

Д. А. Шульгин^{1✉}, А. А. Якименко^{1,2}

Цифровая платформа для обработки и анализа геоэлектромагнитных данных мониторинга

¹Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: shulgin.daniil2003@yandex.ru

Аннотация. В статье представлена цифровая платформа, предназначенная для комплексной работы с данными геоэлектромагнитного мониторинга. Платформа обеспечивает централизованное хранение, автоматизированный расчёт геофизических индикаторов (вольт-временная характеристика, время прихода максимума, среднесуточный размах сигнала), интерактивную визуализацию временных рядов, фильтрацию данных по пространственно-временным критериям и сопоставление с каталогами сейсмических событий.

Ключевые слова: цифровая платформа, геоэлектромагнитный мониторинг, сейсмическая активность, временные ряды, визуализация данных

D. A. Shulgin^{1✉}, A. A. Yakimenko^{1,2}

Digital platform for processing and analysis of geoelectromagnetic monitoring data

¹Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation

²Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS,
Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: shulgin.daniil2003@yandex.ru

Abstract. The article presents a digital platform designed for comprehensive work with geoelectromagnetic monitoring data. The platform provides centralized storage, automated calculation of geophysical indicators (volt-time characteristic, time of maximum arrival, daily signal range), interactive visualization of time series, spatiotemporal filtering of data, and comparison with seismic event catalogs.

Keywords: digital platform, geoelectromagnetic monitoring, seismic activity, time series, data visualization

Введение

В современных геофизических исследованиях объёмы собираемых данных непрерывно растут. Особенно остро эта проблема стоит в задачах сейсмологического мониторинга, где своевременная обработка и интерпретация сигналов имеет критическое значение. Одним из информативных, но сложных для анализа источников являются данные электромагнитного мониторинга, которые могут нести информацию о подготовке сейсмических событий.

На территории Бишкекского геодинимического полигона в течение многих лет накапливались данные измерений кажущегося электромагнитного сопротивления (КЭМС) и сейсмической активности. Однако отсутствие специализированной цифровой инфраструктуры не позволяло проводить систематический автоматизированный анализ, выявлять скрытые закономерности и оперативно сопоставлять электромагнитные аномалии с сейсмологическими каталогами.

Существующие мировые решения (спутниковые миссии DEMETER, CSES, наземные системы VAN/SES), как правило, ориентированы на корпоративное или универсальное применение и обладают рядом ограничений: низкая автоматизация расчёта специализированных индикаторов, зависимость от ручной экспертной интерпретации, закрытость исходных данных и отсутствие гибких инструментов для интеграции с другими аналитическими системами.

Функциональные возможности платформы

Цифровая платформа представляет собой специализированный программный комплекс, обеспечивающий полный цикл работы с данными геоэлектромагнитного мониторинга. В основе её функциональности лежит централизованное хранилище, организованное по иерархическому принципу с разделением по пунктам наблюдения, годам и типам сигналов. Хранение данных в столбцовом формате Parquet с компрессией gzip обеспечивает высокую скорость чтения и эффективное сжатие больших объёмов информации, что особенно важно при работе с многолетними временными рядами измерений кажущегося электрического сопротивления. Такая архитектура хранения позволяет автоматизировать процессы поиска, фильтрации и загрузки данных без использования полноценной системы управления базами данных на начальных этапах эксплуатации, упрощая развёртывание и сопровождение платформы.

Платформа реализует автоматизированный расчёт специализированных геофизических индикаторов, предназначенных для количественной оценки состояния геоэлектрической среды. Исходные сигналы, регистрируемые с дискретностью 44 отсчёта на один эксперимент, предварительно подвергаются кубической сплайн-интерполяции, что позволяет повысить временное разрешение до 2000 отсчётов и, как следствие, повысить точность определения характеристик сигнала. Предусмотрена возможность представления индикаторов как в абсолютных единицах измерения, так и в нормированном виде для обеспечения сопоставимости при совместной визуализации разнородных показателей.

Фильтрация данных является одной из ключевых функций платформы, обеспечивающей возможность селективного анализа информации в зависимости от решаемых исследовательских задач. Пользователь имеет возможность отбирать данные по конкретному пункту наблюдения, задавать произвольный временной интервал в пределах всего доступного периода мониторинга, выбирать один или несколько индикаторов для расчёта и последующего отображения. В отношении сейсмических событий платформа поддерживает фильтрацию по диапазону энергетического класса, по расстоянию от выбранной станции мониторинга, а также по удалённости от центра заданной географической области.

Все параметры фильтрации задаются через графический интерфейс (рис. 1) и обрабатываются в синхронном режиме, обеспечивая оперативное получение релевантной выборки.

Пункт наблюдения

Пункт наблюдения

Кегеты

Временной диапазон

01/04/2022 → 30/05/2022

Каталог сейсмических событий

Каталог

KNET

Радиус вокруг пункта (км) 47

Энергетический класс землетрясения

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18

Метрики

- ☒ Время прихода максимума
- ☒ Вольт-временная характеристика
- ☒ Средний доверительный интервал
- ☒ Индикатор сейсмического события
- ☒ Нормировка метрик

Рис. 1. Параметры фильтрации платформы

Визуализационный модуль платформы реализует интерактивное графическое представление результатов анализа. На единой временной сетке отображаются временные ряды рассчитанных индикаторов и маркеры зарегистрированных сейсмических событий, как показано на рисунке 2. Каждое сейсмическое событие визуализируется с учётом его энергетического класса, что позволяет исследователю проводить качественное сопоставление аномальных изменений электромагнитного поля с произошедшими землетрясениями. Графическая подсистема поддерживает масштабирование фрагментов временной оси, выборочное отключение отдельных временных рядов через элементы легенды и отображение точных численных значений при наведении курсора. Такая визуальная аналитика способствует оперативному выявлению временных совпадений между пиковыми значениями индикаторов и датами сейсмических событий, что служит основой для формулировки и предварительной проверки гипотез о предвестниковых закономерностях.

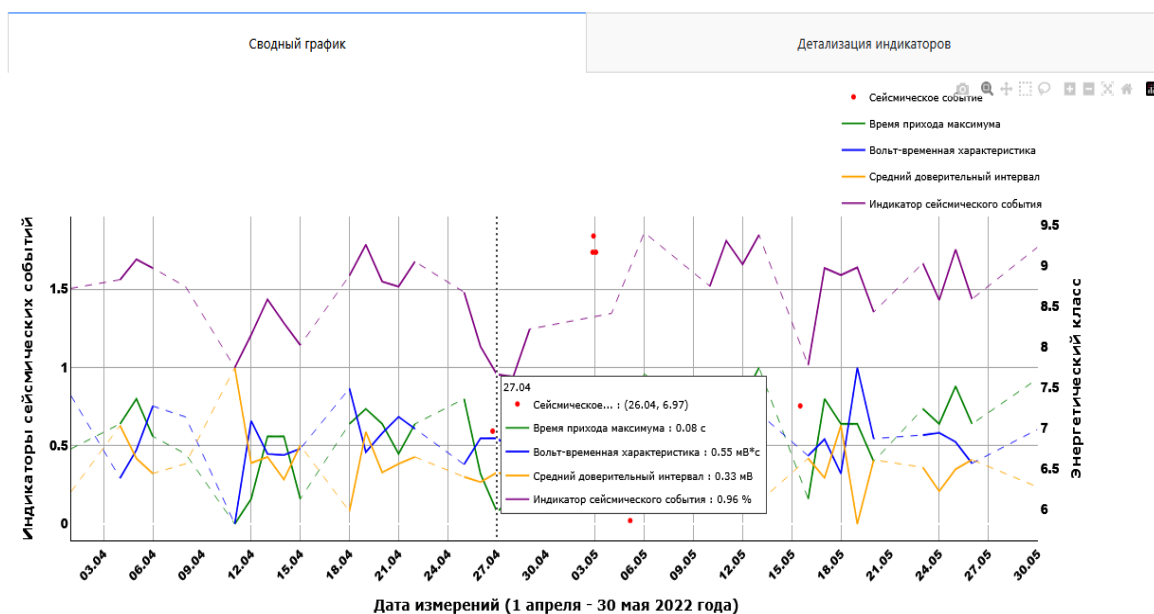


Рис. 2. Отображение результатов визуализации индикаторов и сейсмических событий на единой временной сетке

Для обеспечения интеграции с внешними аналитическими системами платформа предоставляет программный интерфейс, реализованный в архитектурном стиле REST. Посредством данного интерфейса внешние приложения могут выполнять программный запрос списка доступных станций наблюдения, перечня рассчитываемых индикаторов, значений индикаторов за заданный временной интервал, отфильтрованных сейсмических событий, а также исходных необработанных временных рядов. Все ответы API возвращаются в формате JSON, что гарантирует совместимость с большинством современных языков программирования и аналитических платформ. Наличие программного интерфейса позволяет встраивать платформу в сложные аналитические конвейеры и использовать её в качестве источника данных для внешних вычислительных модулей.

Платформа также поддерживает экспорт данных в табличных форматах CSV и XLSX (рис. 3). Исследователь может выгрузить как рассчитанные индикаторы — например, для последующего статистического анализа в специализированных пакетах, — так и исходные измерения. Экспорт осуществляется непосредственно из графического интерфейса, а полученные файлы могут быть открыты в широком спектре офисных и научных приложений, что расширяет функциональные возможности платформы за пределы встроенных инструментов визуализации и анализа.

Дата	ВВХ	ВГМ	СДИ	ИНХ
01.04.2022	0.8212003897360621	0.4799999999999998	0.20530629074851198	1.5065066804845708
04.04.2022	0.29314814238312176	0.6400000000000001	0.628572733180893	1.5617208755640157
05.04.2022	0.47342205691778244	0.8	0.4183879715082126	1.6918100284259951
06.04.2022	0.7539171759178269	0.5599999999999998	0.3223083715846583	1.6362255475024843
08.04.2022	0.6841559957941623	0.44800000000000023	0.3852640833300485	1.5174200791242112
11.04.2022	0	0	1	1
12.04.2022	0.6593125376959865	0.15999999999999989	0.38934683028108075	1.208659367977066
13.04.2022	0.44800972988893295	0.5599999999999998	0.4282961186916792	1.436305848580611
14.04.2022	0.44096944576766395	0.5599999999999998	0.2837428101663942	1.284712255934057
15.04.2022	0.48099371348459985	0.15999999999999989	0.5025069500920698	1.1435006635766687
18.04.2022	0.8667094467034807	0.6400000000000001	0.0809056224543056	1.5876150691577875
19.04.2022	0.45985458483139746	0.73600000000000015	0.5891954933582838	1.7850500781896828
20.04.2022	0.5808347327421476	0.6400000000000001	0.32908949732181786	1.5499242300639664
21.04.2022	0.6854558164845075	0.44800000000000023	0.38437133742124924	1.517827153905757
22.04.2022	0.6088421887673165	0.6400000000000001	0.4284979977587897	1.6773401860211068

Рис. 3. Интерфейс экспорта данных в табличных форматах

Заключение

В рамках проведённой работы введена в эксплуатацию цифровая платформа для обработки и анализа данных геоэлектромагнитного мониторинга. Платформа обеспечивает централизованное хранение многолетних массивов данных, автоматизированный расчёт специализированных геофизических индикаторов (вольт-временной характеристики, времени прихода максимума и среднесуточного размаха сигнала), гибкую фильтрацию информации по пространственно-временным критериям и энергетическим классам сейсмических событий, а также интерактивную визуализацию временных рядов совместно с маркерами землетрясений.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам Бишкекского геологического института при ИС РАН и ИВМиМГ СО РАН за предоставленные данные, ценные консультации и содействие во внедрении платформы.

© Д. А. Шульгин, А. А. Якименко, 2026