

<https://doi.org/10.52676/1729-7885-2025-2-185-193>

УДК 04.652.4:550.34

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ, ЗАФИКСИРОВАННЫХ СТАНЦИЯМИ СЕТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Е. Г. Бижанов*, Д. Д. Гордиенко, Э. А. Исағали, Н. Н. Михайлова

Филиал «Институт геофизических исследований» РГП НЯЦ РК, Алматы, Казахстан

* E-mail для контактов: byerz100@mail.ru

В статье представлены результаты разработки и внедрения базы данных сильных движений на территории Казахстана, зарегистрированных станциями сети Национального ядерного центра Республики Казахстан. На основе анализа ключевых требований к хранению и обработке сейсмических данных предложена архитектура базы данных, реализованная с использованием СУБД PostgreSQL и сопутствующего клиентского приложения на языке программирования Python, с применением дополнительных библиотек обработки и визуализации данных. Подробно описаны функциональные возможности, обеспечивающие эффективную работу с данными. Обоснована значимость и актуальность разработанной базы данных для решения задач оценки сейсмической опасности и сейсмостойкого проектирования. Определены перспективные направления развития базы данных, включая расширение функционала клиентского приложения и интеграцию с другими платформами.

Ключевые слова: Python, Streamlit, PostgreSQL, база данных, база данных сильных движений.

ВВЕДЕНИЕ

Для сейсмостойкого строительства первостепенное значение имеет информация о сейсмических колебаниях при сильных землетрясениях. Информация, получаемая станциями сильных движений, является, по существу, «мостом» между сейсмологией и сейсмостойким строительством. Записи сильных землетрясений служат основой для правильного задания сейсмических воздействий при расчете сейсмических нагрузок на здания и сооружения. Статистика накопленных данных по сильным движениям позволяет создавать семейства воздействий в форме временных цифровых рядов для создания специальных строительных кодов (строительных норм и правил для строительства в сейсмических районах), по которым производится задание сейсмических нагрузок в конкретном районе сейсмоактивной территории. Как правило, сильные движения регистрируются в форме акселерограмм сейсмических колебаний, наиболее полным и удобным для строителей виде учета воздействий.

В базе данных собраны и систематизированы результаты определения параметров записей сильных движений, наиболее важные для строителей. Это максимальные ускорения колебаний и максимальные колебательные скорости с соответствующими значениями доминантных периодов. Дано описание характеристик землетрясений, при которых получены данные параметры. Приведены полные сведения о станциях регистрации сильных движений на территории Республики Казахстан. Дополнительную информацию о станциях сейсмической сети НЯЦ можно получить на веб-сайте [1].

Научная новизна исследования состоит в следующем. Создана база данных, сочетающая в себе:

- уникальную информацию, полученную в результате углублённой обработки записей сильных движений,

- и программное обеспечение, позволяющее эффективное хранение, редактирование, визуализацию и анализ данных.

Такое сочетание обеспечивает принципиально новые возможности при работе с объёмными массивами сейсмологических данных и позволяет выполнять количественную оценку параметров сейсмических воздействий с высокой степенью достоверности и оперативности. Разработка ориентирована на прикладное использование при решении задач оценки сейсмической опасности и сейсмостойкого проектирования.

МАТЕРИАЛЫ И СРЕДСТВА

Объектом исследования в настоящей работе является база данных сильных движений. База данных, включающая интерактивное клиентское приложение, предназначена для загрузки, хранения, систематизации и анализа данных о сильных землетрясениях, повлекших за собой сильные движения грунта и зарегистрированных на территории Казахстана в период с 2006 по 2024 годы. Этот материал содержит сведения о 411 сейсмических событиях, зафиксированных на 47 станциях наблюдения. В базу данных включены параметры максимальных ускорений и скоростей колебаний, доминантные периоды, метаданные о землетрясениях и станциях, а также 679 акселерограмм в различных (текстовых, графических и сейсмических) форматах общим объемом порядка 700 Мб. Вся обработка записей сильных движений, определение параметров акселерограмм проведено по программе [2]. Пример анализа количественных параметров сильных движений для одного из сейсмоактивных районов – Восточного Казахстана – представлен в работе [3].

Создание базы данных включает в себя несколько этапов:

- *Анализ предметной области*: изучение предметной области, сбор требований от пользователей, определение объемов и типов данных, определение ограничений и условий использования базы данных;
- *Концептуальное проектирование*: построение ER-диаграммы (сущность-связь), определение основных сущностей, определение связей между сущностями, выявление атрибутов сущностей;
- *Логическое проектирование*: преобразование концептуальной модели в логическую модель (реляционную), проектирование таблиц: поля, типы данных, первичные и внешние ключи, нормализация (устранение избыточности и аномалий), установка ограничений;
- *Физическое проектирование*: реализация логической модели в СУБД PostgreSQL на практике, заполнение реальными данными;
- *Разработка пользовательского графического интерфейса* для взаимодействия с базой данных, реализованного в виде веб-интерфейса;
- *Тестирование* корректности работы всех пользовательских запросов, проверка ограничений, целостности данных и анализ производительности;
- *Развертывание* в рабочей среде, создание пользовательской документации.

В рамках проектирования и реализации базы данных сильных движений были определены и реализованы следующие ключевые требования:

- *Конвертация исходных данных и их загрузка в базу данных сильных движений*. На начальном этапе исходные данные были представлены в формате .docx. С целью автоматизации и оптимизации процессов загрузки исходных данных в базу данных они были конвертированы в формат .csv, что позволило интегрировать их с использованием соответствующих библиотек языка программирования Python.
- *Обновление записей*. База данных поддерживает возможность модификации уже внесённых записей. Это позволяет своевременно актуализировать информацию в базе данных, отражая происходящие изменения и обеспечивая высокую степень достоверности представленных сведений.
- *Вставка записей*. Реализован механизм эффективной вставки новых данных, направленный на расширение информационного содержания базы данных. Данный функционал обеспечивает последовательное накопление сведений о событиях и способствует поддержанию её актуальности.
- *Извлечение записей*. Обеспечено двустороннее представление данных: в табличной форме в пользовательском веб-интерфейсе и в виде экспортируемого файла формата .csv, предназначенного для последующего анализа и обработки.
- *Удаление записей*. Для поддержания целостности и структурной упорядоченности базы данных реализована функция удаления нерелевантных или ошибочных записей. Это позволяет устранить ин-

формационный шум и повысить качество последующего анализа.

- *Фильтрация записей*. В базу данных внедрён функционал фильтрации записей по различным параметрам. Данная возможность существенно упрощает навигацию по базе данных и способствует выполнению целенаправленного анализа информации.
- *Поиск записей*. Разработан модуль выборочного поиска, ориентированный на извлечение данных по заданным столбцам таблицы. Это обеспечивает оперативный доступ к информации о конкретных событиях и позволяет использовать систему в контексте прикладных исследовательских задач.
- *Пользовательский интерфейс*. Особое внимание уделено разработке интуитивно понятного графического интерфейса, обеспечивающего удобство работы конечных пользователей. Интерфейс способствует эффективному взаимодействию с функциональными модулями базы данных и обеспечивает доступ к основным операциям управления данными.

База данных состоит из следующих сущностей, каждая из которых представляет собой отдельную категорию данных, важную для его функционирования:

- *Землетрясения (sm_earthquake)*. Сущность sm_earthquake представляет собой центральную таблицу базы данных, содержащую ключевую информацию о зарегистрированных сейсмических событиях. В данной сущности хранятся следующие атрибуты: уникальный идентификатор записи, уникальный идентификатор события, дата и время его возникновения, географические координаты (широта и долгота), глубина очага, значения магнитуд по различным шкалам (mb, mr_v, Mw), энергетический класс, названия сейсмостанций, зафиксировавших событие, а также параметры интенсивности, пиковых ускорений, скоростей и периодов колебаний. Эти характеристики являются основой для дальнейшего анализа и оценки воздействия землетрясений.
- *Хэши файлов (sm_hashdfile)*. Сущность sm_hashdfile предназначена для хранения контрольной информации, обеспечивающей идентификацию и целостность файлов, связанных с сейсмическими событиями. Основными атрибутами данной сущности являются: уникальный идентификатор записи (id), хэш-суммы, вычисленные по содержимому файлов с использованием криптографического алгоритма, а также наименования соответствующих файлов. Использование хэш-функций позволяет контролировать подлинность и неизменность данных на этапе хранения и обработки.
- Связь между сущностями sm_earthquake и sm_hashdfile реализуется посредством внешнего ключа sm_hashdfile_id в таблице sm_earthquake, ссылающегося на соответствующую запись из таблицы sm_hashdfile. Данный механизм обеспечивает контроль корректности загрузки файлов, необходимых

для наполнения и обновления таблицы `sm_earthquake`. Импорт данных из файлов в основную таблицу сейсмических событий осуществляется при определенных условиях после проверки двух параметров — имени файла и его хэш-суммы, предварительно вычисленной и сохранённой в таблице `sm_hashdfile`. Это обеспечивает верификацию и целостность поступающих данных.

В соответствии с ключевыми требованиями пользователей были разработаны механизмы обработки данных, реализованные в виде отдельных функциональных модулей, которые представлены в формате файлов с расширением `.py`. Каждый модуль отвечает за выполнение специфических задач, что обеспечивает модульность, расширяемость и удобство сопровождения программного обеспечения. Внутренняя структура каждого модуля представлена функциями, обеспечивающими поэтапную реализацию заложенной логики обработки.

База данных реализована в виде веб-интерфейса с использованием следующих основных инструментов:

- Python (ver. 3.12) – основной язык программирования) [4];
- Streamlit (ver. 1.36) – фреймворк для визуализации и взаимодействия;
- PostgreSQL (ver. 16.2) – система хранения данных.

Обоснование выбора инструментов.

1. Streamlit (Python-фреймворк для интерфейса).

Streamlit был выбран для создания пользовательского интерфейса благодаря следующим преимуществам:

- Простота разработки – позволяет создавать интерактивные веб-интерфейсы на Python без необходимости знания HTML/CSS/JavaScript;
- Быстрое прототипирование – готовые компоненты (графики, таблицы, фильтры) можно добавлять в код буквально несколькими строками;
- Интеграция с научными библиотеками – отлично работает с Pandas, Matplotlib и другими инструментами анализа данных;
- Автоматическое обновление – интерфейс мгновенно реагирует на изменения в коде или данных.

Альтернативы (Django, Flask) требуют больше времени на настройку и дополнительных знаний, что избыточно для задач данного проекта, где ключевая цель – удобная визуализация данных [6].

2. PostgreSQL (система управления базами данных). Выбор PostgreSQL обусловлен её характеристиками:

- Надёжность – поддержка транзакций и резервного копирования гарантирует сохранность данных;
- Производительность – эффективно обрабатывает сложные запросы и большие объёмы данных;

– Гибкость – поддерживает разнообразные типы данных (текст, числа, геоанные, JSON) и позволяет создавать пользовательские функции;

– Многопользовательский режим – корректно работает при одновременном доступе многих пользователей.

Альтернативы:

– SQLite – слишком прост для веб-интерфейса, не поддерживает многопользовательский доступ.

– MySQL – уступает PostgreSQL в возможностях аналитики и работе со сложными данными.

– MongoDB (NoSQL) – не подходит, так как проект требует чёткой структуры данных и сложных связей между таблицами.

PostgreSQL обеспечивает оптимальный баланс между мощностью, удобством и совместимостью с Python-экосистемой [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных работ были выполнены ключевые требования к базе данных сильных движений. Была создана полнофункциональная система для хранения и анализа сейсмических данных, охватывающая ключевые аспекты работы с информацией о сильных движениях, зарегистрированных на территории Республики Казахстан. Ниже представлены основные достижения, а также анализ полученных результатов.

Архитектура базы данных

Вся логика взаимодействия пользователя с данными (рисунок 1) реализована через графический интерфейс, позволяющий проводить интерактивную фильтрацию, поиск, экспорт и визуализацию сейсмической информации.

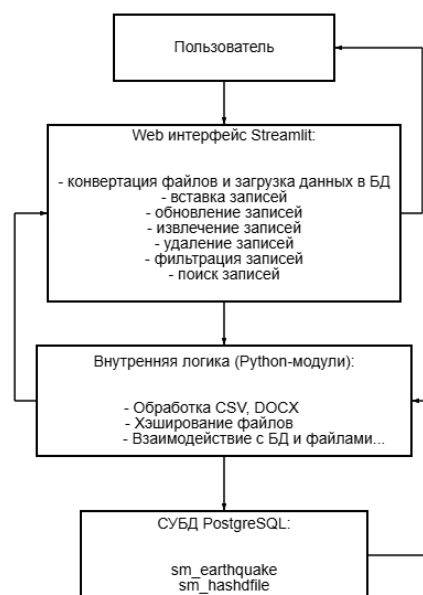


Рисунок 1. Архитектура базы данных

Логическая модель базы данных представлена на рисунке 2.

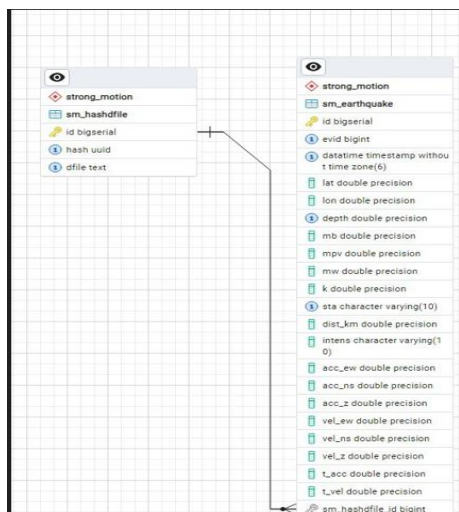


Рисунок 2. Логическая модель базы данных сильных движений

Описание интерфейса базы данных:

1. **Основная страница.** Здесь лаконично описываются все функции базы данных (рисунок 3).

2. **Загрузка и конвертация данных.** Приложение поддерживает загрузку файлов в формате '.docx' с последующей конвертацией в '.csv'. Для предотвращения дублирования данных реализован механизм проверки уникальности на основе хэш-сумм и названий файлов. Алгоритм обработки включает четыре возможных сценария:

1) **Новые данные** – загружаются в систему (рисунок 4).

2) **Дубликаты** – исключаются из обработки (рисунок 5).

3) **Обновленные файлы** – заменяют предыдущие версии.

4) **Переименованные файлы** – идентифицируются по хэш-сумме и не загружаются повторно.



Рисунок 3. Основная страница базы данных

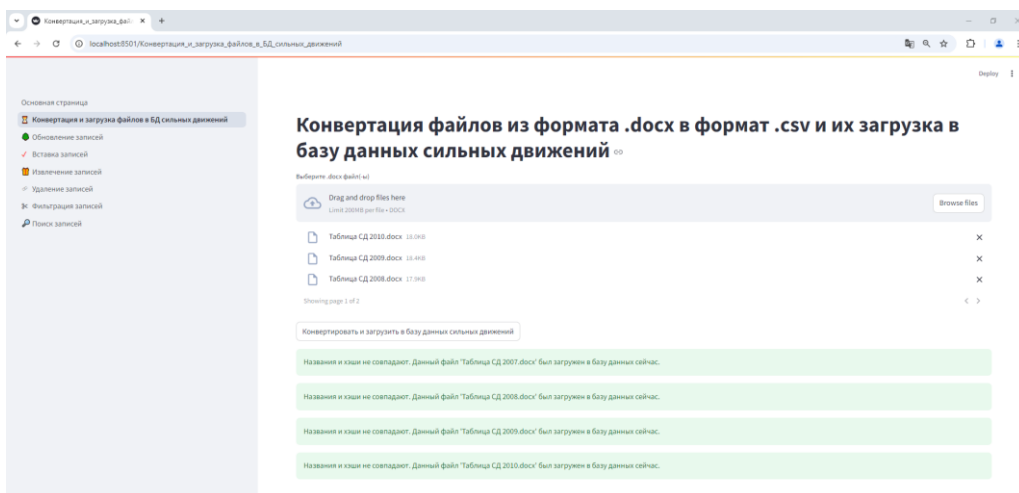


Рисунок 4. Загрузка нового файла в базу данных сильных движений

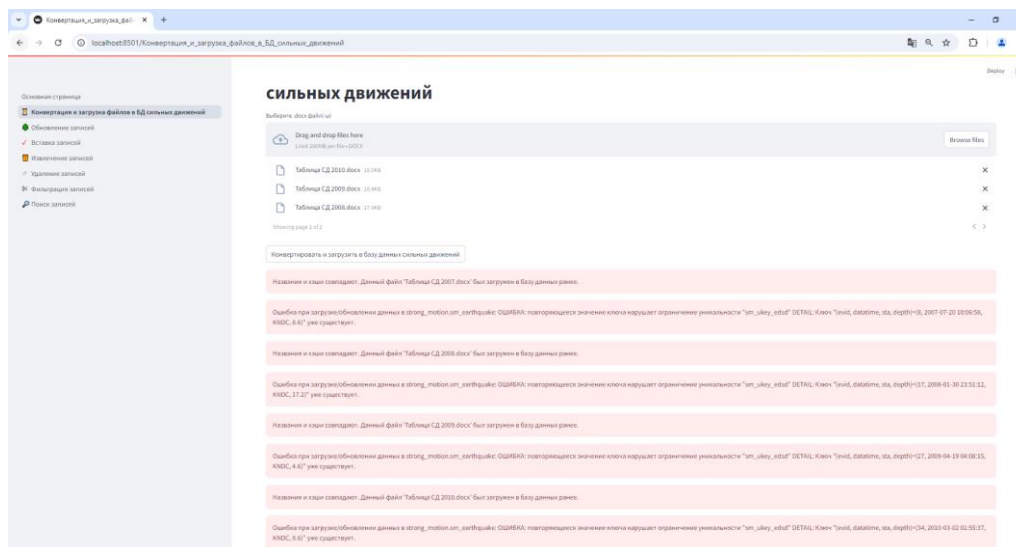


Рисунок 5. Файл, который был ранее загружен в базу данных сильных движений

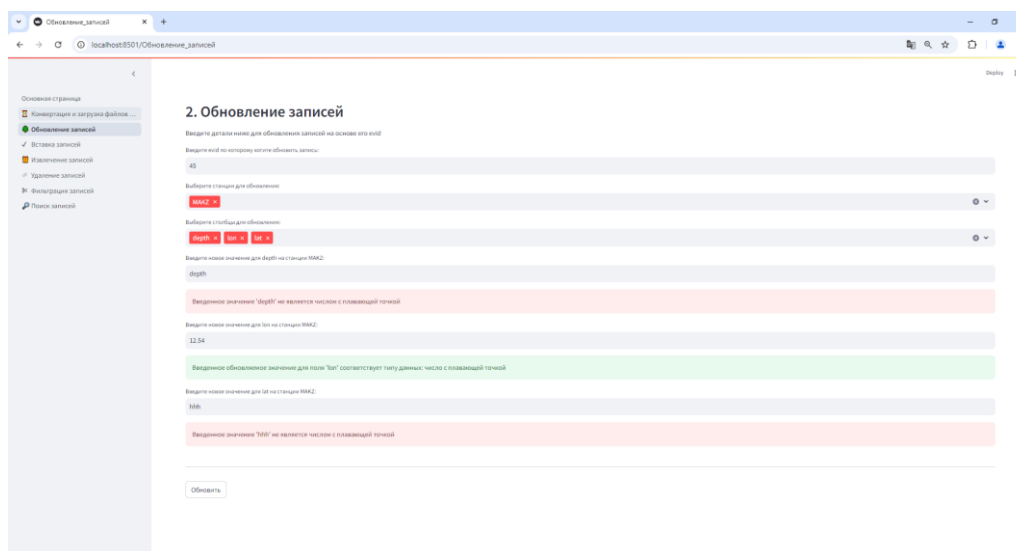


Рисунок 6. Обновление записей в базе данных сильных движений

3. **Управление записями.** Для модификации данных в базе реализованы следующие функции:

- Обновление записей – изменение параметров событий с проверкой типов данных (рисунок 6).
- Добавление записей – вставка новых событий с проверкой типов данных и обязательным указанием ключевых полей 'evid', 'datetime', 'sta', 'dist km' для обеспечения уникальности записи (рисунок 7).
- Удаление записей – поддерживается как удаление всего события, так и отдельных станций с предварительной проверкой на наличие перед удалением (рисунок 8 и 9).

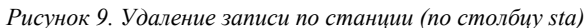
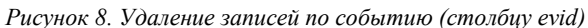
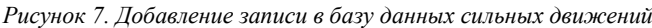
4. **Фильтрация и визуализация.** Приложение предоставляет инструменты для динамической фильтрации данных с возможностью настройки условий отбора. Результаты отображаются в виде интерактивной карты, где события представлены точками с воз-

можностью просмотра деталей при наведении курсора (рисунок 10).

5. **Поиск и экспорт данных.** Поиск выполняется по точному соответствию в заданных столбцах (рисунок 11), а извлеченные данные могут быть сохранены в формате '.csv' для дальнейшего анализа или отображены в самом приложении (рисунок 12).

Сама база данных демонстрирует высокую эффективность при работе с большими массивами сейсмических данных. Ключевые преимущества:

- **Гибкость** – поддержка различных операций с данными.
- **Наглядность** – интерактивная визуализация на карте.
- **Автоматизация** – проверка типов данных и уникальности записей.



РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ, ЗАФИКСИРОВАННЫХ СТАНЦИЯМИ СЕТИ НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

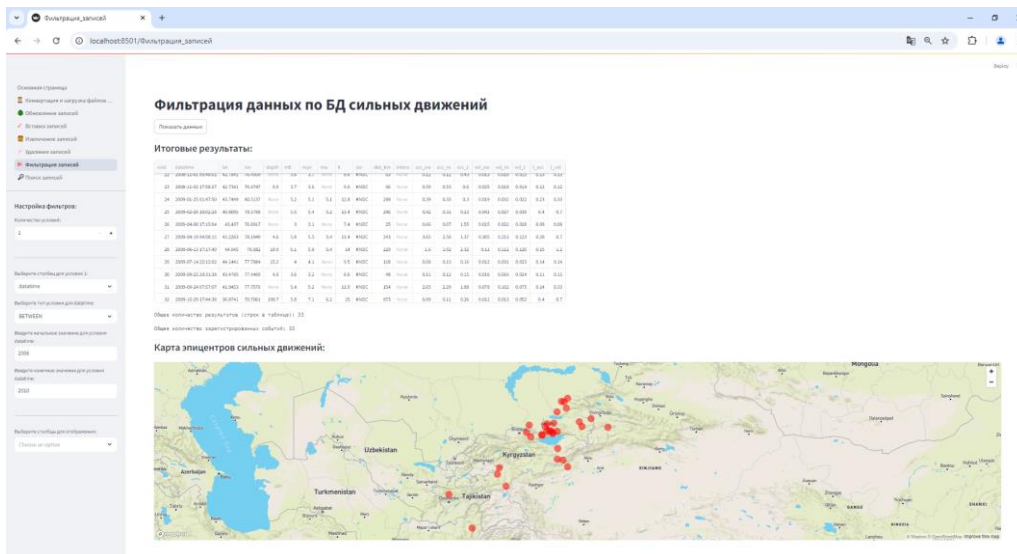


Рисунок 10. Результаты после применения фильтров

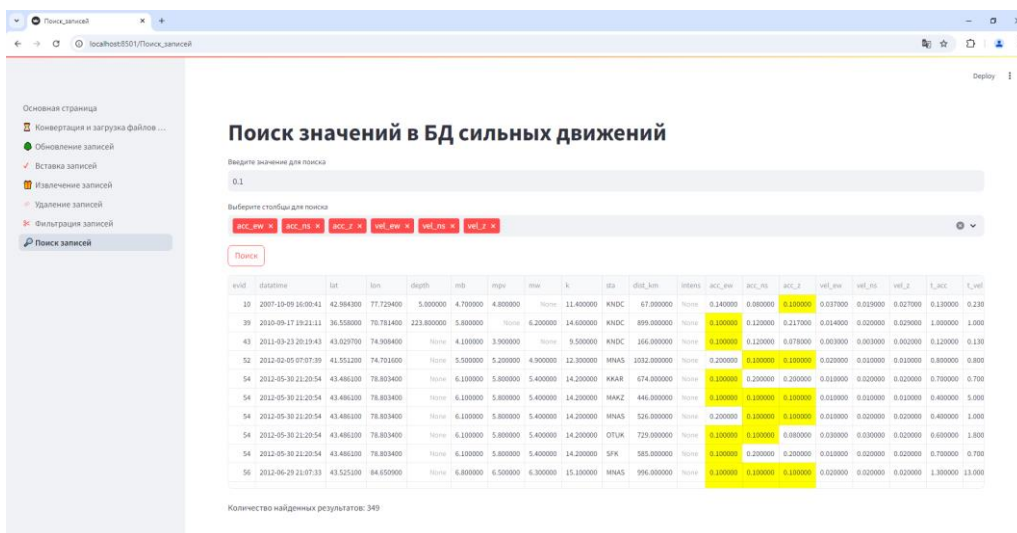


Рисунок 11. Поиск значений в базе данных сильных движений

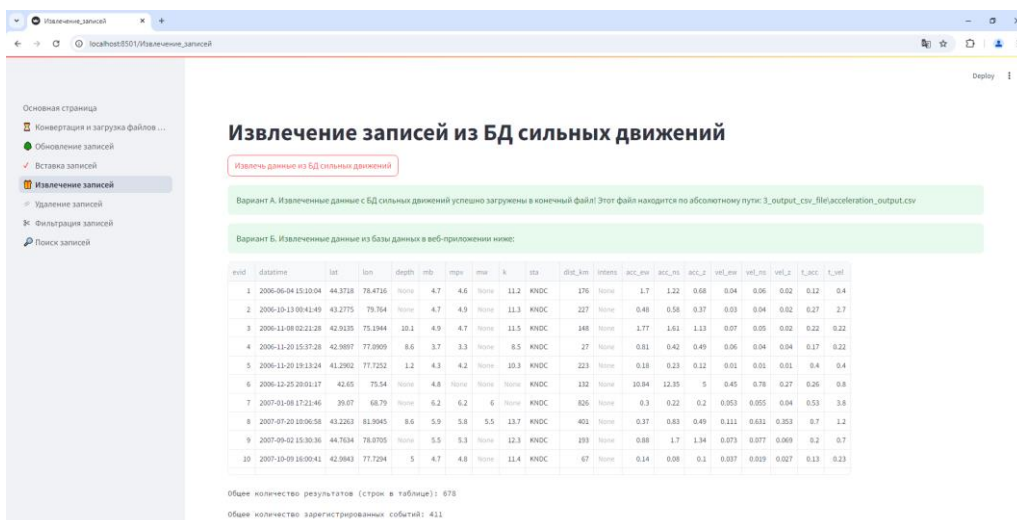


Рисунок 12. Извлечение записей из базы данных сильных движений в двух вариациях

Ограничением системы является необходимость предварительной подготовки данных в определенном формате, что требует дополнительных усилий от пользователя. Несмотря на необходимость предварительной подготовки данных в заданном формате, функциональность базы данных в полной мере отвечает потребностям пользователей. Это особенно важно с учётом круга лиц, непосредственно взаимодействующих с базой данных.

В текущей конфигурации базы данных правами пользователя обладают все научные сотрудники Центра сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСИ). В рамках предоставленных полномочий они имеют доступ к следующим операциям: конвертация файлов, ввод новой информации, обновление и удаление данных, а также выполнение операций чтения, фильтрации и поиска по базе данных. Полный административный доступ зарезервирован за разработчиком базы данных – Бижановым Е.Г.. Администратор обладает исключительными правами на внесение изменений в архитектуру и структуру базы данных, проведение технических корректировок, обеспечивающих её устойчивую работу, а также на оказание методологической и технической поддержки пользователям базы данных. На текущем этапе база данных не реализует механизм разграничения ролей, логирования действий пользователей. Указанные функции могут быть добавлены в последующих версиях по мере развития программного обеспечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

База данных представляет собой эффективный инструмент для хранения и последующего анализа сильных сейсмических движений. Функциональность базы данных и клиентского приложения позволяет значительно упростить процесс обработки данных, что делает его полезным для научных исследований в области сейсмологии и проектировании сейсмостойких объектов. Дальнейшее развитие системы может включать интеграцию с другими базами данных и расширение возможностей визуализации.

Исследования выполнены при финансовой поддержке МНВО РК (BR21881915 «Применение ядерных, сейсмических и инфразвуковых методов для оценки климатических изменений и смягчения последствий изменения климата»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Kazakhstan National Data Center [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.kndc.kz>.
2. Kashima T. ViewWave Help, IISEE, BRI. 2002.
3. Михайлова Н.Н., Соколов А.Н., Соколова И.Н. Количественные характеристики сейсмических колебаний грунта по записям приборов сильных движений на территории восточного Казахстана // Вестник НЯЦ РК. – 2022. – Вып. 1. С. 28 – 35. <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-28-35>
4. Техническая документация Python [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://docs.python.org/>.
5. Техническая документация PostgreSQL [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (Дата доступа 21.05.2024).
6. Техническая документация Streamlit [Электронный ресурс]. – 2025. – URL: <https://docs.streamlit.io/>.

REFERENCES

1. Kazakhstan National Data Center [Electronic resource]. – 2025. – URL: <https://www.kndc.kz>.
2. Kashima T. ViewWave Help, IISEE, BRI. 2002.
3. Mikhailova N.N., Sokolov A.N., Sokolova I.N. Quantitative characteristics of seismic ground oscillations by strong motion records on the East Kazakhstan territory // NNC RK Bulletin. – 2022. – No. 1. – P. 28–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.52676/1729-7885-2022-1-28-35>
4. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Python [Electronic resource]. – 2025. – URL: <https://docs.python.org/>.
5. Tekhnicheskaya dokumentatsiya PostgreSQL [Electronic resource]. – 2025. – URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (Date of access 21.05.2024).
6. Tekhnicheskaya dokumentatsiya Streamlit [Electronic resource]. – 2025. – URL: <https://docs.streamlit.io/>.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ СТАНЦИЯЛАР ЖЕЛІСІ ТІРКЕГЕН КҮШТІ ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫҢ ДЕРЕКҚОРЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ

Е. Г. Бижанов*, Д. Д. Гордиенко, Ә. А. Исағали, Н. Н. Михайлова

ҚР ҰЯО РМК «Геофизикалық зерттеулер институты» филиалы, Алматы, Қазақстан

** Байланыс үшін E-mail: byerz100@mail.ru*

Мақалада Қазақстан Республикасы Ұлттық ядролық орталығының станциялар желісі тіркеген Қазақстан аумағындағы күшті жер сілкіністерінің деректер базасын әзірлеу және енгізу нәтижелері ұсынылған. Сейсмикалық деректерді сақтау және өңдеуге қойылатын негізгі талаптарды талдау негізінде дерекқор архитектурасы ұсынылды. PostgreSQL МББЖ дерекқорын басқару жүйесін және деректерді өңдеу мен визуализациялауға арналған қосымша кітапханаларды пайдалана отырып, Python бағдарламалау тілінде әзірленген клиенттік қосымша көмегімен іске асырылды. Деректермен тиімді жұмыс істеуді қамтамасыз ететін функционалдық мүмкіндіктер жан-жақты сипатталған. Әзірленген дерекқордың сейсмикалық қауіптілікті бағалау және сейсмотұрақты жобалау міндеттерін шешудегі маңыздылығы мен өзектілігі негізделген. Дерекқорды дамытудағы перспективті бағыттар анықталды, оған клиенттік қосымшаның функционалдығын кеңейту және басқа платформалармен интеграциялау кіреді.

Түйін сөздер: Python, Streamlit, PostgreSQL, дерекқор, күшті қозғалыстар дерекқоры.

THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A DATABASE OF STRONG MOTIONS RECORDED BY NETWORK STATIONS OPERATED BY THE NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Ye. G. Bizhanov*, D. D. Gordiyenko, A. A. Isagali, N. N. Mikhailova

Branch "Institute of Geophysical Research" RSE NNC RK, Almaty, Kazakhstan

** E-mail for contacts: byerz100@mail.ru*

This paper presents the results of the development and implementation of a database of strong motions recorded by the network stations operated by the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan. Based on an analysis of the key requirements for storing and processing seismic data, the paper describes an architecture for the database implemented using the PostgreSQL, along with an accompanying client application written with the Python programming language, and using additional libraries for processing and visualizing data. The functionalities that provide effective data management are described in detail. The significance and relevance of the developed database for solving seismic hazard assessment and earthquake engineering design tasks are substantiated. The paper also describes the future development of the database, including the expansion of the client application's functionality and its integration with other platforms.

Keywords: *Python, Streamlit, PostgreSQL, database, strong motion database.*