif [et al.] // Applied Sciences. 2023. Vol. 13, No 17.
9. The Comparison of Vector and Raster Data for The Calculation of Landscape Environment Using a Geographic Information System Approach / E. Giofandi [et al.] // IT Journal Research and Development. 2023. Vol. 7, No 2. P. 209–219.
10. Пинаев, В. Е. Оценка современного состояния окружающей среды / В. Е. Пинаев, Д. А. Шахин // Интернет-журнал «Науковедение». 2013. № 6. С. 1–11.
11. Ципилева, Т. А. Геоинформационные системы / Т. А. Ципилева; 2-е изд. Томск: Томск. межвуз. центр дистан. образ., 2004.
12. Коннолли, Т. Базы данных: проектирование, реализация, сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли, К. Бегг; 3-е изд. М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.
13. Шарипова, Н. Н. Об использовании NoSQL-хранилищ данных / Н. Н. Шарипова // Восточно-европейский научный журнал. 2016. Т. 9, № 3. С. 73–76.
14. Most Popular Database Management Systems 2023 [Electronic Resource]. Mode of access: <https://www.statista.com/statistics/809750/worldwide-popularity-ranking-database-management-systems/>. Data of access: 08.12.2023.
15. Rajput, V. Fundamentals of DBMS / V. Rajput // LAP LAMBERT Academic Publishing. 2021.
16. Silberschatz, A. Database System Concepts / A. Silberschatz, H. Korth, S. Sudarshan. McGraw Hill, 2021.

References

1. Krasovskaya I. A., Kurlovich D. M., Galkin A. N. (2015) *GIS Technologies: A Course of Lectures*. Vitebsk, Vitebsk State University named after P. M. Masherov (in Russian).
2. Petrasova A., Harmon B., Petras V., Mitsova H. (2018) *Tangible Modeling with Open Source GIS*. Springer Internat. Publ.
3. *On Environmental Protection, Law Rep. Belarus, Dated 26 Nov. 1992, No 1982-XII*. Minsk, National Center of Legal Information of the Republic of Belarus, 2022 (in Russian).
4. Zhuravkov V. V., Tonkonogov B. A., Shalkevich P. K. (2022) Development of a Web-Based Interface for Retrospective Analysis of Data from an Online Monitoring System of the State of Environmental Components in Orsha and the Orsha Region. *Sakharov Readings 2022, Environmental Problems of the XXI Century Minsk, Republic of Belarus, at 2 Part*. Minsk, Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus (in Russian).
5. Shalkevich P. K. (2021) Computer Prediction of the Spatial Distribution of Cs-137 Concentration in Soil. *Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*. 65 (2), 139–145 (in Russian).
6. Shalkevich P. K., Dolmatova, A. O. (2023) Algorithm for Automating Input and Processing of Initial Data for Computer Forecasting of Spatial Migration of Radionuclides in Soils. *Digital Transformation*. 29 (3), 34–42 (in Russian).
7. Wang X., Yu S., Wen Z., Zhang L., Fang C., Jiang L. (2022) Application of Modern GIS and Remote Sensing Technology Based on Big Data Analysis in Intelligent Agriculture. *J. Indian Soc Remote Sens*. 50 (2).
8. Trif S., Bilaşco S., Petrea D., Roşka S., Fodorean I., Vescan L. (2023) Spatial Modeling Through GIS Analysis of Flood Risk and Related Financial Vulnerability: Case Study: Turcu River, Romania. *Applied Sciences*. 13 (17).
9. Giofandi E., Munibah K., Kraugusteeliana K., Novalinda A., Sekarrini C. (2023) The Comparison of Vector and Raster Data for the Calculation of Landscape Environment Using a Geographic Information System Approach. *IT Journal Research and Development*. 7 (2), 209–219.
10. Pinaev V. E., Shakhin D. A. (2013) Assessment of the Current State of the Environment. *Internet Journal "Science"*. (6), 1–11 (in Russian).
11. Tsipileva T. A. (2004) *Geoinformation Systems*. Tomsk, Tomsk Interuniversity Center for Distance Education (in Russian).
12. Connolly T., Begg K. (2003) *Databases: Design, Implementation, Maintenance. Theory and Practice*. Moscow, Publishing House "Williams" (in Russian).

13. Sharipova N. N. (2016) On the Use of NoSQL Data Warehouses. *Eastern European Scientific Journal*. 9 (3), 73–76 (in Russian).
14. Most Popular Database Management Systems 2023. Available: <https://www.statista.com/statistics/809750/worldwide-popularity-ranking-database-management-systems/> (Accessed 8 December 2023).
15. Rajput V. (2021) Fundamentals of DBMS. *LAP LAMBERT Academic Publishing*.
16. Silberschatz A., Korth H., Sudarshan S. (2021) *Database System Concepts*. McGraw Hill.

Вклад авторов

Шалькевич П. К. определил цель и задачи проведенных исследований, сформулировал введение и заключение, выполнил эксперимент и научное редактирование статьи.

Лавникович Д. С., Городная Ю. С., Чемецова А. В. выполнили анализ видов данных, используемых в ГИС, анализ структур БД и СУБД, внеся равный вклад в написание статьи.

Authors' contribution

Shalkevich P. K. defined the purpose and objectives of the researches, formulated an introduction and conclusion, performed the experiment and the scientific editing of the article.

Lavnikovich D. S., Gorodnaya Yu. S., Chementsova A. V. performed the analysis of data types used in GIS, the analysis of database structures and DBMS, making an equal contribution to the writing of the article.

Сведения об авторах

Шалькевич П. К., канд. техн. наук, доц., зав. каф. информационных технологий в экологии и медицине, Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова Белорусского государственного университета

Лавникович Д. С., студ., Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР)

Городная Ю. С., студ., БГУИР

Чемецова А. В., студ., БГУИР

Адрес для корреспонденции

220070, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Долгобродская, 23
Международный государственный экологический
институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета
Тел.: +375 17 230-68-97
E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com
Шалькевич Павел Константинович

Information about the authors

Shalkevich P. K., Cand. of Sci., Associate Professor, Head of the Department of Information Technologies in Ecology and Medicine, International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University

Lavnikovich D. S., Student, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (BSUIR)

Gorodnaya Yu. S., Student, BSUIR

Chementsova A. V., Student, BSUIR

Address for correspondence

220070, Republic of Belarus,
Minsk, Dolgobrodskaya St., 23
International Sakharov
Environmental Institute
of Belarusian State University
Tel.: +375 17 230-68-97
E-mail: p.k.shalkevich@gmail.com
Shalkevich Pavel Konstantsinovich