

Научная статья

УДК 550.379, 004.514

DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-2-66-82

Разработка программного инструментария для анализа индикаторов землетрясений по данным электромагнитного мониторинга на Бишкекском геодинимическом полигоне

Эллина Николаевна Шорина^{1,2}

Дарья Михайловна Евменова²

Игорь Николаевич Ельцов^{2,3}

Санжар Абылбекович Имашев⁴

¹ Новосибирский государственный университет
Новосибирск, Россия

² Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН
Новосибирск, Россия

³ Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

⁴ Научная станция РАН
Бишкек, Кыргызстан
e.shorina@g.nsu.ru
EvmenovaDM@sscc.ru
inyeltsov@sscc.ru
sanzhar.imashev@yandex.ru

Аннотация

В работе предложен и апробирован метод анализа индикаторов возможной предсейсмической активности, основанный на анализе электромагнитного мониторинга, проводимом в Бишкекском геодинимическом полигоне. Представлен подход, который учитывает геоэлектрическое состояние среды на различных глубинах и позволяет выявлять участки, демонстрирующие повышенную чувствительность к геодинимическим процессам. Используются данные, полученные методом зондирования становлением поля на БГП за 2017 год. Описаны нормальные и аномальные значения сигналов, рассмотрены причины возникновения аномалий, такие как сейсмическая и грозовая активность и воздействие магнитных бурь. На основе анализа исходного материала реализован автоматизированный расчет индикаторных параметров, который отображается в виде дополнительного блока «Многопользовательской платформы для обработки и анализа электромагнитных зондирований и сейсмологических наблюдений – ПЛЭС».

Ключевые слова

Бишкекский геодинимический полигон, электромагнитный мониторинг, индикаторы, прогноз землетрясений, землетрясение, становление поля, автоматизированный подсчет, программный блок

Благодарности

Авторы выражают благодарность коллективам ИВМиМГ СО РАН в Новосибирске и НС РАН в г. Бишкеке за совместную работу.

© Шорина Э. Н., Евменова Д. М., Ельцов И. Н., Имашев С. А., 2026

Финансирование

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН FWNM-2025-0004; Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции РАН «Комплексное исследование геофизических полей и неупругих процессов в сейсмоактивных зонах литосферы Северного Тянь-Шаня для мониторинга и прогноза сейсмической активности» № 1025032800066-3-1.5.1.

Для цитирования

Шорина Э. Н., Еременова Д. М., Ельцов И. Н., Имашев С. А. Разработка программного инструментария для анализа индикаторов землетрясений по данным электромагнитного мониторинга на Бишкекском геодинамическом полигоне // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2026. Т. 24, № 2. С. 66–82. DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-2-66-82

Development of Software Tools for Analyzing Earthquake Indicators Based on Electromagnetic Monitoring Data at the Bishkek Geodynamic Polygon

Ellina N. Shorina^{1,2}, Daria M. Evmenova²
Igor N. Yeltsov^{2,3}, Sanzhar A. Imashev⁴

¹ Novosibirsk State University
Novosibirsk, Russian Federation

² Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
Novosibirsk, Russian Federation

³ Novosibirsk State Technical University
Novosibirsk, Russian Federation

⁴ Research station of the RAS
Bishkek, Kyrgyzstan

e.shorina@g.nsu.ru
EvmenovaDM@sscc.ru
inyeltsov@sscc.ru
sanzhar.imashev@yandex.ru

Abstract

This work proposes and applies a method for analysis of possible earthquake precursors based on the analysis of electromagnetic monitoring conducted at the Bishkek geodynamic polygon. A new approach is proposed that considers the geoelectric state of the medium at various depths and can identify areas which are the most sensitive to geodynamic processes. Data obtained using the transient electromagnetic sounding method at the field for 2017 were used. Normal and anomalous signal patterns are described, and the causes of anomalies such as seismic activity, thunderstorm activity, and the influence of magnetic storms are considered. Based on the analysis of the source material, automated data computation has been implemented, which is displayed in the form of an additional block in «Multi-user platform for processing and analyzing electromagnetic soundings and seismological observations - PLES».

Keywords

Bishkek geodynamic polygon, electromagnetic monitoring, indicators, earthquake prediction, earthquake, transient electromagnetic method, automated calculation, software module

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the teams of IWMiMG SB RAS in Novosibirsk and NS RAS in Bishkek for their joint work.

Financing

The research was carried out within the framework of the state assignment of the IWIMG SB RAS FWNM-2025-0004, the Federal State Budgetary Institution of Science of the Scientific Station of the Russian Academy of Sciences “Comprehensive study of geophysical fields and inelastic processes in the seismically active zones of the Northern Tien Shan lithosphere for monitoring and forecasting seismic activity” No. 1025032800066-3-1.5.1.

For citation

Shorina E. N., Evmenova D. M., Yeltsov I. N., Imashev S. A. Development of software tools for analyzing earthquake indicators based on electromagnetic monitoring data at the Bishkek geodynamic polygon. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*, 2026, vol. 24, no. 2, pp. 66–82 (in Russ.) DOI 10.25205/1818-7900-2026-24-2-66-82

Введение

Землетрясения остаются одной из наиболее серьезных природных угроз, влияющих на безопасность населения, что обуславливает необходимость совершенствования методов анализа данных мониторинга и оценки параметров сейсмических событий [1]. В настоящее время коллективом авторов проводится обработка геофизических и, в частности, электромагнитных данных, полученных с пунктов наблюдения Бишкекского геодинамического полигона (БГП), однако значительные объемы информации требуют внедрения автоматизированных цифровых решений.

Аномалии в электромагнитных данных, которые фиксируются на пунктах наблюдения БГП, могут быть вызваны целым спектром причин – от процессов трещинообразования до внешних факторов, таких как грозы и магнитные бури [2]. Многообразие этих явлений усложняет анализ и делает необходимым создание специализированных инструментов, позволяющих оперативно выделять ключевые индикаторы, важные для оценки сейсмической активности.

Измерения на БГП проводятся 40 лет, за это время получен значительный объем экспериментальных данных [2]. Ручная обработка информации для всех пунктов наблюдения становится не только трудоемким, но и достаточно времязатратным процессом, в связи с чем в ИВМиМГ СО РАН ведется разработка специализированной цифровой платформы для обработки геофизических и сейсмологических данных и автоматического построения индикаторов сейсмических событий. В настоящий момент одной из актуальных задач является создание программного блока, который производит автоматизированный расчет индикаторов сейсмического события по данным электромагнитного мониторинга геологической среды [3].

1. Данные электромагнитного мониторинга

Основная задача прогностических полигонов, которые находятся в сейсмоопасных зонах, – выявление взаимосвязи изменений физических параметров среды, в том числе на основе анализа временных рядов геофизических наблюдений и сейсмических событий, что дает возможность прогнозирования последних [4]. Исследования на таких полигонах, как Гармский, Бишкекский, Южно-Байкальский показали, что существует стабильная связь между изменениями электромагнитных параметров и сейсмическими явлениями [5]. Развитие методов прогнозирования землетрясений зависит от экспериментальных данных, получаемых на такого рода прогностических полигонах. Эти исследовательские площадки предоставляют информацию, необходимую для анализа глубинных процессов, предшествующих сейсмическим событиям [4; 6; 1]. Данный подход широко применяется в исследованиях, посвященных мониторингу предсейсмических процессов, о чем свидетельствуют долгосрочные исследования на полигонах в различных сейсмоактивных зонах: мониторинг электрического сопротивления на разломе Сан-Андреас в США [2–4], также работы в сейсмогенерирующих зонах Греции, Китая, Японии [5–7] и других сейсмически активных регионах мира [7].

Бишкекский геодинамический полигон (БГП), ограниченный 41,5°–43,5° с. ш. и 73°–77° в. д., лежит в пределах центрального сегмента Северо-Тянь-Шаньской сейсмогенерирующей зоны и представляет собой зону сочленения Тянь-Шаньского орогена и Туранской плиты. Основными тектоническими структурами исследуемого района на неотектоническом этапе

являются Киргизская мегантиклиналь (Киргизский хребет) и находящаяся севернее Чуйская впадина [2].

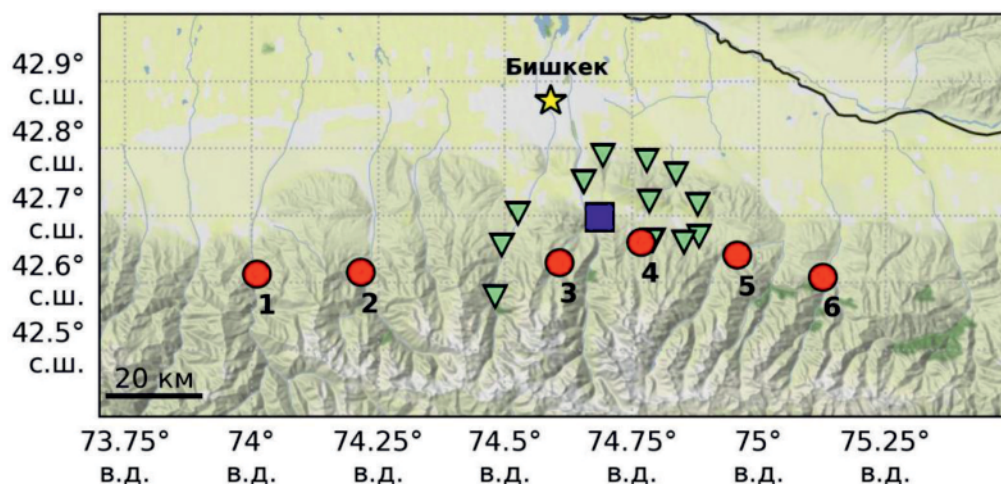


Рис. 1. Пункты сети электромагнитного мониторинга, расположенные на БГП. Красными маркерами обозначены стационары электромагнитного мониторинга (1 – Ак-Суу, 2 – Шавай, 3 – Чункурчак, 4 – Таш-Башат, 5 – Иссык-Ата, 6 – Кегеты), зелеными – рядовые пункты, синий квадрат – питающий диполь ЭРГУ-600

Fig. 1. Sites of the electromagnetic network located on the BGP. Red markers indicate electromagnetic monitoring stations (1 – Ak-Suu, 2 – Shavai, 3 – Chunkurchak, 4 – Tash-Bashat, 5 – Issyk-Ata, 6 – Kegety), green – ordinary points, blue square – ERGU-600 sensing dipole

Электромагнитный мониторинг (рис. 1) проводится на шести стационарных и двенадцати полевых пунктах, обслуживаемых передвижной станцией [8]. В исследованиях используются данные электромагнитного мониторинга, полученные на шести стационарных пунктах наблюдений: Ак-Суу, Шавай, Чункурчак, Таш-Башат, Иссык-Ата и Кегеты. Данные используются со стационарных пунктов, потому что там мониторинг проводится стабильно и регулярно, в отличие от передвижных. Сбор информации на этих пунктах осуществляется ежедневно, кроме выходных и праздничных дней, по несколько сеансов в день, в течение 15 мин с начала каждого часа. Запись данных происходит одновременно на всех стационарных пунктах.

2. Методы исследования

2.1. Индикаторы выявления сейсмического события

Для выявления связи между данными электромагнитного мониторинга и сейсмическими событиями предлагается использовать следующие характеристики (индикаторы) измеряемых сигналов [7].

1. Время прихода максимального значения сигнала (ВПМ) в пункт наблюдения (рис. 2).
2. Среднесуточная кривая зондирования в период сейсмического затишья. На графике отмечаются времена становления поля, для которых строятся временные ряды кажущегося сопротивления и доверительные интервалы для сигналов, соответствующих указанным временам. ВПМ отображает изменение удельного электрического сопротивления горных пород, которые характеризуются трещиноватостью и флюидонасыщенностью. Точка максимума отмечена желтым цветом (рис. 3).
3. Вольт-временная характеристика импульса (ВВХ). Это зависимость от сопротивления так называемой ВВХ (площадь отмечена зеленым цветом (см. рис. 2). Эта функция является

аналогом площади максимума, которая зависит от удельного электрического сопротивления трещиноватого слоя.

4. Средний доверительный интервал (СДИ) среднесуточных наблюдений. СДИ рассчитывается как статистическая характеристика вариаций среднесуточных значений и интерпретируется как возможный индикатор нестабильности геологической среды. При этом если в течение определенного времени геологическая среда подвергается тектоническому воздействию вследствие подготовки будущего сейсмического события, то и режимные измерения, производимые в течение этого времени, нельзя считать реализациями случайного процесса.

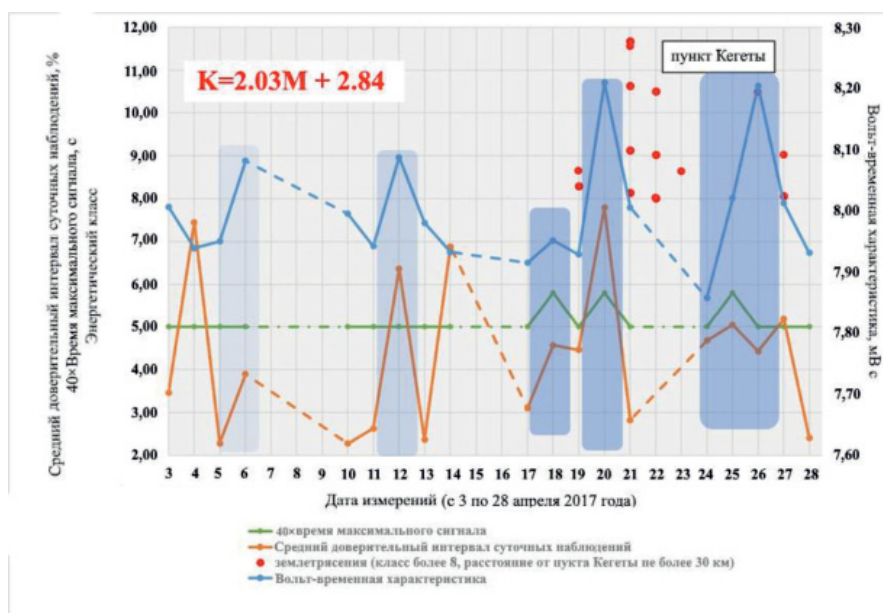


Рис. 2. Временная динамика среднесуточных индикаторов сейсмического события, зафиксированная в режимном пункте Кегеты в апреле 2017 г. [8]

Fig. 2. The temporal dynamics of the average daily indicators of a seismic event recorded at the Kegety checkpoint in April 2017 [8]

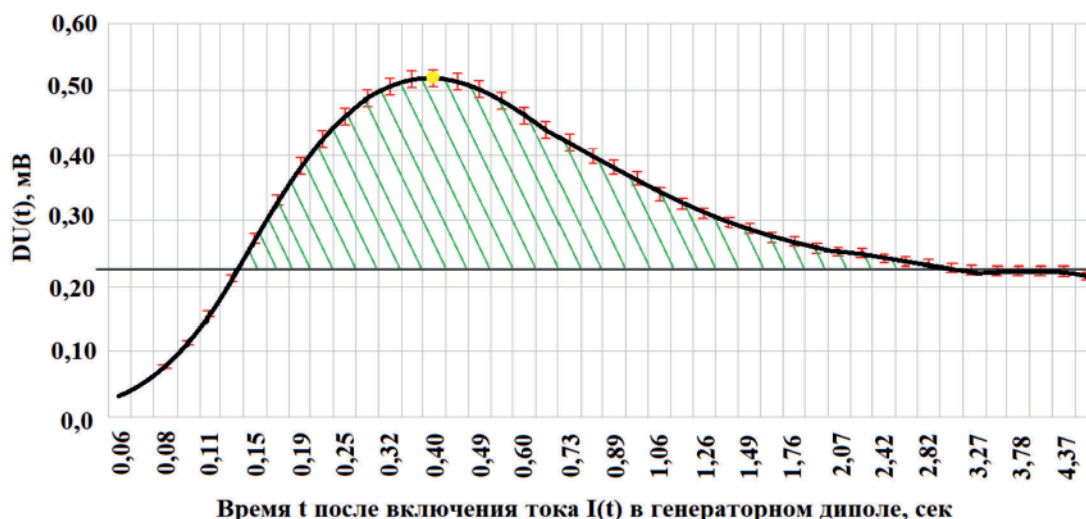


Рис. 3. Среднесуточная кривая зондирования (пример данных с пункта Кегеты)

Fig. 3. Average daily sounding curve (example of data from Kegety site)

Таким образом, был предложен метод выявления предсейсмических аномалий в электромагнитных данных на территории БГП [9], основанный на мониторинге тензочувствительных (индикаторных) участков массива горных пород, электрические свойства которых особенно чувствительны к вариациям напряженного состояния, что обеспечивает повышение достоверности выявления предсейсмических аномалий путем проведения следующих операций [10]:

1. Выполняется мониторинг нестационарного электрического поля заземленной электрической линии.

2. Обрабатываются полученные сигналы, для каждой из станций вычисляются среднесуточные значения трех индикаторов: ВПМ, ВВХ, СДИ.

3. Строятся три временных ряда на основе среднесуточных значений каждого из индикаторов и для каждой из станций проводится сравнительный анализ временной динамики значений индикаторов на предмет выявления синхронизированных по времени аномалий устойчивой формы на всех трех рядах.

4. Синхронизированные аномалии индикаторов рассматриваются как единая трехкомпонентная сигнатура геологического вещества, реагирующего на подготовку сейсмотектонического события, на основе чего делается вывод о его подготовке.

За 40 лет наблюдений накоплен большой объем данных, ручная обработка которого для всех пунктов наблюдения БГП становится не только трудоемким, но и достаточно ресурсозатратным процессом. Поэтому коллективом ученых из ИВМиМГ СО РАН была разработана цифровая платформа для автоматического анализа данных, полученных с пунктов наблюдения на БГП по методу выявления предсейсмических аномалий.

2.2. Многопользовательская платформа для обработки и анализа электромагнитных зондирований и сейсмологических наблюдений

Для анализа и прогнозирования сейсмических событий была разработана «Многопользовательская платформа для обработки и анализа электромагнитных зондирований и сейсмологических наблюдений – ПЛЭС» [3; 7], на которой на данный момент регистрируются данные о срабатывании индикаторов сейсмической активности: ВПМ, ВВХ и СДИ. С помощью цифровой платформы можно получить данные для анализа: выбрать период или дату; указать пункт наблюдения; открыть каталог доступных данных; просмотреть энергетический класс и индикаторы сейсмической активности (рис. 4).

Здесь можно посмотреть срабатывания индикаторов за определенный период на одном выбранном пункте вместе и по отдельности. Подсчетом и анализом количества сработавших индикаторов на графиках занимался оператор вручную. В связи с этим было предложено разработать дополнительный инструментарий к платформе, автоматически подсчитывающий количество сработавших индикаторов на всех пунктах. Для большего удобства анализа информации следует добавить возможность посмотреть на срабатывания индикаторов сразу на всех пунктах, а не по отдельности, как сейчас реализовано на ПЛЭС. В связи с этим был предложен вариант, как может выглядеть дополнительный раздел с подсчетом реакций индикаторов на ожидаемое сейсмическое событие (рис. 5).

Для реализации этого раздела были взяты данные индикаторов и при подсчете количества срабатывающих индикаторов была взята разность последующего и предыдущего дней. Если разность между этими значениями превышала 0,2 (значение выбрано в соответствии с погрешностью измерений), то считается, что индикатор «сработал», тогда в промежуточную таблицу прописывалось 1. Если же значение было меньше 0,2, то ставился 0 и считалось, что индикатор не сработал. Затем все индикаторы (ВПМ, ВВХ и СДИ) суммировались, и в таблицу выводилось суммарное значение. Пороговое значение может варьироваться в зависимости от требуемой чувствительности метода и подлежит дополнительной калибровке (рис. 6). Сам порог

и сравнение с числом 0,2 были применены и в алгоритме ПЛЭС, но без автоматизированного подсчета срабатываний индикаторов и вывода суммарного числа срабатываний как в инстументарии.



Рис. 4. Внешний вид «многопользовательской платформы для обработки и анализа электромагнитных зондирований и сейсмологических наблюдений-ПЛЭС»:

а – внешний вид платформы; б – раздел «детализация индикаторов»

Fig. 4. The appearance of the «multi-user platform for processing and analyzing electromagnetic soundings and seismological observations-PLES»:

а – appearance of the platform, б – «indicator details» section



Рис. 5. Реакция индикаторов ожидаемого сейсмического события по данным электромагнитного мониторинга за январь

Fig. 5. Reaction of indicators to an expected seismic event based on electromagnetic monitoring data for January

Пункты	Кегеты	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	3	1	0	1	1	1	0
	Иссык-Ата-1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
	Иссык-Ата-2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	Таш-Башат-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Таш-Башат-2	1	1	1	1	0	2	1	2	0	3	0	1	1	1	2	1	0	1	1	0
	Чункурчак-1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0
	Чункурчак-2	1	1	1	2	1	1	0	1	1	1	1	2	1	1	1	0	1	0	0	0
	Шавай	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
	Ак-Суу	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
		4	5	6	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	24	25	26	27	28		

Дата измерений (с 4 по 28 апреля 2017 года)

Рис. 6. Реакция индикаторов ожидаемого сейсмического события по данным электромагнитного мониторинга за апрель

Fig. 6. Reaction of indicators to an expected seismic event based on electromagnetic monitoring data for April

Согласно анализу рисунков, в большинстве случаев срабатывал только один из трёх индикаторов – на его долю приходилось около половины месячных значений. Наименее частым было одновременное срабатывание всех трёх индикаторов: за год это произошло лишь шесть раз. Было и такое, что в один день могли сработать индикаторы сразу на всех пунктах, а могло быть и наоборот, что сработало всего на одном пункте из девяти. Например, из 171 дня со всех пунктов один индикатор сработал 71 раз, два – 4 раза, три – ни одного раза за январь 2017 г. В остальные дни индикаторы не срабатывали. Полученные результаты позволяют предположить, что большинство отклонений вызвано локальным, а не глобальным воздействием, что может быть, например, связано с грозовой активностью.

В дальнейшей работе планируется внедрить этот раздел на платформу «ПЛЭС» для улучшения и упрощения просмотра данных, связанных со срабатыванием индикаторов сейсмической активности.

3. Результаты

3.1. Анализ данных электромагнитного мониторинга

Были построены кривые становления поля для 2017 г. Данные за этот период рассматриваются, так как в нем было много событий. Под нормальными кривыми понимаются те кривые становления электромагнитного поля, которые имеют типичную, хорошо узнаваемую форму, где не наблюдается резких изменений сигнала и расхождения сигналов, измеренных в разное время суток более чем на 2 Ом·м (рис. 7). Аномальные кривые характеризуются существенными отклонениями формы сигнала от формы нормальных кривых (рис. 8).

Возможные причины возникновения аномальных электромагнитных данных на территории БГП могут быть связаны с различными внешними факторами.

Сейсмическая активность – самая важная причина возникновения аномалий. Ее можно наблюдать на пункте Кегеты в 2017 г. По данным каталога сейсмических событий по сети KNET (Научная станция РАН) и каталога сейсмических событий по сети KRNET (Институт сейсмологии Национальной академии наук КР), 21 апреля в 00:55 по местному времени в БГП в 3,5 км от пункта наблюдения Кегеты произошло сильное землетрясение (энергетический класс землетрясения $K = 11,67$).

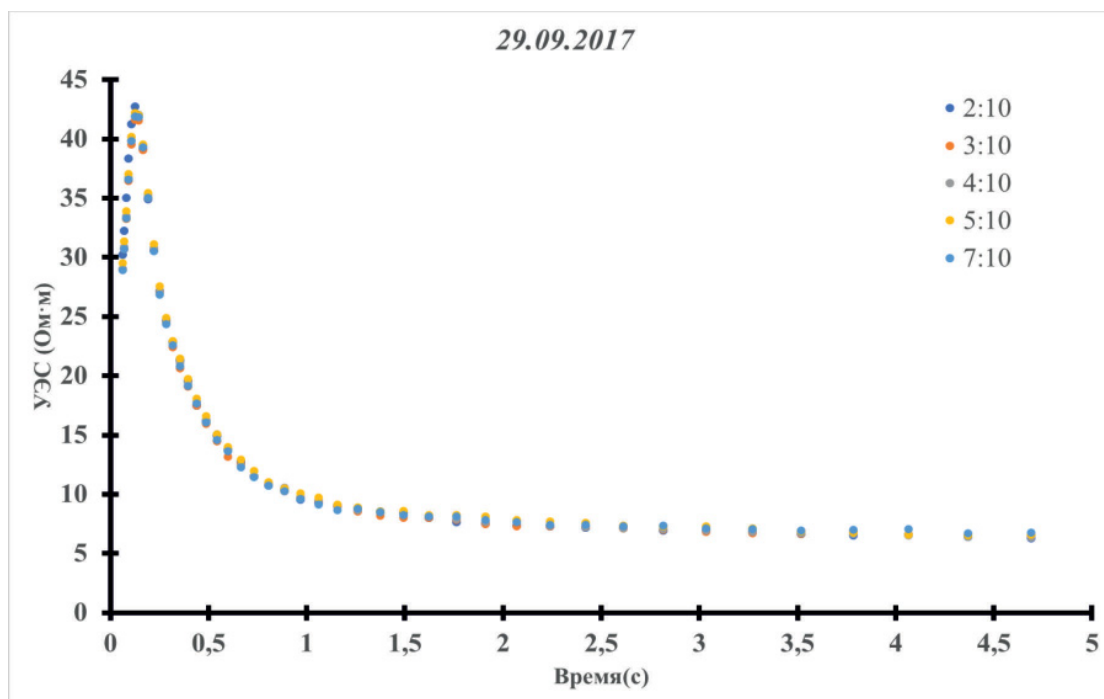


Рис. 7. Вид кривых становления поля с нормальной формой без отклонений, данные которых сняты в разное время суток на пункте Кегеты

Fig. 7. A view of the curves of the field formation with a normal shape without deviations, the data of which were taken at different times of the day at the Kegety site

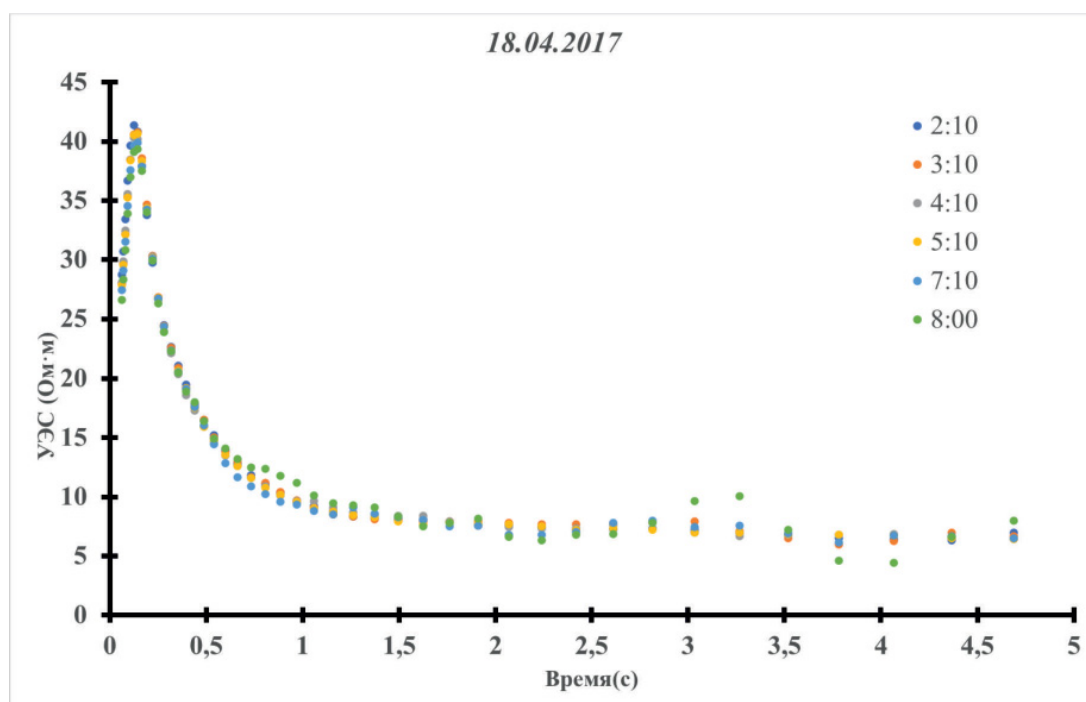


Рис. 8. Вид кривой становления поля с отклонениями от нормы, данные которых сняты в разное время суток на пункте Кегеты

Fig. 8. View of the field formation curve with deviations from the norm, the data of which were taken at different times of the day at the Kegety site

Отклонения на графиках кривых становления, помимо сейсмической активности, могут быть вызваны следующими причинами: магнитные бури, грозы, геомагнитная активность, а также сбои в работе измерительной аппаратуры, приводящие к искажению или неверной интерпретации данных [2]. Поэтому стоит рассмотреть причины отклонений в электромагнитных данных за исключением землетрясений/сейсмических событий.

Магнитные бури способны маскировать или усиливать аномалии, которые связаны с другими причинами. Также грозы в дождливые периоды, например летний, могут влиять на измерения, что приводит к возникновению аномалий в данных, поэтому следует учитывать и этот фактор.

Геомагнитная активность, или магнитные бури, являются одной из причин появления аномалий. Бури способны маскировать или усиливать аномалии, которые связаны с другими причинами. Различие заключается в количестве индекса Ap: чем выше показатель, тем выше геомагнитная активность. Геомагнитная активность как причина аномальных данных чаще появляется зимой, весной и осенью, тогда как грозы появляются и влияют на данные электромагнитного мониторинга в летний период времени.

После анализа данных была составлена таблица, в которой представлены только те дни, когда не было землетрясений, также были исключены два дня до события. Они разделены на нормальные данные и с отклонениями от нормы (аномальные). Здесь можно наглядно увидеть, что дни, содержащие нормальные и аномальные данные, были на протяжении всего года.

Количество дней, содержащих нормальные и аномальные вариации в 2017 г.

Number of days containing normal and abnormal variations in 2017

Значения	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Нормальные	9, 10, 12, 13, 16, 17	6, 7, 10, 13, 14	17, 23, 24	10, 11, 12, 17	–	5, 12, 14	–	11, 28, 29	20, 29	4, 9, 10, 19, 23, 30	20, 28	4, 8, 13, 25
Аномальные	11, 18, 19, 20, 26, 27	2, 8, 9, 20	7, 9, 10, 16, 22, 27, 28, 29	13, 14, 18, 19	16, 17, 30, 31	20	17	1, 2, 10, 21, 25, 30	8, 12, 18, 19, 21, 26	5, 16, 17, 18, 26	14, 21	7, 12, 19, 26

3.2. Разработка блока для платформы

Функция дополнительного блока программы заключается в анализе данных сейсмического мониторинга с нескольких пунктов наблюдения. Основная задача – выявление реакций индикаторов сейсмических событий путем анализа изменений показаний по трем ключевым

параметрам. Программа реализована по модульному принципу и состоит из пяти основных блоков (рис. 9).



Рис. 9. Блок-схема программного инструментария и пользовательского интерфейса
Fig. 9. Flowchart of software tools and user interface

Создание инструментария начинается с подготовки к обработке данных. На данном этапе выполняется загрузка всех необходимых библиотек, необходимых для импорта и экспорта данных, а также для выполнения необходимых расчетов.

На этапе конфигурации определяются все ключевые параметры системы. Здесь указываются пути к девяти исходным файлам Excel, содержащим данные сейсмического мониторинга по всем пунктам БПП. Формируется список пунктов наблюдения, соответствующих каждому файлу. Определяются анализируемые параметры – ВВХ, ВПМ и СДИ, которые будут подвер-

гаться математическому анализу. Инициализируются структуры данных для хранения промежуточных и финальных результатов. Устанавливается пороговое значение 0,2, которое будет использоваться для изменений в показаниях индикаторов.

Этап сбора и преобразования временных отметок посвящен созданию единой временной шкалы для всех источников данных.

На этапе обработки данных программа осуществляет повторный проход по всем файлам, но на этот раз с вниманием на вычислениях и математическом анализе. Основной аналитический процесс состоит из трех последовательных шагов для параметров ВВХ, ВПМ и СДИ. Сначала вычисляется разность между соседними измерениями, что позволяет оценить динамику изменения показателей. Затем полученные разности сравниваются с установленным порогом – если превышение обнаружено, значению присваивается 1, иначе – 0. В конце выполняется суммирование бинарных индикаторов по всем трем параметрам, что дает интегральную оценку сейсмической активности в диапазоне от 0 до 3.

Этап создания таблицы трансформирует обработанные данные в удобную для восприятия форму. На этом этапе генерируется таблица с применением цветового кодирования. Каждому значению суммарного показателя активности присваивается определенный цвет: зеленый – для нулевых значений, желтый – для одного индикатора, оранжевый – для двух и красный – для трех индикаторов. Отсутствующие данные визуализируются серым цветом.

Этап выводов результатов программы обеспечивает информирование пользователя о результатах работы. В консоль выводится подробная информация, включающая сведения о каждом обработанном файле: количество успешно преобразованных дат, временной диапазон данных, обнаруженные проблемы или аномалии. Это позволяет оценить качество исходных данных и корректность их обработки. Файл с результатами обработки представляет собой документ в формате html, который можно открыть с помощью веб-браузера без необходимости установки дополнительного программного обеспечения.

3.3. Программная среда

Для реализации программного блока был использован один из самых популярных языков программирования Python [11]. Его выбор обусловлен несколькими преимуществами. Во-первых, его синтаксис отличается простотой и читаемостью, что ускоряет разработку и делает язык доступным для начинающих изучать программирование пользователей. Во-вторых, вокруг Python сформировалась экосистема с большим набором готовых библиотек для самых разных задач. В-третьих, он универсальный: широко применяется не только в вебе, но и в data science, машинном обучении и автоматизации. Наконец, для веб-разработки на Python существует целый спектр фреймворков – от простых микроинструментов до комплексных решений, что позволяет выбрать подходящий инструмент под конкретный проект.

Для реализации вычислительного блока применялись клиент-серверный подход на основе веб-фреймворка Flask [12; 13].

3.4. Итог разработки

По итогу программный инструментарий выглядит следующим образом: как и на платформе ПЛЭС, можно выбрать интересующий временной диапазон, а из нового – выбрать величину разницы индикаторов и все или несколько пунктов сети БГП (рис. 10).

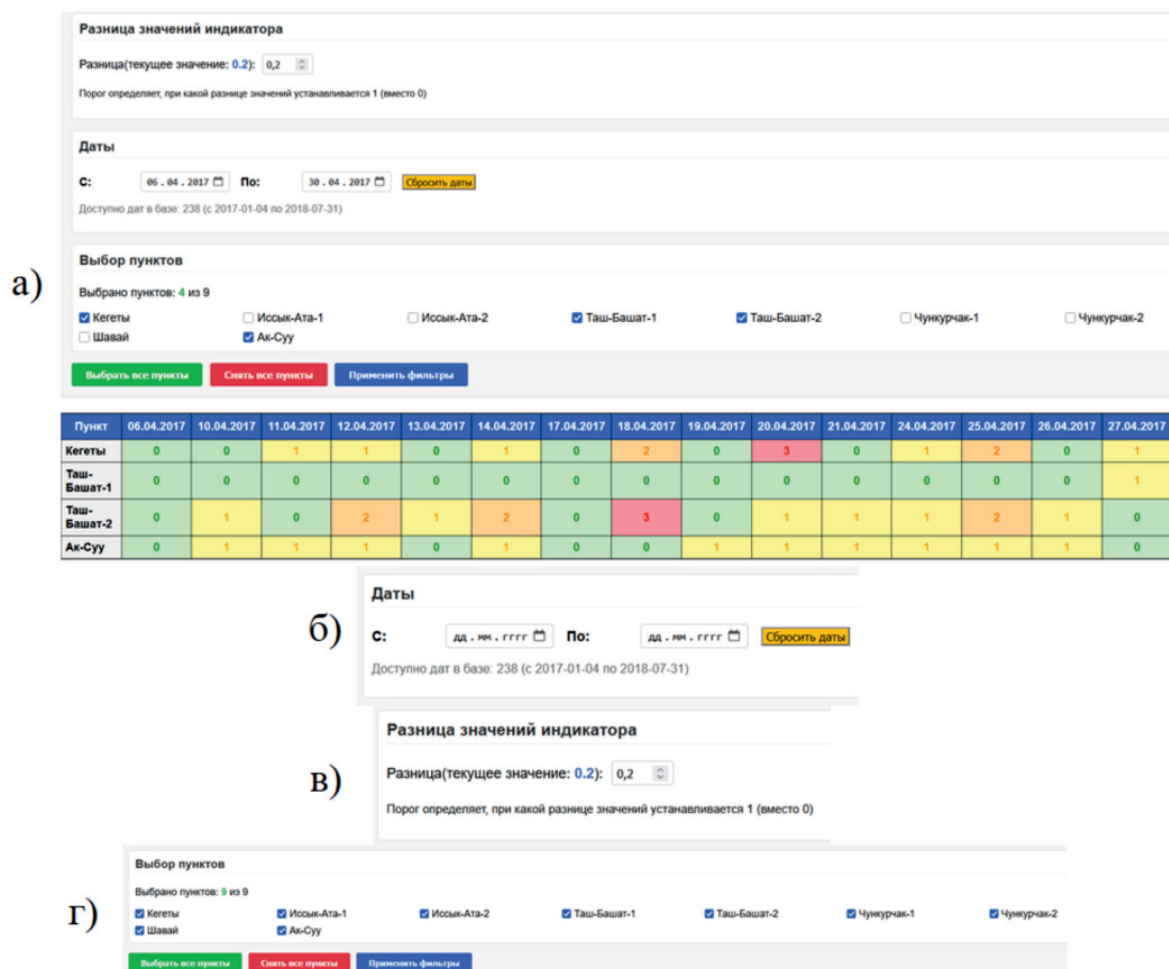


Рис. 10. Внешний вид реализованного программного инструментария:

а – полный вид программного инструментария; б – выбор временного диапазона; в – выбор величины разницы индикаторов; г – выбор пунктов сети БГП

Fig. 10. The appearance of the implemented software toolkit:

а – full view of the software toolkit; б – selection of the time range; в – selection of the indicator difference value; г – selection of the BGP network points

В инструментарии, как и на ПЛЭС, имеются пункты наблюдения в количестве девяти штук, хотя при этом данные собираются с шести стационарных пунктов. Это связано с тем, что на нескольких пунктах (Исык-Ата, Таш-Башат и Чункурчак) имеется разная ориентация диполей и от этого зависит срабатывание индикаторов в графике на ПЛЭС и в таблице. В дальнейшем планируется более подробное изучение влияния ориентации измерительной установки.

Также можно наблюдать, что 20 апреля сработали одновременно три индикатора (рис. 11). На рисунке можно наблюдать ярко выраженную аномальную форму графика, все кривые расходятся между собой, что является признаком отклонения от нормы и может указывать на приближение землетрясения. В день самого события 21 апреля кривая становления поля имеет нормальную форму (рис. 12).

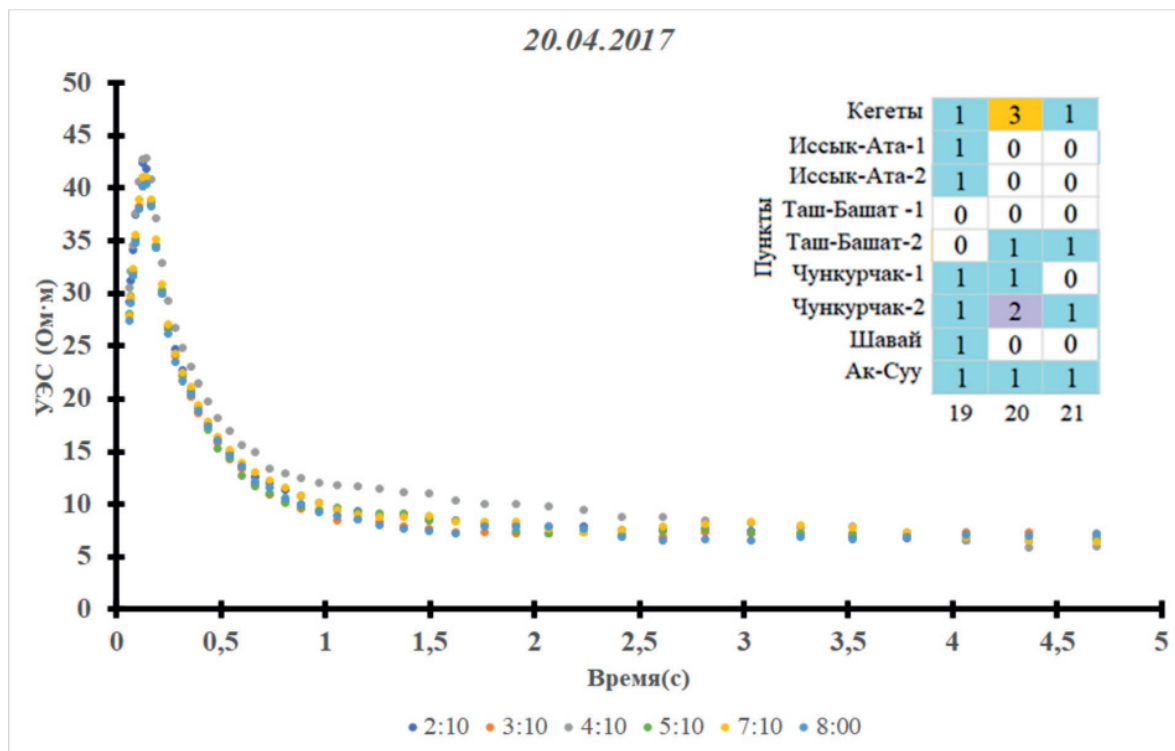


Рис. 11. Срабатывание индикаторов за день до кегетинского землетрясения на пункте Кеgetы.
 Расхождение кривых данных, снятых в разное время суток, срабатывание сразу трех индикаторов
 Fig. 11. The indicators were triggered a day before the Kegety earthquake at the Kegety station.
 The data curves differed at different times of day, and three indicators were triggered at once

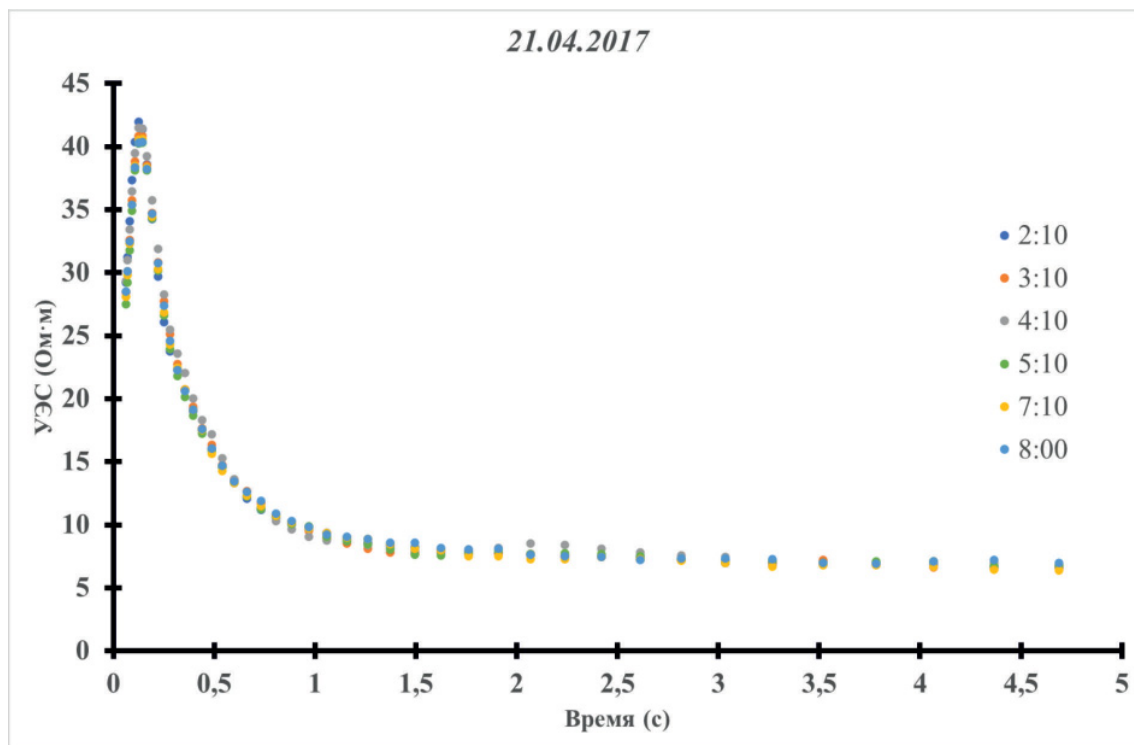


Рис. 12. Кривые становления поля на пункте Кеgetы в день землетрясения в разное время суток
 Fig. 12. Field formation curves at the Kegety point on the day of the earthquake at different times of the day

У соседних пунктов наблюдения не было срабатывания одновременно трех индикаторов, что говорит о слишком большом расстоянии от события до других пунктов, кроме пункта Кегеты. Для сравнения – на других пунктах одновременно либо срабатывал один индикатор, либо на Чункурчак-2 сработали два индикатора, либо срабатывания индикаторов не наблюдалось.

4. Обсуждение

Создав инструментарий и посмотрев на созданную в нем таблицу, можно увидеть, где, когда, сколько и на скольких пунктах сработали индикаторы ожидаемого сейсмического события. В апреле было всего 19 дней с записанными данными электромагнитного мониторинга на каждом пункте БГП. Из 171 дня со всех пунктов, 89 дней, когда не сработал ни один индикатор, 73 дня – сработал один индикатор, 7 дней – сработали два индикатора и 2 дня – сработали три индикатора. Три индикатора сработали не только 20 апреля перед Кегетинским землетрясением, но и 18 апреля на пункте Таш-Башат-2 в 03:49 по местному времени ($K = 9,14$ по сети каталогов KNET и KRNET).

На ближайшем пункте наблюдения к пункту Кегеты Иссык-Ата индикаторы не реагируют на подготовку Кегетинского землетрясения, так как ни один индикатор не сработал. Это может быть связано с большим расстоянием пункта в 15 км от эпицентра события и иным геологическим строением разреза вблизи пункта Иссык-Ата [7].

Анализ данных электромагнитного мониторинга за 2017 г. позволяет сделать несколько важных выводов об аномалиях и работе индикаторов. Прежде всего выявлены причины, способные вызывать отклонения в показаниях: геомагнитная активность (магнитные бури), грозы и сейсмическая активность.

Таблица срабатывания индикаторов демонстрирует закономерность: наиболее частым является единичное, точечное срабатывание, в то время как одновременное срабатывание нескольких индикаторов – более редкое событие. В качестве примера можно привести январь 2017 г.: из 171 дня наблюдений по всем пунктам сети всего за 75 дней была зафиксирована активность. При этом в большинстве случаев (71 день) срабатывал лишь один индикатор из трех возможных. Срабатывание двух индикаторов одновременно было всего четыре раза, а все три индикатора ни разу не активировались вместе за весь этот месяц. Эта указывает на то, что условия для одновременного срабатывания индикаторов возникают редко.

Также на основе таблицы можно провести анализ, позволяющий отличить локальные события от глобальных. Если аномалия фиксируется одновременно на всех или большинстве пунктов наблюдения, это с высокой вероятностью указывает на глобальное явление, например магнитную бурю. А когда срабатывание индикатора происходит на одном или двух пунктах, то это характерно для локальных событий. Примером такого локального явления является 14 марта 2017 г., когда сигнал поступил только с одного пункта. Такое будет характерно для прошедшей грозы, воздействие которой носит локальный характер.

Наиболее значимыми являются случаи одновременного срабатывания всех трех индикаторов. В 2017 г. это было связано с сильной сейсмической активностью. К примеру, такая аномалия была зарегистрирована 20 апреля 2017 г. перед сильным кегетинским землетрясением с энергетическим классом выше 5. Наблюдаемая синхронность индикаторов может свидетельствовать о влиянии тектонических процессов подготовки сейсмического события. Количество всех одновременно сработавших трех индикаторов за 2017 г. составляет 9 раз, что во всех случаях связано с землетрясениями. В дальнейшем планируется работать с другими годами и обработать весь имеющийся материал, в том числе перейти к работе с данными в режиме реального времени для прогнозирования будущих сейсмических событий. На данный момент инструментарий был проверен на материалах за 2017 г.

Заключение

Проанализированы данные электромагнитного мониторинга с территории Бишкекского геодинамического полигона за 2017 г. в пункте Кегеты, по данным построены графики. Были выделены нормальные и аномальные данные электромагнитного мониторинга, построены индикаторы для всех пунктов БГП. Также был разработан программный инструментарий, обеспечивающий автоматизированный подсчет индикаторов. Он позволил автоматизировать обработку данных электромагнитного мониторинга, что значительно сократило количество затрачиваемого на это время, и свел сработавшие индикаторы в таблицу. В ней можно увидеть, на каком пункте, когда и сколько индикаторов одновременно сработало. Метод позволяет выявлять периоды повышенной индикаторной активности, потенциально связанные с сейсмическими событиями. Разработанный инструмент способствует оперативности анализа и может быть использован в комплексных системах мониторинга сейсмогенерирующих зон. В дальнейшем планируется обработать и проанализировать данные за 2016 г., а после перейти и ко всем остальным годам, за которые имеются данные. Также после обработки всех материалов планируется приступить к прогнозированию в режиме реального времени.

Список литературы

1. **Дыминский И. И., Смоленский И. В., Имашев С. А., Евменова Д. М.** Цифровая платформа для анализа данных геоэлектромагнитного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-24: сб. материалов XX Междунар. науч. конгр. Изд-во СГУГиТ, 2024. Т. 6. С. 56–61.
2. **Баталеева Е. А., Мухамадеева В. А.** Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 2. С. 461–487.
3. **Дашевский Ю. А., Ельцов И. Н., Рыбин А. К.** Метод прогнозирования приближающегося сейсмического события на территории Бишкекского прогностического полигона / Свидетельство о государственной регистрации патента на изобретение № 2837367 от 31.03.2025.
4. **Гордеев В. Ф., Задегиллова М. М., Коновалов Ю. Ф., Малышков С. Ю., Бильтаев С. Х. Д.** Способ мониторинга для прогнозирования сейсмической опасности / Патент на изобретение № RU 2 672 785 С1, от 03.07.2018.
5. **Богомолов Л. М., Сычева Н. А.** Прогноз землетрясений в XXI веке: предыстория и концепции, предвестники и проблемы // Геосистемы переходных зон. 2022. № 6-3. С. 145–164.
6. **Свердлик Л. Г.** Короткопериодные вариации удельного электрического сопротивления земной коры // Вестник КРСУ. 2019. Т. 19, № 4. С. 143–149.
7. **Евменова Д. М., Дашевский Ю. А., Ельцов И. Н., Рыбин А. К., Имашев С. А.** Признаки готовящегося сейсмического события на территории Бишкекского прогностического полигона по данным электромагнитного мониторинга методом становления поля // Геодинамика и тектонофизика. 2025. Т. 16. С. 1–12.
8. **Дашевский Ю. А., Евменова Д. М., Дыминский И. И., Смоленский И. В., Имашев С. А., Якименко А. А., Ельцов И. Н., Маринин И. В.** Многопользовательская платформа для обработки и анализа электромагнитных зондирований и сейсмологических наблюдений-ПЛЭС / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 202561451 от 24.02.2025.
9. **Мухамадеева В. А., Сычева Н. А.** Об афтершоковых процессах, сопровождающих умеренные и слабые землетрясения на территории Бишкекского геодинамического полигона и в его окрестностях // Геофизика, сейсмология: НС РАН. 2018.
10. **Добровольский И. П.** О проблеме прогноза тектонического землетрясения // Геофизические исследования. 2010. Т. 11, № 1. С. 35–46.

11. **Златопольский Д.** Основы программирования на языке Python. М.: ДМК Пресс, 2017. С. 7–284.
12. **Васильев П. А.** Web-программирование на языке Python. Фреймворки Django, Flask // Наука, техника, образование. 2016. С. 38–39.
13. **Волобуев Н. Г.** Сравнение web-фреймворков Python // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. 2017. Т. 4. С. 44–46.

References

1. **Dyminsky I. I., Smolensky I. V., Imashev S. A., Evmenova D. M.** Digital platform for analyzing geoelectromagnetic monitoring data. *Interexpo GEO-Siberia-24: collection of materials of the XX International Scientific Congress. SSUGiT Publishing House*, 2024, vol. 6, pp. 56–61.
2. **Bataleeva E. A., Mukhamadeeva V. A.** Integrated electromagnetic monitoring of geodynamic processes in the Northern Tien Shan (Bishkek Geodynamic polygon). *Geodynamics and Tectonophysics*. 2018, vol. 9, no. 2, pp. 461–487.
3. **Dashevsky Yu. A., Yeltsov I. N., Rybin A. K.** Method of forecasting an approaching seismic event on the territory of the Bishkek predictive polygon / Certificate of state registration of the patent for invention No. 2837367 dated 03/31/2025.
4. **Gordeev V. F., Zadergilova M. M., Konovalov Yu. F., Malyshkov S. Yu., Biltsev S. Kh. D.** Monitoring method for predicting seismic hazards / Patent for invention No. RU 2 672 785 C1, dated 07/03/2018.
5. **Bogomolov L. M., Sycheva N. A.** Earthquake forecast in the XXI century: background and concepts, precursors and problems. *Geosystems of transition zones*. 2022, no. 6–3. pp. 145–164.
6. **Sverdlik L. G.** Short-period variations of electrical resistivity of the Earth's crust. *Bulletin of the KRSU*. 2019, vol. 19, no. 4, pp. 143–149.
7. **Evmenova D. M., Dashevsky Yu. A., Yeltsov I. N., Rybin A. K., Imashev S. A.** Signs of an impending seismic event on the territory of the Bishkek predictive polygon according to electromagnetic field formation monitoring. *Geodynamics and tectonophysics*. 2025, vol. 16, pp. 1–12.
8. **Dashevsky Yu. A., Evmenova D. M., Dyminsky I. I., Smolensky I. V., Imashev S. A., Yakimenko A. A., Yeltsov I. N., Marinin I. V.** Multi-user platform for processing and analyzing electromagnetic soundings and seismological observations-PLES / Certificate of state registration of the computer program No. 202561451 dated 02/24/2025.
9. **Mukhamadeeva V. A., Sycheva N. A.** On aftershock processes accompanying moderate and weak earthquakes on the territory of the Bishkek geodynamic polygon and in its vicinity. *Geophysics, Seismology*: NS RAS. 2018.
10. **Dobrovolsky I. P.** On the problem of forecasting a tectonic earthquake // *Geophysical research*. 2010, vol. 11, no. 1, pp. 35–46.
11. **Zlatopolsky D.** Fundamentals of programming in Python. Moscow: DМК Press, 2017. pp. 7–284.
12. **Vasiliev P. A.** Web programming in Python. Django and Flask frameworks // Science, technology, and education. 2016, pp. 38–39.
13. **Volobuev N. G.** Comparison of Python web frameworks // Almanac of scientific works of young scientists of ITMO University. 2017, vol. 4, pp. 44–46.

Информация об авторах

Шорина Эллина Николаевна, магистрант факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета

Евменова Дарья Михайловна, научный сотрудник лаборатории геофизической информации
Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Ельцов Игорь Николаевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института
вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Имашев Санжар Абылбекович, кандидат физико-математических наук, сотрудник Научной
станции РАН КР

Information about the Authors

Ellina N. Shorina, Master's Student at the Faculty of Information Technology of Novosibirsk State
University

Darya M. Evmenova, Researcher at the Laboratory of Geophysical Information, Institute of
Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Igor N. Yeltsov Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher, Institute of Computational
Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS

Sanzhar A. Imashev, Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Scientific Station of the Russian
Academy of Sciences

*Статья поступила в редакцию 13.02.2026;
одобрена после рецензирования 20.05.2026; принята к публикации 20.05.2026*

*The article was submitted 13.02.2026;
approved after reviewing 20.05.2026; accepted for publication 20.05.2026*