

О ВЫДЕЛЕНИИ СИГНАЛА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ЭМ-ПОЛЯ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ: ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

© 2024 О.А. Лашин, В.В. Бобровский

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Бишкек,
Кыргызская Республика, 720049, e-mail: legyss@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.10.2023; после доработки 01.05.2024; принята в печать 25.06.2024

Работа посвящена практическому аспекту выделения сигналов импульсного типа литосферного происхождения в регистрируемом электромагнитном поле по их форме. Проведены эксперименты по регистрации сигналов электромагнитного поля в широком диапазоне частот. В диапазоне частот от 5 до 20 кГц обнаружены импульсы, согласующиеся с обобщенной формой импульса литосферного происхождения. Для регистрации и дальнейшей обработки сигналов электромагнитного поля в килогерцовом диапазоне разработано специальное аппаратно-программное обеспечение. С его помощью выделены прототипы импульсов литосферного происхождения. Предложен и опробован алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме выделять импульсы, сходные с прототипом из всего набора наблюдаемых данных. Проведены полевые эксперименты по выделению импульсов электромагнитного поля литосферного происхождения и определению их энергетической и количественной характеристик. Выявлены суточные вариации средней энергии и активности импульсов электромагнитного поля литосферного происхождения.

Ключевые слова: трещинообразование, импульс литосферного происхождения, система пассивного мониторинга.

ВВЕДЕНИЕ

Данная статья является продолжением ранее опубликованной в данном журнале работы «О выделении сигнала высокочастотного ЭМ-поля литосферного происхождения: теоретический аспект». Работа (Лашин, Бобровский, 2022) посвящена исследованию электромагнитных полей в килогерцовом диапазоне, порождаемых механо-электрическими преобразованиями энергии тектонических процессов. Этой задачей ранее занимались многие ученые (Гохберг и др., 1988; Соболев, Демин, 1980; Токтосопиев, 2007; Шуман, 2010; Уваров, 2012), но нам хотелось бы выделить работу А. М. Токтосопиева (2007). Ему удалось из огромного объема зарегистрированных сигналов электрического поля импульсного типа выделить группу сигналов предположительно литосферного происхождения. Для качественного продолжения этого направления исследований необходимо решить задачу выделения электромагнитного поля

литосферного происхождения, регистрируемого на дневной поверхности, с учетом присутствия других источников электромагнитного поля как искусственного, так и естественного происхождения. В работе (Александров, 2007) автором было показано, что электромагнитные сигналы от источников литосферного происхождения после волнового (высокочастотного) процесса имеют еще и диффузионную (низкочастотную) часть, а сигналы, связанные с техногенными и атмосферными источниками, содержат в себе лишь волновую часть. Результаты проведенного математического моделирования (Лашин, Бобровский, 2022) подтвердили обоснованность такого подхода.

На основе приведенной математической модели сделан вывод о том, что по форме принятого сигнала можно судить о том, прошел ли импульс через горную породу (проводящая среда) или через воздух (непроводящая среда). Для практического выделения сигналов электромагнитного поля литосферного происхождения

нами был предложен метод, основанный на создании прототипа (обобщенного образа) формы импульса (Лашин, Бобровский, 2022). Практический аспект данной работы посвящен разработке аппаратурно-программных средств позволивших провести полевые эксперименты по выделению импульсов электромагнитного поля литосферного происхождения и исследовать их основные характеристики.

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РЕГИСТРАЦИИ СИГНАЛОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ

Для практической проверки гипотезы была проведена серия экспериментов по регистрации сигналов электромагнитного поля в широком диапазоне частот от единиц герц до 800 кГц. Регистрация осуществлялась с использованием широкополосного измерительного канала комплекса ЭРК ШПС (Бобровский и др., 2021) в пассивном режиме измерения шумов индукционным датчиком интегрирующего типа (Ильичев, Лашин, 2017) и приемной индукционной рамкой (Лашин, 2015). Измерения проводились на территории Научной станции РАН и в штольне расположенной в основании горы Научной станции РАН. Верхняя часть и стены штольни покрыты толстым слоем армированного железобетона выполняющего роль экрана, который ослабляет уровень сигналов, принимаемых в верхнем и горизонтальных направлениях. При проведении

экспериментов измерялась горизонтальная или вертикальная компонента поля.

В результате анализа зарегистрированных в процессе эксперимента данных были обнаружены импульсы, согласующиеся с предложенной гипотезой (Лашин, Бобровский, 2022). Выделенные из первичных данных импульсы приведены на рис. 1.

В результате выполненных исследований установлено, что в регистрируемом импульсе каждый последующий полупериод больше предыдущего (рис. 1). Это связано с суммарным действием волнового и диффузионного процессов. По длительности импульсов был получен ориентировочный частотный диапазон обнаруженных сигналов, лежащий в пределах от 5 до 20 кГц. Для дальнейших исследований был разработан макетный образец специализированного узкополосного направленного датчика электромагнитного поля, позволяющего измерять слабые магнитные поля в килогерцовом диапазоне, для выделения импульсов литосферного происхождения.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО УЗКОПОЛОСНОГО НАПРАВЛЕННОГО ДАТЧИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Одним из быстро развивающихся направлений метрологии является прецизионное измерение слабых магнитных полей, позволяющее создавать высокочувствительную аппаратуру

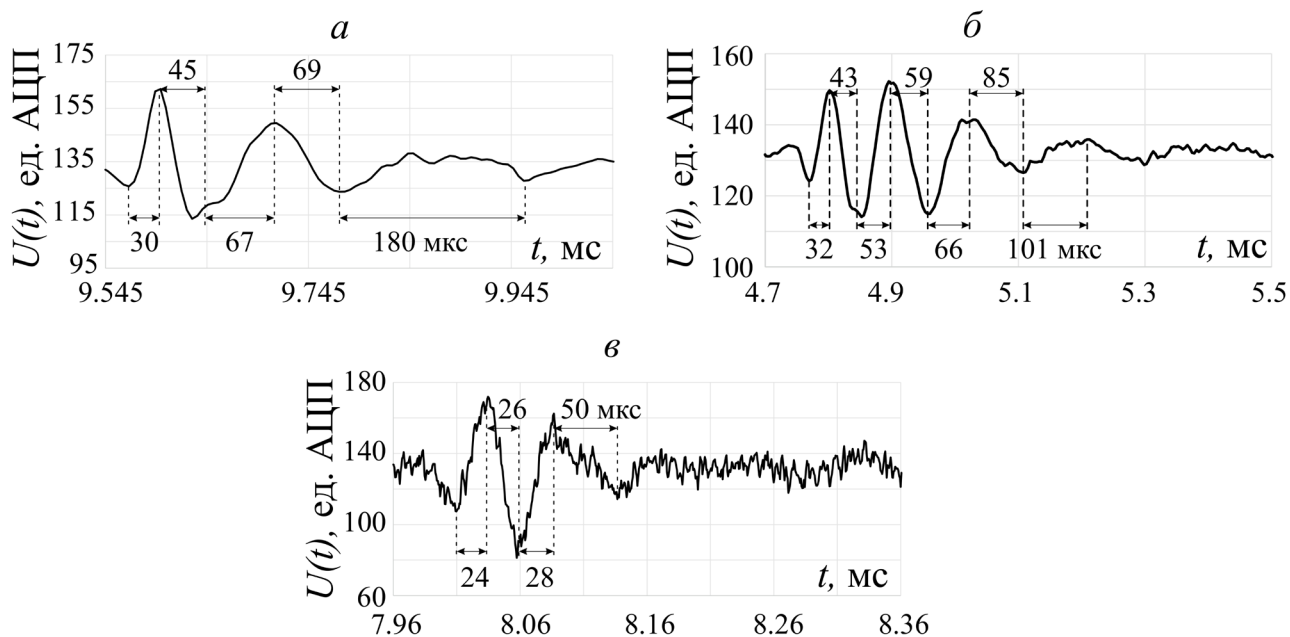


Рис. 1. Графики зарегистрированных импульсов: *a*, *б* — при регистрации использовался индукционный датчик (импульс *a* имеет более короткую длительность); *в* — регистрация выполнена с использованием индукционной рамки.

Fig. 1. Graphs of registered pulses: *a*, *б* — induction sensor was used for registration (pulse has a shorter duration); *в* — registration was performed using an induction frame.

для изучения электромагнитных полей литосферного происхождения (Лашин, 2015). Известно, что для приема слабых естественных полей электромагнитного поля требуются разработки измерительной аппаратуры с собственными шумами ниже минимального уровня регулярного шумового фона (Поляков и др., 2016). Поскольку описанный выше эксперимент по регистрации электромагнитного поля в широкой полосе частот позволил определить частотный диапазон интересующих нас сигналов, для дальнейших исследований был разработан макетный образец специализированного узкополосного направленного датчика электромагнитного поля, позволяющего измерять слабые магнитные поля в килогерцовом диапазоне (рис. 2).

Килогерцовый диапазон осложнен большим уровнем помех различного происхождения. Для снижения уровня регистрируемых помех, вызванных атмосферными явлениями и техногенными источниками, максимальная чувствительность измерительного канала сосредоточена в узкой полосе частот от 5 до 20 кГц. Разработанный датчик, является датчиком дифференцирующего типа измеряющий скорость изменения магнитного поля. Такое техническое решение выгодно использовать в местах с высоким уровнем низкочастотных помех (например, промышленных помех частотой 50 Гц), так как у дифференцирующего датчика чувствительность

растет с ростом частоты и как следствие имеет малое значение чувствительности на низких частотах (до сотен Гц).

Аппаратная часть измерительного канала датчика (рис. 2а) состоит из малогабаритного приемного датчика (МПД-1) и блока фильтрации и усиления сигналов (БУФ).

МПД-1 состоит из двух катушек, установленных на общем П-образном ферритовом сердечнике и платы формирования сигнала. Напряжение на выводах катушек (L_1, L_2) в фазе, если источник сигнала расположен на оси датчика, и в противофазе, если источник сигнала расположен с торца, а именно со стороны максимума эллипсоидной диаграммы направленности в горизонтальной плоскости (для случая, когда основной лепесток диаграммы направленности датчика расположен вертикально). Плата формирования сигнала состоит из двух идентичных каналов (А и Б), в которых есть по два широкополосных усилителя с переключаемыми коэффициентами усиления (Y_{1A}, Y_{1B} и Y_{2A}, Y_{2B}) и фильтр высоких частот ($\Phi ВЧ_A$ и $\Phi ВЧ_B$). Сигнал с выхода фильтров высоких частот поступает на сумматор. Фильтр высоких частот дополнительно ослабляет уровень низкочастотных помех и устраняет постоянное смещение, которое нарушает правильную работу сумматора. После сумматора на выходе МПД 1 установлен буферный усилитель, предназначенный для согласования

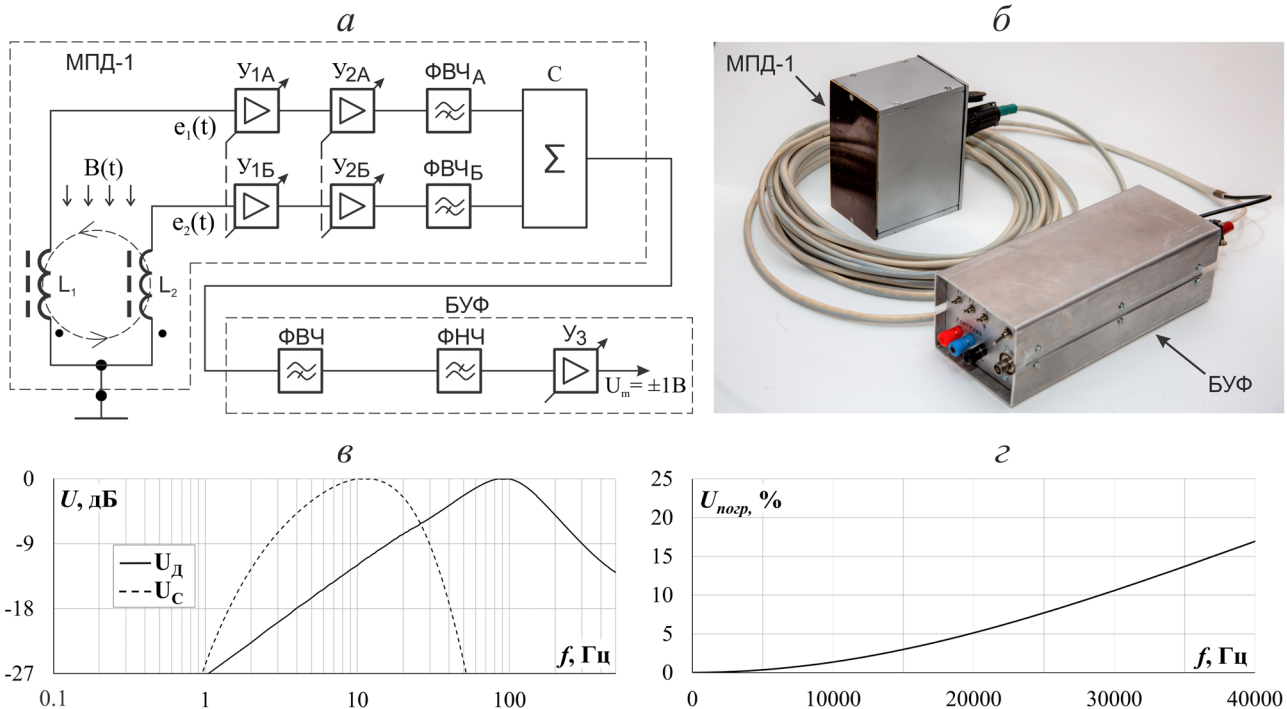


Рис. 2. Специализированный узкополосный направленный датчик электромагнитного поля: структурная схема (а); внешний вид (б); амплитудно-частотная характеристика (в); график погрешности дифференцирования магнитного поля датчика (г).

Fig. 2. Specialized narrow-band directional electromagnetic field sensor: block diagram (a); appearance (б); amplitude-frequency response (в); graph of the sensor magnetic field differentiation error (г).

сигналов по длинной линии, имеющей волновое сопротивление 50 Ом. Выделенные датчиком сигналы поступают на БУФ, который состоит из фильтра высоких частот четвертого порядка с добротностью 0.48, фильтра низких частот десятого порядка с добротностью 0.48 и широкополосного усилителя с переключаемым коэффициентом усиления (U_3). Фильтры низких и высоких частот образуют полосовой фильтр. БУФ формирует амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) всего измерительного канала, а также служит для согласования уровня сигнала с входным уровнем звуковой карты ПК, при помощи которой осуществляется регистрация сигналов. Внешний вид измерительного канала датчика приведен на рис. 2б.

На графике АЧХ датчика (рис. 2в) показано, что на частотах выше 100 кГц датчик начинает интегрировать сигнал. Максимальная чувствительность МПД-1 соответствует частоте приблизительно 90 кГц. В реализации датчика используется только наиболее линейный участок АЧХ, при котором напряжение на выходе датчика пропорционально скорости изменения магнитного поля и коэффициент преобразования датчика остается достаточно высоким. Для этого в схеме БУФ использован низкочастотный фильтр высокого порядка (рис. 2а). Датчик рассчитан на прием сигналов до 20 кГц. Свыше 20 кГц погрешность дифференцирования возрастает, то тест нарушается линейная зависимость между переменным магнитным полем и напряжением на выходе датчика. Оптимальное значение погрешности (рис. 2г) на частоте 20 кГц выбрано равным 5%. Если датчик делать более высокочастотным, задав уровень погрешности дифференцирования магнитного поля 5% на частоте 50 кГц, то в диапазоне частот от 5 до 20 кГц он будет обладать меньшей чувствительностью.

Конструктивно датчик имеет прямоугольную форму. Стенки датчика выполнены из дюралюминия. Нижняя часть датчика выполнена из текстолита. Основной лепесток диаграммы

направленности датчика направлен вертикально вниз. Ослабление принимаемых сигналов по отношению к основному лепестку составляет сверху — 6 дБ, а в горизонтальной плоскости 20 дБ. Основные технические параметры датчика приведены в таблице.

Для регистрации сигналов с выхода измерительного канала датчика используются звуковая карта персонального компьютера. Следует отметить, что для оптимальной регистрации принимаемых сигналов необходима звуковая карта с частотой дискретизации не менее 96 (желательно 192) кГц и разрядностью квантования 24 бита. Это позволит выделить слабые по уровню сигналы импульсного электромагнитного поля литосферного происхождения на фоне высокого уровня остальных шумов и сигналов. Регистрация выполняется при помощи специально разработанной программы регистрации *AudioRec*.

При помощи изготовленного датчика, в полевых условиях, был выполнен ряд экспериментов по регистрации сигналов электромагнитного поля. Среди всего многообразия зарегистрированных импульсов (рис. 3) были обнаружены импульсы хорошо согласующиеся с предложенной гипотезой о их литосферном происхождении (Лашин, Бобровский, 2022).

Анализ таких сигналов показал, что их вклад в спектр регистрируемого сигнала крайне мал. Поэтому анализ данных сигналов в спектральной области не представляет интереса. Поэтому в качестве основного параметра регистрируемого импульсного электромагнитного поля литосферного происхождения был принят интегральный энергетический показатель — суммарная энергия выделенных импульсов в заданный интервал времени. В качестве дополнительного параметра выбрана активность — количество импульсов в заданный интервал времени. Для автоматического обнаружения и расчета параметров таких импульсов были разработаны и реализованы специальные алгоритмы обработки данных, регистрируемых датчиком.

Основные технические параметры датчика

Main technical parameters of the sensor

Название параметра	Величина	Единицы измерения
1. Эффективный момент по выходу (расчетный)	69150 ¹	м ²
2. Максимальный коэффициент усиления	49800	
3. Минимальный коэффициент усиления	1 260	
4. Граничная частота диапазона линейности АЧХ (при 5%)	20	кГц
5. Добротность датчика	0.378	
6. Выходное напряжение (при нагрузке 50 Ом)	± 1	В
7. Собственные шумы на выходе измерительного канала	15 ¹	мВ

1 — на максимальном коэффициенте усиления

1 — a tmaximum gain

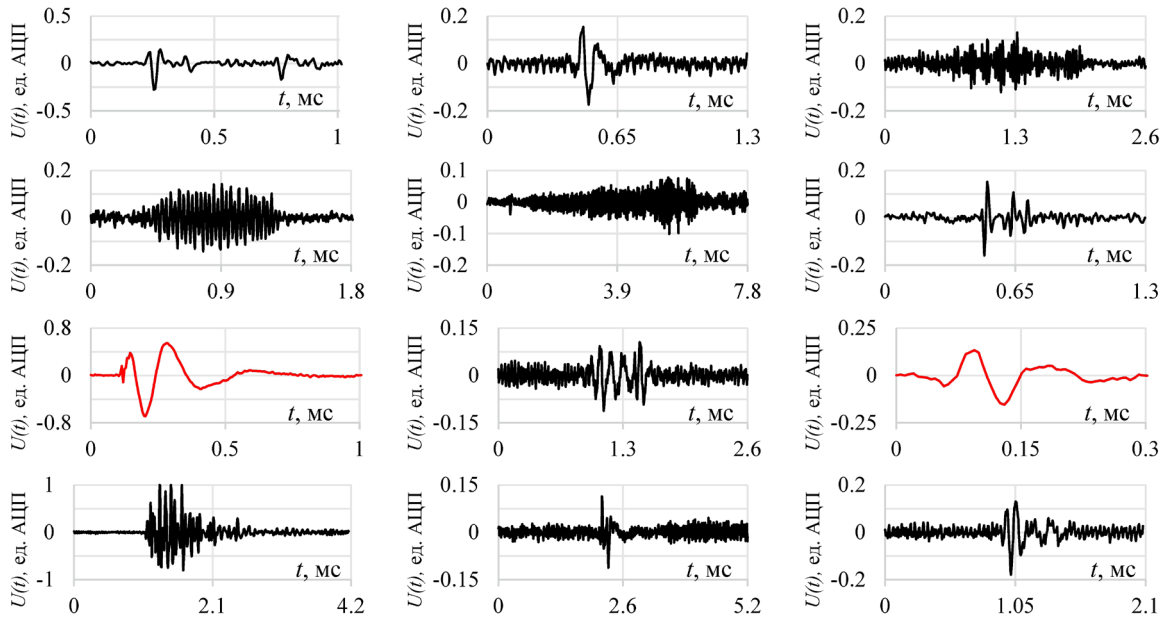


Рис. 3. Примеры импульсов электромагнитного поля, зарегистрированные при помощи узкополосного направленного датчика электромагнитного поля. Красным цветом показаны импульсы хорошо согласующиеся с предложенной гипотезой о их литосферном происхождении

Fig. 3. Examples of electromagnetic field pulses registered with a narrow-band directional electromagnetic field sensor. Pulses that are in good agreement with the proposed hypothesis about their lithospheric origin are shown in red.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В процессе проведения исследований был разработан и опробован алгоритм позволяющий в автоматическом режиме выделять сигналы сходные с прототипом из всего набора наблюдаемых данных и рассчитывать среднюю энергию и активность данных импульсов в заданном интервале времени. Работа алгоритма выполняется в два этапа.

На первом этапе работы алгоритма выполняется выделение (определение точек на оси времени соответствующее началу t_H каждого искомого импульса) в зарегистрированных данных сигналов похожих на прототип. Выделение происходит путем выполнения процедуры вычисления функции взаимной корреляции $U(t)$ (ВКФ) зарегистрированных данных $U_{ВКФ}(t)$ с выбранным прототипом. Данная процедура позволяет увеличить амплитуду сигналов похожих на прототип (и соответственно ослабить уровень сигналов, отличающихся от прототипа) и тем самым выделить их на фоне остальных сигналов (рис. 4а).

Для определения начального времени t_H используемого при расчете энергии искомого импульса необходимо чтобы пик ВКФ указывал на начало импульса. В связи с этим при расчетах ВКФ временной ряд прототипа импульса сдвигается на длину равную его длительности. Такая модификация вычисления ВКФ позволяет определять начальный отсчет времени, с кото-

рого начинается вычисление энергии искомого импульса. Дальнейшее выделение искомого импульсов на фоне шумов выполняется при помощи возведения в квадрат функции $U_{ВКФ}(t)$ (рис. 4б).

Затем по графику $U_{ВКФ}^2(t)$ оператором задается порог $U_{пр}$, по превышению которого выбираются импульсы для подсчета суммарной (на длительности записи) энергии и количества обнаруженных импульсов (рис. 4в). Начало импульса определяется по заданному порогу, а конец импульса t_K определяется двойной длиной ($2T_H$) прототипа (рис. 4г). Такая методика позволяет с достаточной точностью обнаруживать и выделять искомые импульсы на зарегистрированном сигнале (рис. 4з). Число обнаруженных импульсов соответствует параметру их активности N в заданном интервале времени.

На втором этапе выполняется вычисление средней энергии найденных импульсов в заданном интервале времени. Для этого на зарегистрированном сигнале производится вычисление энергии каждого обнаруженного импульса согласно выражению:

$$W_i = \sum_{t=t_H}^{t=t_K} [U(t)]^2.$$

где i — номер импульса, W_i — энергия i -го импульса, $U(t)$ — дискретный ряд зарегистрированных данных, t_H и t_K — начальный и конечный отсчет, соответственно.

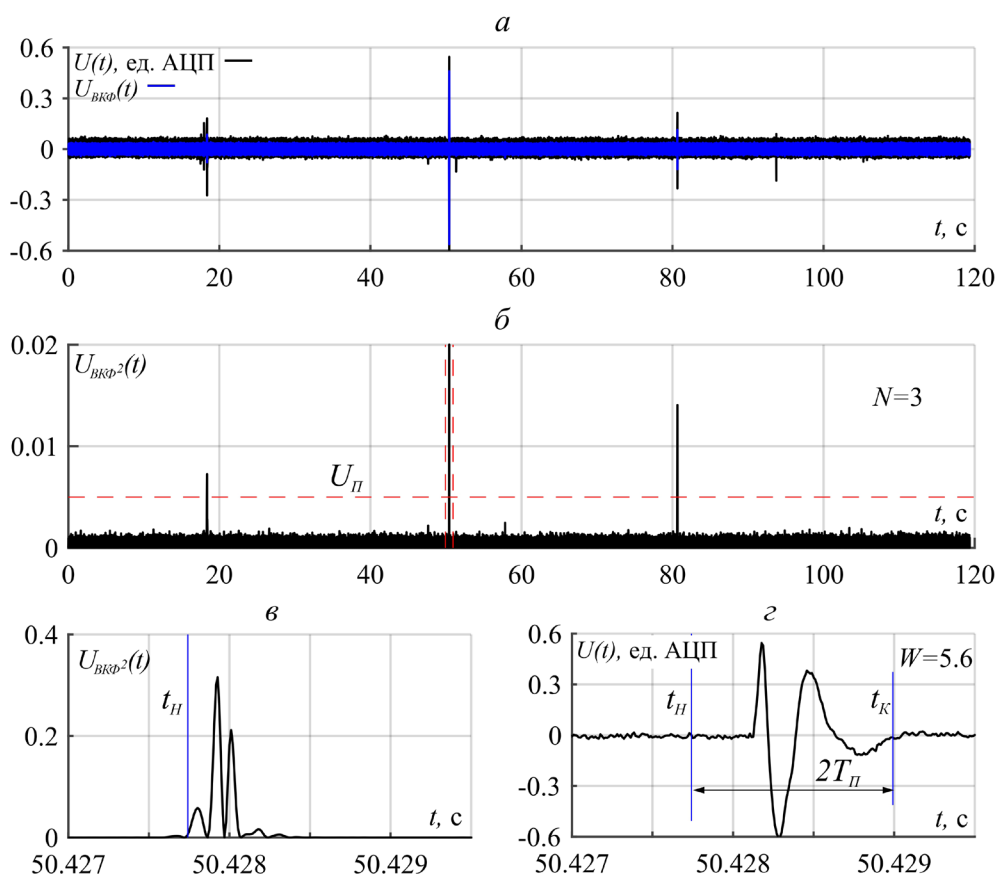


Рис. 4. Графики, иллюстрирующие принцип обнаружения импульсов заданной формы: *a* — зарегистрированные данные и ВКФ (зарегистрированные данные и прототипа искомого импульсов); *б* — график обнаружения импульсов по заданному порогу $U_{П}$; *в* — развернутый по оси времени фрагмент графика квадрата ВКФ, используемого для определения t_H ; *г* — развернутый фрагмент найденного импульса, в зарегистрированных данных, с определенными интервалами (t_H и t_K) для интегрирования (нахождения энергии).

Fig. 4. Graphs illustrating the principle of detecting pulses of a given shape: *a* — recorded data and CCF (registered data and prototype of the desired pulses); *б* — graph of pulse detection by a given threshold $U_{П}$; *в* — unfolded on the time axis fragment of the graph of the CCF square used to determine t_H ; *г* — expanded fragment of the found pulse, in the recorded data, with certain intervals (t_H and t_K) for integration (finding energy).

Суммарная энергия в заданном интервале времени вычисляется как сумма энергий всех обнаруженных в данном интервале импульсов.

Для реализации вышеописанных алгоритмов нами была разработана специальная программа SRS предназначенная для выделения импульсных сигналов электромагнитного поля литосферного происхождения из потока наблюдаемых данных и вычисления средней энергии и активности обнаруженных сигналов на заданном интервале времени. Программа обработки может работать в ручном или автоматическом режиме. В автоматическом режиме программа может работать сразу с шестью источниками данных (папки с большим количеством зарегистрированных файлов), обрабатывая каждый в отдельном потоке. Обработав несколько записей и определив оптимальный порог обнаружения, можно запустить программу в автоматическом режиме. После расчета данных программа сгенерирует текстовый файл, первая колонка которого соответствует дате проведения экспери-

мента, вторая времени записи, третья показывает количество событий, в четвертой колонке приводится значение энергии в дискретах АЦП. Если зарегистрированные данные были в ограничении, то данные отбраковываются, а в колонках количество событий и энергии ставится значение равное минус единице.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ВЫДЕЛЕНИЮ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИТОСФЕРНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

С использованием разработанной аппаратуры и программного обеспечения были проведены первые мониторинговые наблюдения с целью выявления вариаций высокочастотного электромагнитного поля литосферного происхождения. Аппаратура устанавливалась на территории ИС РАН и работала в режиме непрерывной регистрации в течении нескольких

месяцев. Датчик устанавливался на глубине один метр таким образом чтобы эллипс диаграммы направленности располагался в направлении север-юг. В зависимости от величины эфирных шумов выбирался коэффициент усиления измерительного канала датчика.

На первом этапе обработки данных эксперимента выполнялся поиск прототипов импульсов, соответствующих критериям, изложенным в работе (Лашин, Бобровский, 2022). Поиск выполнялся в ручном режиме (путем просмотра оператором первичных данных) на большом объеме зарегистрированных данных. Интервал регистрации для поиска прототипов составил примерно две недели. В результате было выделено около 143 прототипов импульсов, соответствующих заданным критериям. Примеры таких импульсов показаны на рис. 5.

На основе найденных прототипов выполнялась дальнейшая обработка. По результатам обработанных данных были построены временные ряды вариаций средней энергии и активности импульсов электромагнитного поля литосферного происхождения (рис. 6). На временных рядах (рис. 6) наблюдаются суточные вариации активности и средней энергии импульсов электромагнитного поля. Дневной максимум приходится в среднем на 16 часов по Бишкекскому времени. Ночной максимум меньше дневного, его пик приходится на 1 час. Наблюдаются периоды увеличения и уменьшения энергии суточных вариаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате эксперимента по регистрации электромагнитного поля в широкой полосе частот были обнаружены импульсы согласующиеся с предложенной гипотезой. Частотный диапазон обнаруженных сигналов лежит в пределах от 5 до 20 кГц.

Разработан специализированный узкополосный направленный датчик электромагнитного поля позволяющий регистрировать сигналы электромагнитного поля в ранее определенной полосе частот.

Разработан и опробован алгоритм, позволяющий в автоматическом режиме выделять сигналы сходные с прототипом из всего набора наблюдаемых данных и рассчитывать среднюю энергию и активность данных импульсов в заданном интервале времени.

С использованием специально разработанной аппаратуры и программного обеспечения были проведены первые мониторинговые наблюдения с целью выявления вариаций высокочастотного электромагнитного поля литосферного происхождения.

Обнаружены суточные вариации средней энергии и активности импульсов электромагнитного поля.

В дальнейшем планируется сопоставление лунно-солнечных приливов с энергией импульсных источников электромагнитного поля литосферного происхождения, регистрируемых на поверхности Земли.

Работа проводилась в рамках выполнения Государственного задания по теме: «Изучение геофизических полей и процессов как основы прогноза землетрясений на базе мониторинга и моделирования неупругих процессов в сейсмогенерирующих средах» (FMUG-2022-0007). Шифр научной темы: FMUG-2022-0007. Номер государственного учета: 122101000008-9.

Авторы выражают глубокую признательность и благодарность д.ф.м.н. А.К. Рыбину и д.ф.м.н. П.Н. Александрову за консультации и помощь, оказанные при написании статьи, а также сотрудникам ИС РАН Д.В. Коломейцеву и О.Ю. Лисимовой за помощь в подготовке графического материала.

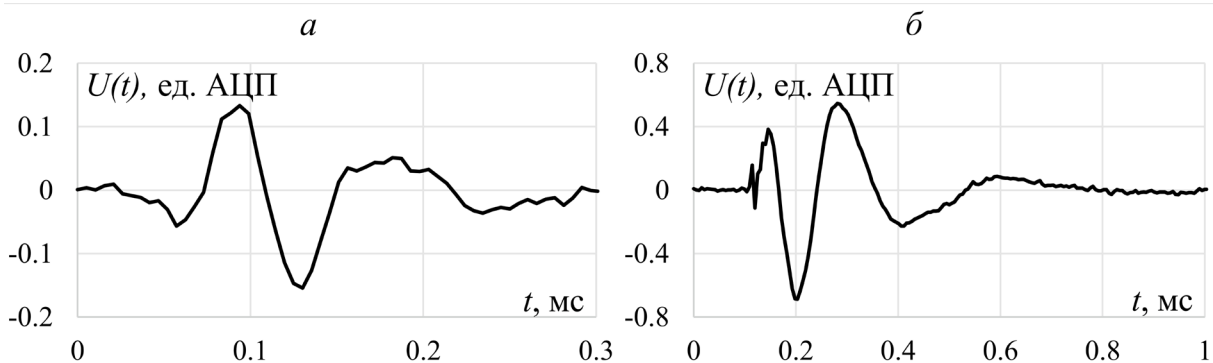


Рис. 5. Прототипы импульсов, зарегистрированных при помощи МПД-1: *a* — период ВЧ составляющей равен 72 мкс (13.7 кГц); период НЧ составляющей равен 187.5 мкс (5.3 кГц); *б* — период ВЧ составляющей равен 125 мкс (8 кГц); период НЧ составляющей равен 552 мкс (1.8 кГц)

Fig. 5. Prototypes of pulses recorded using SRS-1: *a* — period of the HF component is 72 μ s (13.7 kHz); period of the low-frequency component is 187.5 μ s (5.3 kHz); *b* — period of the HF component is 125 μ s (8 kHz); period of the low-frequency component is 552 μ s (1.8 kHz)

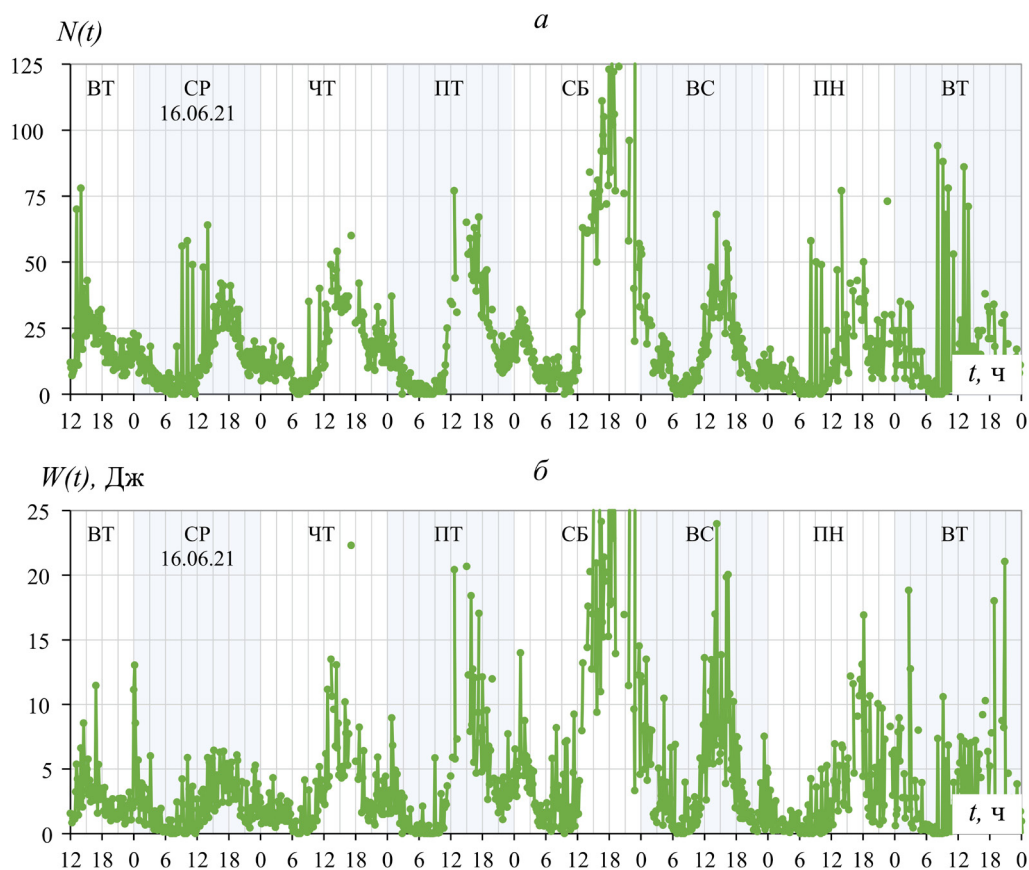


Рис. 6. Временные ряды активности (а) и средней энергии (б) импульсов электромагнитного поля литосферного происхождения.

Fig. 6. Time series of activity (a), and average energy (b) of electromagnetic field pulses of lithospheric origin.

Список литературы [References]

Александров П.Н. Теоретические основы георадарного метода. М.: Физматлит, 2007. 112 с. [*Alexandrov P.N.* Theoretical foundations of the georadar method. Moscow: Fizmatlit, 2007. 112 p. (in Russian)].

Бобровский В.В., Ильичев П.В., Лашин О.А. Широкополосный измерительный комплекс с шумоподобными сигналами для электромагнитного мониторинга современных геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах // Сейсмические приборы. 2021. Т. 57. № 1. С. 29–48. [*Bobrovsky V.V., Il'ichev P.V., Lashin O.A.* Broadband Measuring Complex with Pseudonoise Signals for Electromagnetic Monitoring of Modern Geodynamic Processes in Seismically Active Zones, *Seismic Instruments*, 2021, V. 57. № 4. P. 384–396. <https://doi.org/10.3103/S0747923921040034>]

Гохберг М.Б., Моргунов В.А., Похотелов О.А. Сейсмoeлектромагнитные явления. М.: Наука, 1988. 174 с. [*Gokhberg M.B., Morgunov V.A., Pipes O.A.* Seismo electromagnetic phenomena. Moscow: Science, 1988. 174 p. (in Russian)].

Ильичев П.В., Лашин О.А. Широкополосный термостабильный измеритель индукции магнитного поля / Патент Российской Федерации на полезную модель № 168302, дата регистрации 30.01.2017 г. [*Il'ichev, P.V., Lashin, O.A.* Broadband Thermostable Magnetic Field Induction Meter RU Patent 168302, 2017 (in Russian)].

Лашин О.А., Бобровский В.В. О выделении сигнала высокочастотного ЭМ-поля литосферного происхождения: теоретический аспект // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2022. № 2. Вып. 54. С. 60–68 [*Lashin O.A., Bobrovsky V.V.* On the extraction a high frequency em field signal of lithospheric origin: a theoretical aspect // *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*. 2022. № 2 (54). P. 60–68 (in Russian)].

Лашин О.А. Широкополосный датчик переменного магнитного поля для геоэлектроразведки // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 9. С. 179–185 [*Lashin O.A.* The wideband sensor of the variable magnetic field for geoelectrical prospecting // *Vestnik KRSU*. 2015. V. 15. № 9. P. 179–185 (in Russian)].

Поляков С.В., Резников Б.И., Шенников А.В. и др. Линейка индукционных датчиков магнитного поля для геофизических исследований // Сейсмические приборы. 2016. Т. 52. № 1. С. 5–27 [*Polyakov S.V., Reznikov B.I., Shchennikov A.V. et al.* Line of induction magnetic field sensors for geophysical research // *Seismic devices*. 2016. V. 52. № 1. P. 5–27].

Соболев Г.А., Демин В.Н. Механоэлектрические явления в земле. М.: Наука, 1980. 215 с. [*Sobolev G.A., Demin V.N.* Mechanoelectric phenomena in the ground. Moscow: Science, 1980. 215 p. (in Russian)].

Токтосопиев А.М. Электромагнитные предвестники землетрясений. Каракол, 2007. 312 с. [*Toktosopiev A.M.* Electromagnetic precursors earthquakes. Karakol, 2007. 312 p. (in Russian)].

Уваров В.Н. Электромагнитное проявление литосферы в СНЧ-ОНЧ-диапазоне // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 6. С. 133–146 [*Uvarov V.N.* Electromagnetic manifestation of lithosphere in the SNC-ONC band // Geophysical magazine. 2012. Т. 34. № 6. P. 133–146 (in Russian)].

Шуман В.Н. Концепция динамически неустойчивой геосреды и сейсмoeлектромагнитный шум литосферы // Геофизический журнал. 2010. № 6. Т. 32. С. 101–118 [*Shuman V.N.* The concept of a dynamically unstable geo-environment and seismoelectromagnetic noise of the lithosphere // Geophysical Journal. 2010. № . V. 32. P. 101–118 (in Russian)].

ON THE EXTRACTION A HIGH FREQUENCY EM FIELD SIGNAL OF LITHOSPHERIC ORIGIN: A PRACTICAL ASPECT

O.A. Lashin, V.V. Bobrovsky

Federal State Budgetary Institution of Science Scientific Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek, Bishkek, Kyrgyz Republic, 720049; e-mail: legyss@mail.ru

Received October 27, 2023; revised May 01, 2024; accepted June 25, 2024

The work is devoted to the practical aspect of separation of pulse-type signals of lithospheric origin in the recorded electromagnetic field by their shape. Experiments on registration of electromagnetic field signals in a wide frequency range have been carried out. In the frequency range from 5 to 20 kHz, pulses consistent with the generalized shape of the pulse of lithospheric origin were detected. Special hardware and software was developed for registration and further processing of electromagnetic field signals in the kilohertz range. With its help, prototypes of pulses of lithospheric origin were identified. An algorithm was proposed and tested, which makes it possible to automatically select pulses similar to the prototype from the entire set of observed data. Field experiments were carried out to isolate pulses of electromagnetic field of lithospheric origin and to determine their energy and quantitative characteristics. Daily variations of the average energy and activity of electromagnetic field pulses of lithospheric origin are revealed.

Keywords: fracturing, impulse of lithospheric origin, passive monitoring system.