

*И. И. Дыминский<sup>1\*</sup>, И. В. Смоленский<sup>1</sup>, С. А. Имашев<sup>2</sup>, Д. М. Евменова<sup>3,4</sup>*

## **Цифровая платформа для анализа данных геоэлектromагнитного мониторинга**

- <sup>1</sup> Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск, Российская Федерация  
<sup>2</sup> Научная станция РАН, г. Бишкек-49, Кыргызстан  
<sup>3</sup> Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация  
<sup>4</sup> Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация  
\* email: dymsson@yandex.ru

**Аннотация:** Представлен прототип цифровой платформы для комплексного анализа результатов геофизического мониторинга состояния геосреды. В качестве исходных данных используются результаты, полученные на измерительных пунктах сети электромагнитного мониторинга Научной станции РАН в Киргизии. Платформа построена на клиент-серверной архитектуре, в соответствии с которой процедуры хранения, обработки и анализа данных осуществляются на сервере через единое приложение, к которому авторизованные пользователи подключаются посредством сети Интернет. Функционал платформы включает в себя импорт/экспорт, поиск, анализ и визуализацию данных. Платформа предоставляет возможности для расширения функционала за счет применения к данным алгоритмов машинного обучения.

**Ключевые слова:** цифровая платформа, клиент-серверное приложение, электромагнитный мониторинг, сейсмическая активность

*I. I. Dyminsky<sup>1\*</sup>, I. V. Smolensky<sup>1</sup>, S. A. Imashev<sup>2</sup>, D. M. Evmenova<sup>3,4</sup>*

## **Digital platform for analyzing geoelectromagnetic monitoring data**

- <sup>1</sup> Novosibirsk state technical university, Novosibirsk, Russian Federation  
<sup>2</sup> Scientific station RAS, Bishkek-49, Kyrgyzstan  
<sup>3</sup> Institute of computational mathematics and mathematical geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation  
<sup>4</sup> Institute of petroleum geology and geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation  
\* email: dymsson@yandex.ru

**Abstract:** A prototype of a digital platform for a comprehensive analysis of the results of geophysical monitoring of the state of the geoenvironment is presented. As initial data, the results obtained at the measuring points of the electromagnetic monitoring network of the Scientific Station of the Russian Academy of Sciences in Kyrgyzstan are used. The platform is built on a client-server architecture, according to which the procedures for storing, processing and analyzing data are carried out on the server through a single application, to which authorized users connect via the Internet. The functionality of the platform includes import/export, search, analysis and data visualization. The platform provides opportunities to expand functionality by applying machine learning algorithms to data.

**Keywords:** digital platform, client-server application, electromagnetic monitoring, seismic activity

## ***Введение***

В настоящее время проблема землетрясений остается одной из наиболее актуальных и серьезных глобальных угроз. Несмотря на значительные усилия в области исследований и мониторинга, прогнозирование сейсмических событий остается сложной задачей [1]. Одним из ключевых факторов, необходимых для прогнозирования, является сбор экспериментальных данных о различных аспектах состояния геологической среды, включая ее электрофизические параметры. Однако сбор данных в этой области представляет собой сложную задачу из-за их большого объема и множества источников. Для достижения успеха в этой области необходимо внедрение автоматизированных систем мониторинга, способных обрабатывать и анализировать данные большого объема. Более того, для полного понимания процессов, предшествующих землетрясениям, необходим совместный анализ данных различной природы, таких как сейсмические, геологические и геофизические. Обработка и анализ такого объема разнородных данных требует применения современных методов, включая методы машинного обучения. Вследствие этого разработка и внедрение комплексных автоматизированных систем анализа данных становятся критически важными для достижения прогресса в области прогнозирования землетрясений.

Кроме того, в задачах исследования сейсмичности значительную роль играют экспериментальные полигоны, на которых проводятся многолетние натурные исследовательские работы. Эти полигоны служат основными источниками экспериментальных данных, которые являются необходимыми для анализа и понимания процессов, происходящих в земной коре в ходе развития сейсмического процесса. Наличие большого объема экспериментальных данных, накопленных на протяжении многих лет, играет ключевую роль в обеспечении надежности работы и качества моделей машинного обучения, которые помогают выявить закономерности и тренды в динамике сейсмических процессов. Таким образом, экспериментальные полигоны представляют собой важный ресурс для научных исследований в области сейсмологии и обеспечивают основу для разработки и улучшения методов прогнозирования землетрясений. Бишкекский геодинимический полигон Научной станции РАН в Киргизии (НС РАН) характеризуется широким набором длительных (более 40 лет) мониторинговых геофизических наблюдений [2, 3]. Рассматриваемая цифровая платформа предназначена для комплексного анализа данных электромагнитного мониторинга кажущегося электрического сопротивления геосреды совместно с данными, получаемыми из сейсмологической сети KNET НС РАН, с целью последующего выявления аномалий на различных по физической природе временных рядах, которые могут быть интерпретированы как индикаторы готовящихся землетрясений [4].

### ***Архитектура цифровой платформы***

Клиент-серверная архитектура широко используется в обработке и анализе данных в сфере геофизического и сейсмического мониторинга, учитывая объемы данных и их разнородность [5, 6]. Например, данная архитектура является клю-

чевой в системах центров обработки сейсмологических данных, в которых серверная часть отвечает за сбор, хранение и обработку данных, полученных от сейсмических станций, а также за выполнение первичного анализа и классификацию сейсмических событий. Клиентская же часть представляет собой либо мобильное приложение, которое позволяет пользователям получать уведомления о землетрясениях, а также вносить свои наблюдения и отчеты об осязательности землетрясений, либо исследователей и других заинтересованных лиц, которые могут использовать веб-интерфейс для доступа к данным, визуализации результатов анализа и выполнения запросов к серверу для получения специфических данных, например, волновых форм. Эта архитектура широко применяется в таких областях, где требуется обработка и анализ больших объемов данных, таких как финансовые рынки, медицинская диагностика и телекоммуникации. В этих сферах клиент-серверная архитектура обеспечивает эффективное взаимодействие между различными компонентами системы, что способствует быстрой обработке и передаче данных. В контексте анализа данных геофизического мониторинга для задач анализа и прогноза развития сейсмического процесса, клиент-серверная архитектура становится необходимой из-за:

- масштабируемости: обработка и анализ данных геофизического мониторинга требует значительных вычислительных ресурсов. Серверы, обеспечивающие вычислительную мощность, могут масштабироваться в зависимости от объема данных и требуемой производительности;

- доступности: клиенты, будь то исследователи или сервисы в виде автоматизированных систем, должны иметь постоянный доступ к данным для проведения анализа и принятия решений;

- безопасности: зачастую данные, связанные с сейсмичностью, являются чувствительными и требуют определенного уровня защиты. Клиент-серверная архитектура позволяет реализовать механизмы аутентификации и шифрования для обеспечения безопасности таких данных.

Архитектура взаимодействия серверной и клиентской частей цифровой платформы, использованная в нашей задаче, представлена на рис. 1.

Данные мониторинга, поступающие в платформу с Бишкекского геодинимического полигона и из сейсмологической сети KNET ИС РАН, располагаются в файловом хранилище, представленном в виде реляционной, масштабируемой базы данных. Серверная часть платформы обеспечивает возможность получения доступа к данным двумя способами: либо с помощью инструментов объектно-реляционного отображения базы данных, либо путем отправки SQL-запросов к файловому хранилищу.

Клиентская и серверная части платформы разработаны на языке программирования Python, на сегодняшний день являющегося стандартом в задачах обработки и анализа данных [7]. Клиентская часть реализована с помощью фреймворка Streamlit, предоставляющего широкий спектр инструментов для создания интерактивных панелей визуализации данных [8]. Серверная часть выполнена с помощью веб-фреймворка Fast API. Выбор обусловлен быстродействием данного решения и его простотой, обеспечивающей высокую скорость разработки [9].

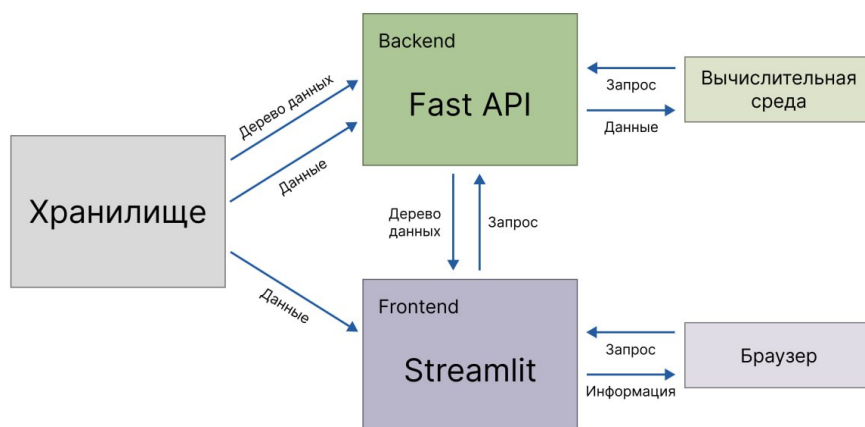


Рис. 1. Схема взаимодействия компонентов прототипа цифровой платформы

Платформа поддерживает два основных сценария работы: взаимодействие с пользователем и взаимодействие с вычислительной средой. Первый сценарий предоставляет пользователю возможность управлять функциональными задачами платформы через веб-браузер путем выбора пунктов мониторинга, интервалов времени наблюдения и магнитуды сейсмических событий, видов отображаемых индикаторов, а также методов обработки и анализа данных. Пользовательский интерфейс платформы представлен на рис. 2.

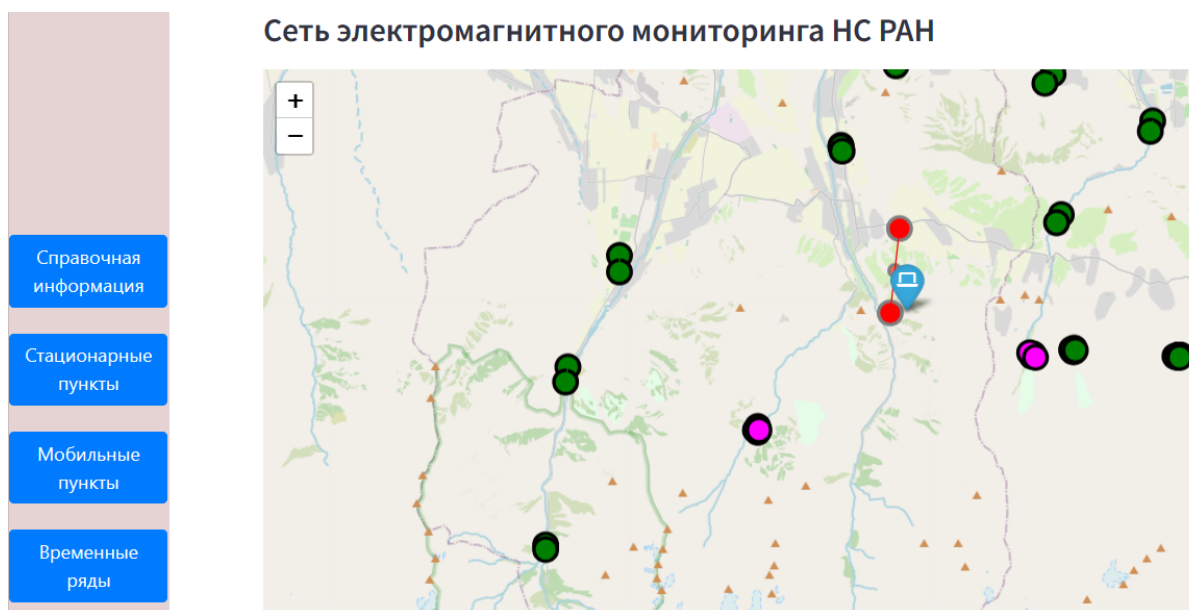


Рис. 2. Пользовательский интерфейс платформы

Помимо функционала для работы с данными электромагнитного мониторинга платформа предоставляет сервис для моделирования и визуализации на единой временной сетке нормализованных от 0 до 1 индикаторов сейсмического события, таких как время прихода максимального сигнала, вольт-временная характеристика и средний доверительный интервал суточных наблюдений, а также

самих сейсмических событий, представленных в виде точек, соответствующих энергетическому классу события. Практический пример одного из возможных способов представления данных мониторинга представлен на рис. 3. Красными точками отмечен Кегетинский рой землетрясений.

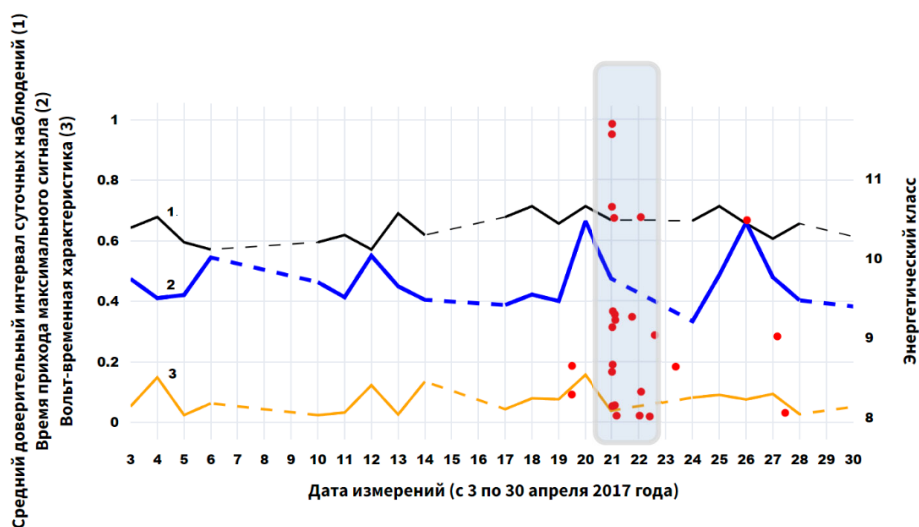


Рис. 3. Ретроспективная временная динамика нормированных значений индикаторов (пункт наблюдения Кегеты, апрель 2017 г.)

Сценарий взаимодействия с вычислительной средой обеспечивает возможность доступа к файловому хранилищу и необходимым методам серверной стороны в фоновом режиме без непосредственного участия пользователя для обеспечения возможности интеграции в платформу нейросетевых моделей для прогнозирования сейсмической активности и автоматизации оценки индикаторов сейсмического события.

### ***Результаты***

Основным результатом данной работы является представленный прототип цифровой платформы для анализа данных электромагнитного мониторинга. Прототип предоставляет функционал для работы с результатами мониторинга (фильтрация по дате, времени и станции мониторинга), а также инструменты анализа данных результатов электромагнитного мониторинга (визуализация различных индикаторов сейсмического события на единой временной сетке с самими сейсмическими событиями, выгрузка временных рядов индикаторов в текстовом виде для дальнейшего формирования обучающих выборок моделей машинного обучения для предсказания сейсмической активности).

### ***Заключение***

Дальнейшее развитие платформы связано не только с совершенствованием алгоритмических методов обработки и визуализации данных электромагнитного мониторинга, но и с добавлением в платформу методов анализа таких данных.

В перспективе планируется расширение функционала платформы для выявления корреляций между предлагаемыми индикаторами и сейсмическими событиями для автоматизации оценки индикаторов и последующего построения как классических моделей машинного обучения, так и современных нейросетевых моделей для прогнозирования сейсмической активности.

### ***Благодарности***

Авторы выражают особую признательность коллективу Научной станции РАН в Киргизии, а также лично д.ф.-м.н. Ю.А. Дашевскому и д.т.н. И.Н. Ельцову за предоставленные материалы, значимые замечания и важнейшие советы при написании данной статьи.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Л.М. Богомолов, Н.А. Сычева. Прогноз землетрясений в XXI веке: предыстория и концепции, предвестники и проблемы // Геосистемы переходных зон. – 2022. – № 6. – С. 145-164.
2. Мухамадеева В.А. Опыт проведения геомагнитных наблюдений на бишкекском геодинамическом полигоне / В.А. Мухамадеева, Е.В. Воронцова, Е.А. Лазарева // Вестник КРСУ. – 2015. – Т.15. – № 3. – С. 130-133.
3. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов северного Тянь-Шаня (Бишкекский Геодинамический Полигон) // Геодинамика и тектонофизика. – 2018 – № 9. – С. 461-487.
4. Евменова Д.М., Дашевский Ю.А., Ельцов И.Н., Рыбин А.К., Имашев С.А. Метод выявления предполагаемого сейсмического события на территории Бишкекского прогностического полигона по данным электромагнитного мониторинга // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тез. докл. IX Междунар. Симпозиума - Бишкек: НС РАН, 2024. – 4 с.
5. Л.П. Брагинская, А.П. Григорюк, В.В. Ковалевский, И.К. Семинский, А.С. Кочнев. Цифровая платформа для комплексных геофизических исследований в Байкальском регионе. // Сейсмические приборы. – 2023. – № 4. – С. 36-49.
6. Семинский К.Ж., Добрынина А.А., Борняков С.А., Саньков В.А., Поспеев А.В., Рассказов С.В., Первалова Н.П., Семинский И.К., Лухнев А.В., Бобров А.А., Чебыкин Е.П., Едемский И.К., Ильясова А.М., Салко Д.В., Саньков А.В., Король С.А. Комплексный мониторинг опасных геологических процессов в прибайкалье: организация пилотной сети и первые результаты. Геодинамика и тектонофизика. 2022 – № 5. – С. 128-153.
7. У. МакКинни. Python и анализ данных // Москва: ДМК-Пресс. – 2023 – 536 с.
8. Т. Ричардс. Streamlit for Data Science // Москва: ДМК-Пресс. – 2024 – 354 с.
9. Б. Любанович. FastAPI: веб-разработка на Python // Москва: O'Reilly. – 2024 – 288 с.

© И. И. Дыминский, И. В. Смоленский, С. А. Имашев, Д. М. Евменова, 2024