

Общество с ограниченной ответственностью
«Электронные технологии и метрологические системы»

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ
УРОВНЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
(СКСВ)**

**Программное обеспечение
подбора параметров под конкретные условия
применения компонента
«Обнаружитель сейсмических событий»**

**Руководство оператора
ЭТМС.06002-01 34 01 РО**

Содержание

Аннотация.....	3
1. Перечень используемых сокращений.....	4
2. Назначение ПО подбора параметров детектирования.....	5
3. Общие сведения о настраиваемых параметрах детектирования.....	6
4. Условия применения ПО подбора параметров детектирования.....	9
5. Работа ПО подбора параметров детектирования.....	10
6. Сохранение результатов работы ПО подбора параметров детектирования.....	17
7. Назначение ПО подбора параметров классификации.....	18
8. Общие сведения о параметрах классификации.....	19
9. Условия применения По подбора параметров классификации.....	24
10. Работа ПО подбора параметров классификации.....	25
11. Сохранение результатов работы ПО подбора параметров классификации.....	33
Приложение А. Практическая работа с ПО подбора параметров детектирования.....	34
Приложение Б. Практическая работа с ПО подбора параметров классификации.....	49
Аннотация	

Настоящее руководство оператора предназначено для операторов, работающих с программным обеспечением (ПО) подбора параметров под конкретные условия применения компонента SCADA-системы ZETView «Обнаружитель сейсмических событий» (ОСС), являющегося частью ПО СКСВ. Задачей данного ПО является подбор оптимальных параметров компонента ОСС.

ОСС предназначен для детектирования события и их классификации. Поэтому у данного компонента существует ПО подбора параметров детектирования события и ПО подбора параметров классификации события.

1. Перечень используемых сокращений

МАП – мгновенный адаптивный порог.

ОС – операционная система.

ОСС – компонент SCADA-системы ZETView «Обнаружитель сейсмических событий».

ПО – программное обеспечение.

СКСВ – система контроля уровня сейсмических воздействий. Программный пакет, предназначенный для определения и анализа сейсмической обстановки в некотором регионе.

Создан на базе SCADA-системы ZETView. Разрабатывается и поставляется ООО «ЭТМС».

ПОД – ПО подбора параметров детектирования событий ОСС.

ПОК – ПО подбора параметров классификации событий ОСС.

ФВЧ – фильтр высоких частот.

ФНЧ – фильтр низких частот.

ЭТМС – ООО «Электронные технологии и метрологические системы»

ЕМА – exponential moving average – экспоненциальное скользящее среднее

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерское управление и сбор данных)

– программный пакет, предназначенный для разработки или обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте мониторинга или управления. (см. сайт Википедия <https://ru.wikipedia.org/wiki/SCADA>)

SNR – signal-to-noise ratio – отношение сигнал/шум.

STA/LTA – Short Time Average / Long Time Average.

ZETLab – пакет программ, предназначенный для цифровой обработки сигналов в реальном масштабе времени. Разрабатывается и поставляется ООО «ЭТМС».

ZETView – SCADA-система, разработанная на основе пакета ZETLab. Разрабатывается и поставляется ООО «ЭТМС».

2. Назначение ПО подбора параметров детектирования

ПОД предназначен для настройки параметров ОСС, отвечающих за детектирование событий.

Шумовая сейсмическая обстановка, включающая в себя как техногенную составляющую, так и местные микросейсмы, может сильно различаться на разных сейсмостанциях. Поэтому необходимо правильно задавать параметры самого важного в СКСВ компонента, которым и является ОСС, предназначенный для детектирования и классификации сейсмических событий с целью обнаружения землетрясений.

При этом следует учитывать, что техногенная составляющая сейсмических шумов имеет ярко выраженную суточную изменчивость, а местные микросейсмы – сезонную изменчивость.

Детектирование событий в ОСС реализовано с помощью одной из многочисленных версий детектора STA/LTA, широко применяемого в сейсмике уже несколько десятков лет. Поэтому в первую очередь параметры используемого в ОСС детектора STA/LTA и требуют подбора.

Значения параметров ОСС, установленные в компоненте, в подавляющем большинстве случаев позволяют правильно детектировать землетрясения. Однако, возможна такая шумовая сейсмическая обстановка, при которой потребуются установка значений этих параметров, отличных от установленных значений по умолчанию. В противном случае может возникнуть ситуация, когда будут наблюдаться пропуски реальных землетрясений и/или ложные срабатывания, когда техногенные события будут объявляться землетрясениями.

ПОД позволяет автоматизировать процесс выбора значений параметров, оптимальных для конкретных сейсмических шумов. Для работы ПОД требуются записи сигналов реальных событий, которые были неправильно интерпретированы СКСВ.

3. Общие сведения о настраиваемых параметрах детектирования

В данном разделе руководства даётся краткое описание параметров, настраиваемых с помощью ПОД. В ОСС сигналы с датчиков вначале подвергаются полосой частотной фильтрации, затем выполняется детектирование событий, их классификация, и, наконец, если принято решение о том, что обнаружено землетрясение, то определяются параметры этого землетрясения, необходимые для работы СКСВ.

Рабочий частотный диапазон датчиков, используемых в СКСВ (акселерометры ВС 1313), - это диапазон от 0.3 до 300 Гц. В сейсмике считается, что частотный диапазон сигналов землетрясений от 0.001 до 30 Гц. Низкочастотные составляющие сигналов землетрясений (частоты менее 1 Гц) характерны для дальних землетрясений, т.к. они слабо затухают при распространении. Но такие землетрясения не могут нанести вреда сооружениям. Высокочастотные составляющие сигналов землетрясений (частоты более 10 Гц) имеют большой коэффициент затухания, поэтому в сигналах датчиков практически не присутствуют. Таким образом, получаем, что сигналы частотой менее 1 Гц не представляют опасности, а сигналы частотой более 10 Гц являются помехой. Поэтому в качестве частот среза полосового фильтра, используемого в ОСС, и заданы эти величины – 1 и 10 Гц. Это первые два параметра, настраиваемые с помощью ПОД.

Теперь рассмотрим параметры детектора STA/LTA. Это длительности короткого и длинного временных окон (в секундах), порог детектирования и фактор детектора. Длительность короткого окна должна соответствовать длительности Р-фазы землетрясения. Длительность длинного окна должна быть много больше длительности короткого окна.

Выходной временной интервал включает в себя предысторию и интервал от начала до конца события, определяемый самим детектором.

Реализованная в ОСС версия детектора использует три сигнала: сигнал детектора SD, сигнал дисперсии SN и сигнал огибающей SO.

Сигнал детектора SD по одной компоненте X, Y или Z, рассчитывается по формуле:

$$SD_{X_k} = \frac{\frac{1}{N_{STA}} \cdot \sum_{i=k}^{k+N_{STA}} \text{Ampl}_i}{\frac{1}{N_{LTA}} \cdot \sum_{i=k-N_{LTA}}^k \text{Ampl}_i},$$

где N_{STA} – длительность короткого окна в отсчетах АЦП;

N_{LTA} - длительность длинного окна в отсчетах АЦП;

Ampl - значение амплитуды по каналу X, Y или Z.

Усредненный сигнал детектора рассчитывается как текущий средний по тем компонентам, по которым разрешается работать. Например, при работающих трех

компонентах рассчитывается среднее по трем SD . При рабочих двух компонентах, усреднение производится по двум компонентам.

$$SD_k = (SD_{xk} + SD_{yk} + SD_{zk}) / 3$$

Сигнал детектора SD всегда больше 0, при равномерном стационарном шуме его величина приблизительно равна 1.

Сигнал дисперсии SN оценивается по алгоритму ЕМА, как отклонение от 1 текущего значения SD на временном интервале длинного окна.

$$SN_k = (1-a) * SN_{k-1} + a * (1-SD_k)^2$$

$$a = 2 / (N_{LTA} + 1); SN_0 = SD_0$$

Сигнал огибающей SO рассчитывается по формуле:

$$SO_n = SO_{n-1} + \log_{10}(\text{factor} * SD_n),$$

где factor детектора – эмпирически подбираемое значение, один из конфигурационных параметров детектора.

При превышении сигналом детектора SD порога детектирования SH (как правило, $SH = 3,0$) объявляется начало события и сигнал огибающей SO_0 приравняется 0. Конец события объявляется, когда сигнал огибающей SO_n становится отрицательным.

Последняя формула накладывает следующее ограничение: произведение порога детектирования на фактор детектора должно быть строго больше 1. В противном случае возможны пропуски некоторых событий. А именно событий, у которых первое значение сигнала детектора, относящееся к событию, незначительно превышает порог детектирования. В этом случае возможна такая ситуация, при которой произведение фактора детектора на это значение сигнала детектора будет меньше или равно 1. Как следствие этого, первое значение огибающей детектора будет меньше 0, и детектор примет решение о завершении события.

Таким образом, величина порога детектирования задаёт энергетику обнаруживаемых событий.

Величина фактора детектора влияет на продолжительность события по версии ОСС.

Кроме этого ПОД позволяет подбирать следующие параметры: минимальная длительность события и длительность предыстории (в секундах).

Длительность сигналов землетрясений, как правило не менее минуты. Поэтому если ОСС определяет длительность события меньше некоторой минимальной величины, то это

событие можно считать не сейсмическим.

Предыстория события, в течении которой входные сигналы содержат только фоновые шумы, необходима в ОСС для определения время начала события с максимально возможной точностью.

В работе ОСС необходимо не только обнаружить землетрясение, но также правильно определить его длительность. Поэтому при работе ПОД следует ставить две задачи: подбор параметров для обнаружения и подбор параметров для определения длительности события. Для первой задачи основным параметром является порог детектирования. Для второй – фактор детектора. Остальные параметры, подбираемые ПОД, конечно, влияют на обе задачи, но их влияние второстепенно.

При определении оптимального значения порога детектирования следует воспроизводить с помощью ПОД сейсмические фоновые шумы, зарегистрированные в интересующем месте. При определении оптимального значения фактора детектора следуют воспроизводить записи реальных землетрясений, зарегистрированных в месте расположения сейсмостанции.

4. Условия применения ПО подбора параметров детектирования

Для работы ПОД можно выделить любой компьютер с операционной системой Windows, не старше Windows 7. Требования к характеристикам компьютера см. в описании ПО ZETLab.

На этом компьютере необходимо установить ПО ZETLab и ZETView. На компьютер в конечную папку ZETLab скопировать файл tr_dtct_dse.exe. В папку SCADA-проектов ZETView – tr_dtct_dse.zvx. Первый файл – это исполняемый файл ПОД. Второй файл – исходный файл проекта ПОД.

Для возможности запуска исполняемого файла ПОД к компьютеру необходимо подключить электронный ключ ZETKey или какое-либо устройство аналогового ввода компании ООО «ЭТМС». Ключ (устройство ввода) должен иметь прошивку для работы со SCADA-проектами ZETView.

Для правильной работы ПОД на компьютере должна существовать папка «...\ZETLab\structures_definitions\», в которой должны быть следующие файлы (обеспечивается при правильной установке ПО ZETLab):

- «8001003b.zbinary1»
- «8001002a.zbinary1»
- «80010019.zbinary1»

5. Работа ПО подбора параметров детектирования

Выполнив требования предыдущего пункта, можно приступить к работе на ПОД. Вначале необходимо скопировать на компьютер записи событий, которые было неправильно классифицированы СКСВ. Затем запустить программу «Воспроизведение сигналов» и выбрать папку с одной из этих записей, см. рисунок 1. В представленном случае воспроизводилась запись землетрясения, магнитудой 5,0. Датчик, зарегистрировавший сигналы этого землетрясения, располагался на расстоянии около 210 км от эпицентра землетрясения.

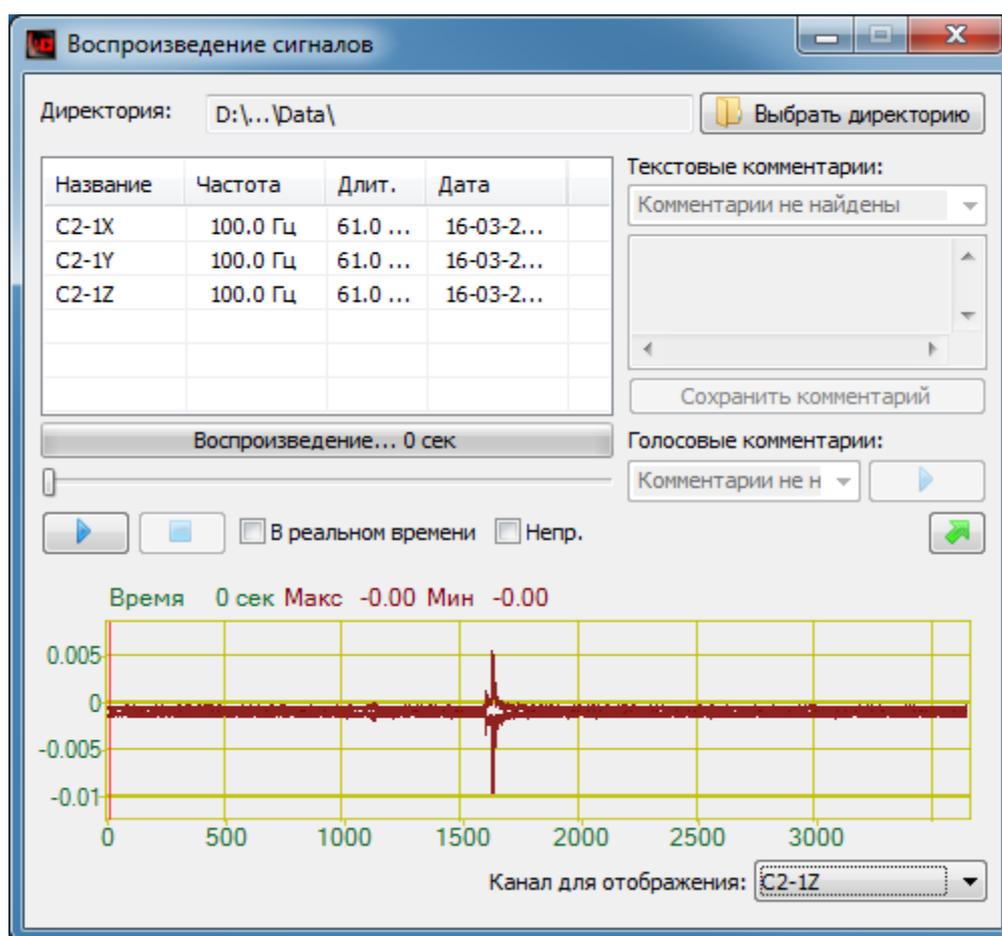


Рисунок 1. – Окно программы «Воспроизведение сигналов»

После этого запустить программу `tr_dtct_dse.exe`. На мониторе появится окно ПОД, см. рисунок 2. В этом окне будет отображаться главная вкладка ПОД «Результаты».

Слева в окне отображаются графики, справа – кнопки для управления, элементы для задания входных сигналов и различные индикаторы.

Кнопка «Старт/Стоп» предназначена для запуска и остановки работы ПОД. С помощью кнопки «Сохранить графики» можно сохранять графики в формате `dtu`. Кнопка

«Сохранить параметры» в конце работы ПОД позволяет сохранять текущие значения параметров в текстовый файл.

Имена каналов компонентов X, Y и Z датчика будут отображены на зеленом или красном фоне в зависимости от того, есть ли в выбранной записи программы «Воспроизведение сигналов» требуемые каналы. Под именами каналов расположены горизонтальные индикаторы уровней сигналов этих каналов.

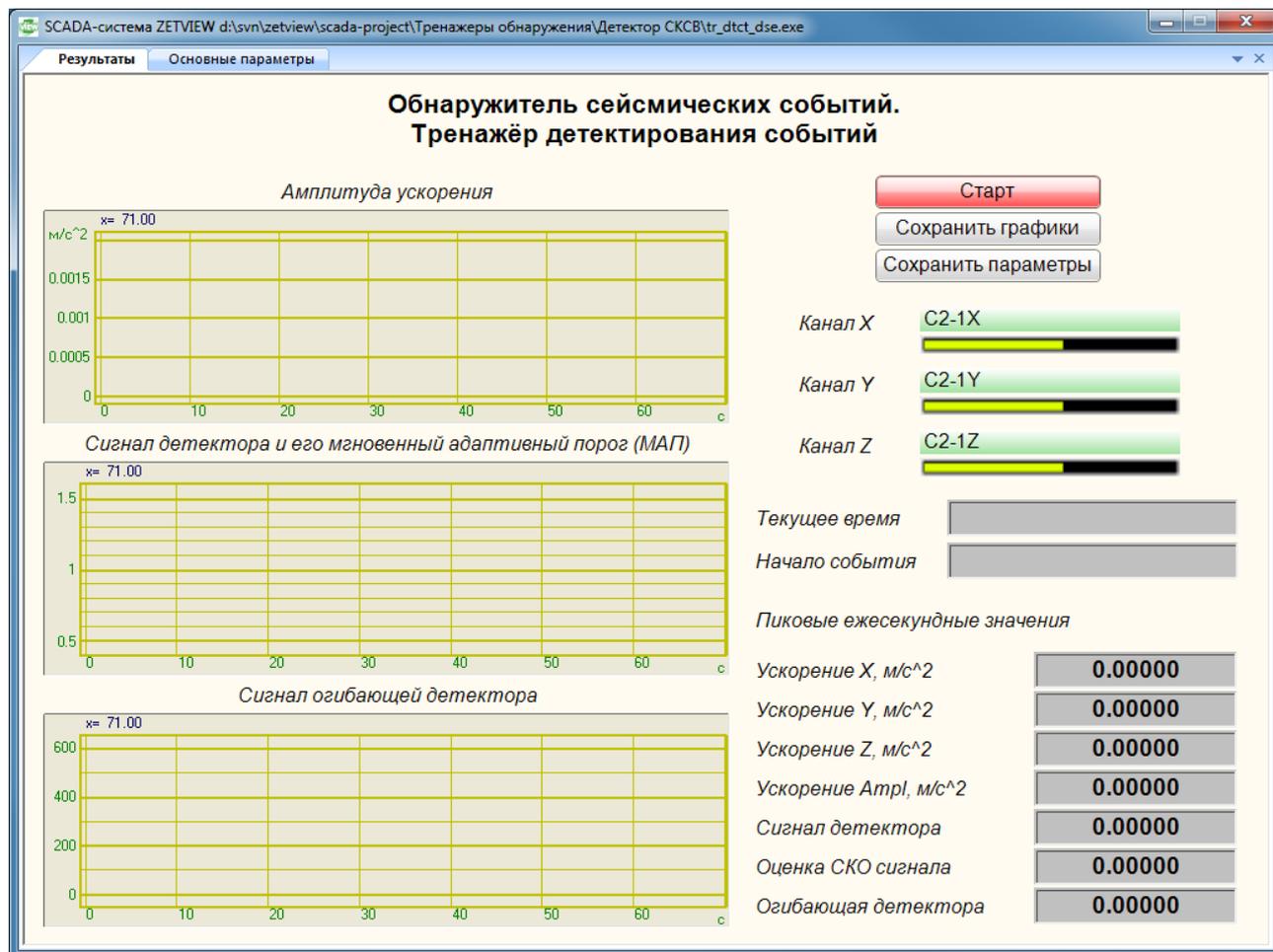


Рисунок. 2. – Окно ПОД. Вкладка «Результаты»

Под элементами задания входных сигналов расположены индикаторы для отображения текущего времени и времени начала сигналов. Время в них отображается в формате «ДД.ММ.ГГГГ ЧЧ:ММ:СС».

Ниже расположены индикаторы для отображения пиковых ежесекундных значений.

Значения ускорений – это пиковые значения отфильтрованных сигналов соответствующих компонент в м/с². Сигналы детекторов безразмерны.

Ось X всех графиков – это время в секундах относительно времени начала работы ПОД. По мере работы ПОД диапазон отображаемых времен увеличивается от 0 до 1000 сек.

После этого он не изменяется. Количество отображаемых точек на графиках одинаковое.

На верхнем графике отображается временная зависимость пикового значения амплитуды ускорения отфильтрованных в m/s^2 . На среднем графике отображаются сигнал детектора и график мгновенного адаптивного порога (МАП)

$$МАП = \text{Коэффициент МАП} * SN.$$

Коэффициент МАП – это величина из вкладки «Основные параметры», см. ниже. Максимальное значение МАП за время отсутствия событий можно принимать за порог детектирования.

На нижнем графике представлен сигнал огибающей детектора, т.е. сигнал есть или нет событие.

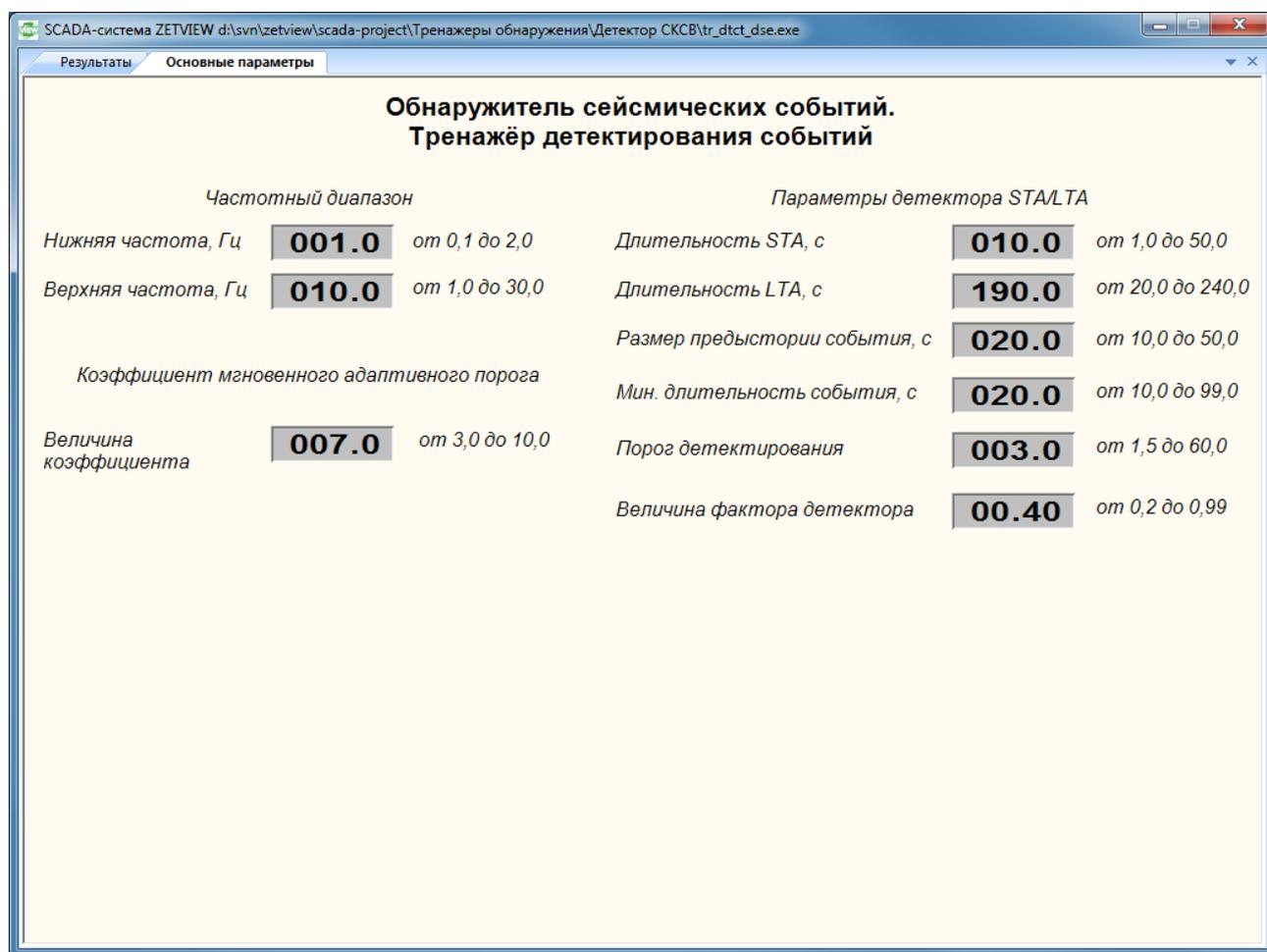


Рисунок 3. – Окно ПОД. Вкладка «Основные параметры»

Окно ПОД имеет вторую вкладку: «Основные параметры», представленную на рисунке 3.

Значения параметров на этой вкладке можно изменять. Для этого надо навести

указатель манипулятора «мышь» (далее по тексту мышшь) на изменяемую цифру. Кликнуть по ней левой кнопкой мыши (далее по тексту кликнуть), она подсветится, и вращая колёсико мыши можно изменять цифру. Описанная процедура изменения значения относится ко всем остальным параметрам.

После задания новых значений всем параметрам следует вернуться на главную вкладку ПОД. Запустить воспроизведение сигналов и кликнуть по красной кнопке ПОД «Старт». Кнопка станет зелёной и поменяет свой текст на «Стоп». На верхнем графике сразу начнётся отображаться амплитуда ускорения и станут изменяться значения пиковых ускорений в индикаторах. Текущее время также будет изменяться.

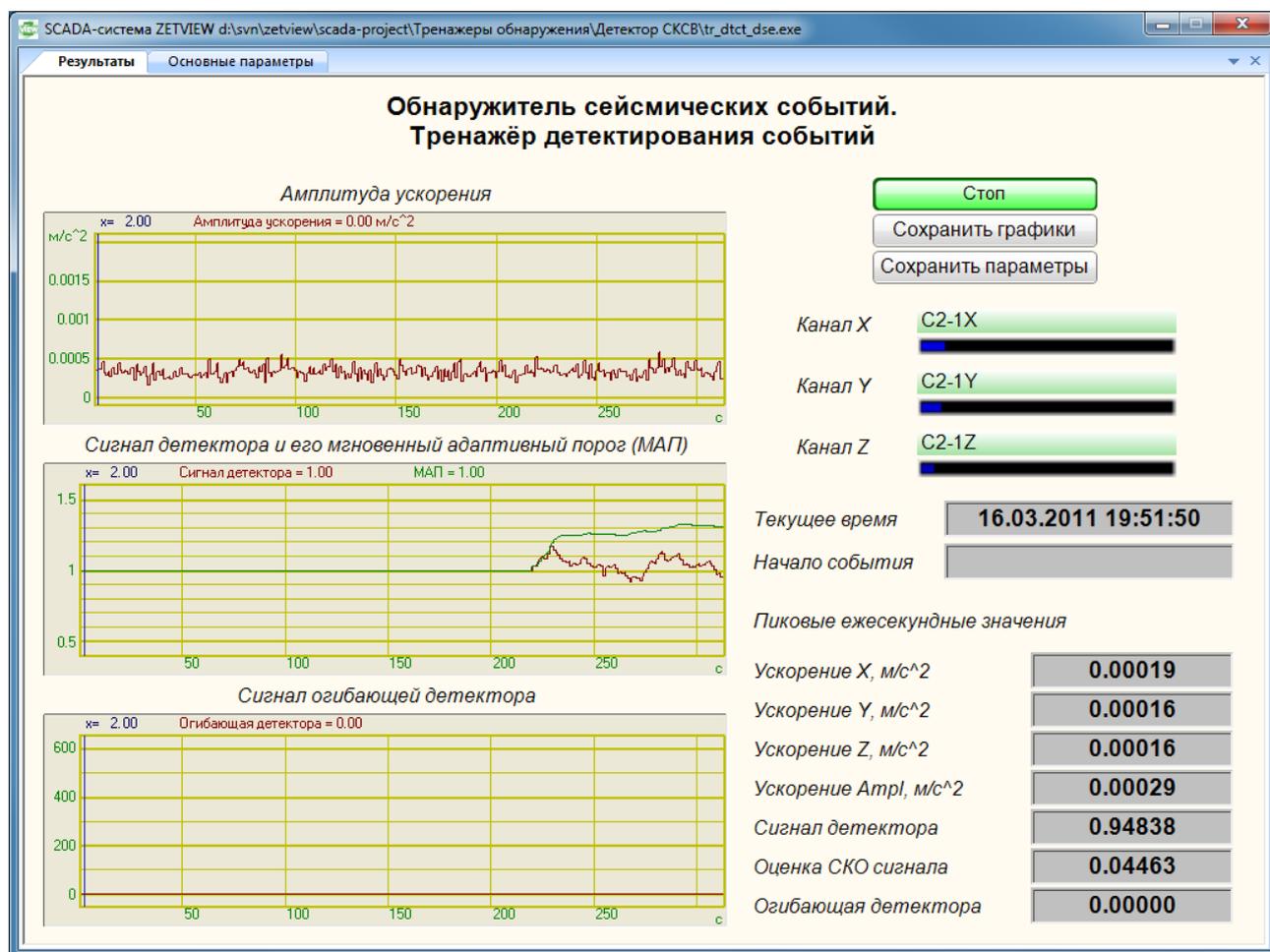


Рисунок 4. – Вкладка «Результаты» в течении первых секунд работы ПОД

Сигналы на среднем графике начнут отображаться только через время, необходимое для инициализации детектора STA/LTA. При заданных параметрах (см. рисунок 3) это произойдёт через 220 сек. До этого сигнал детектора будет равным 1, а оценка СКО – 0.

Сигнал на нижнем графике появляется только при детектировании какого-либо события.

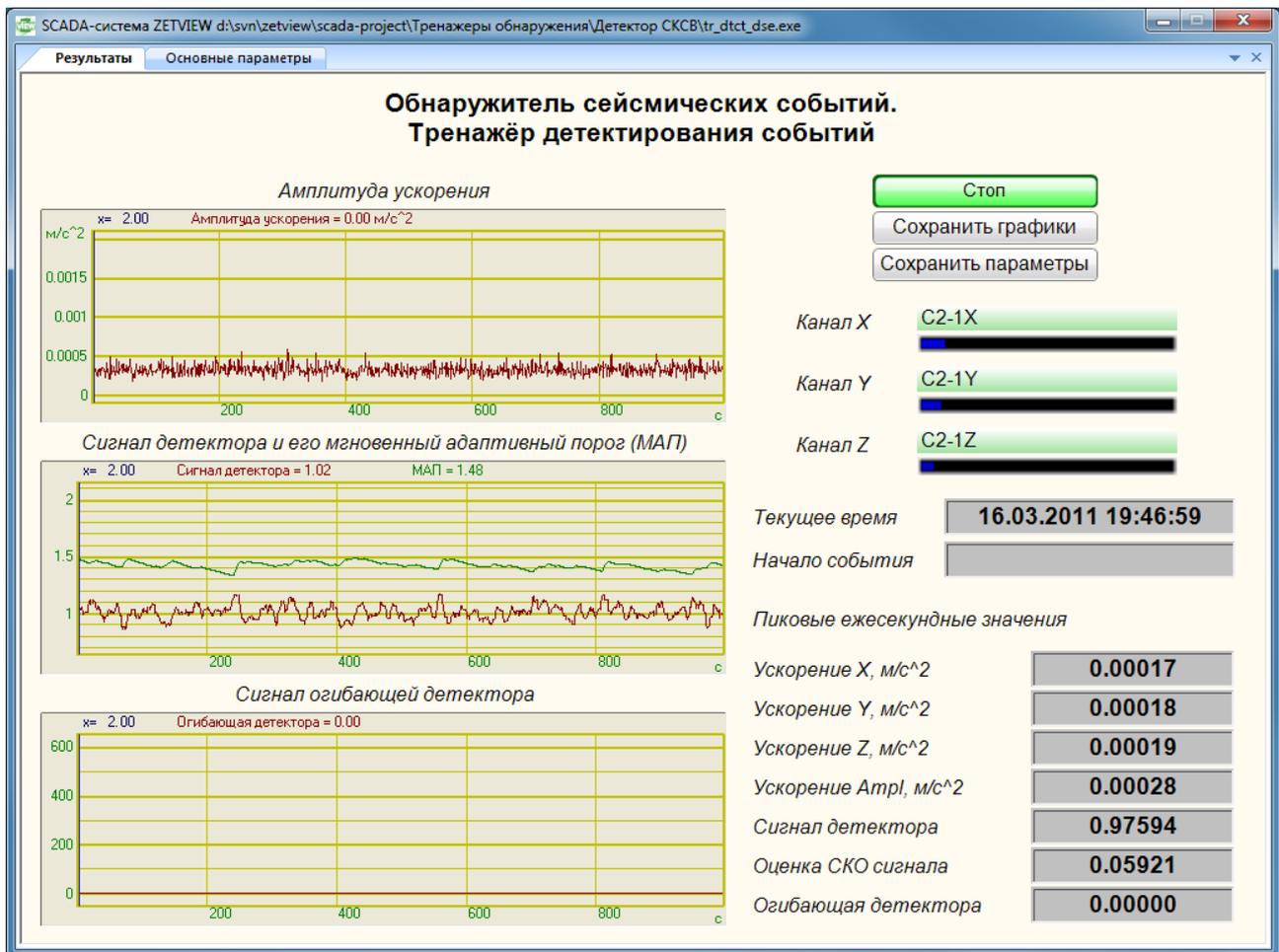


Рисунок 5. – Вкладка «Результаты» в отсутствии событий

На рисунке 5 отображен результат работы ПОД для фоновых сейсмических сигналов.

Видно, что за всё время величина МАП не превысила 1,5. Поэтому для датчика, который зарегистрировал эти сигналы, в качестве величины порога детектирования можно задать 1,5. Однако не рекомендуется делать эту величину меньше 2,0.

Нижний график не содержит кривой, т. к. не было никаких событий. Также пустым остался индикатор с временем начала события.

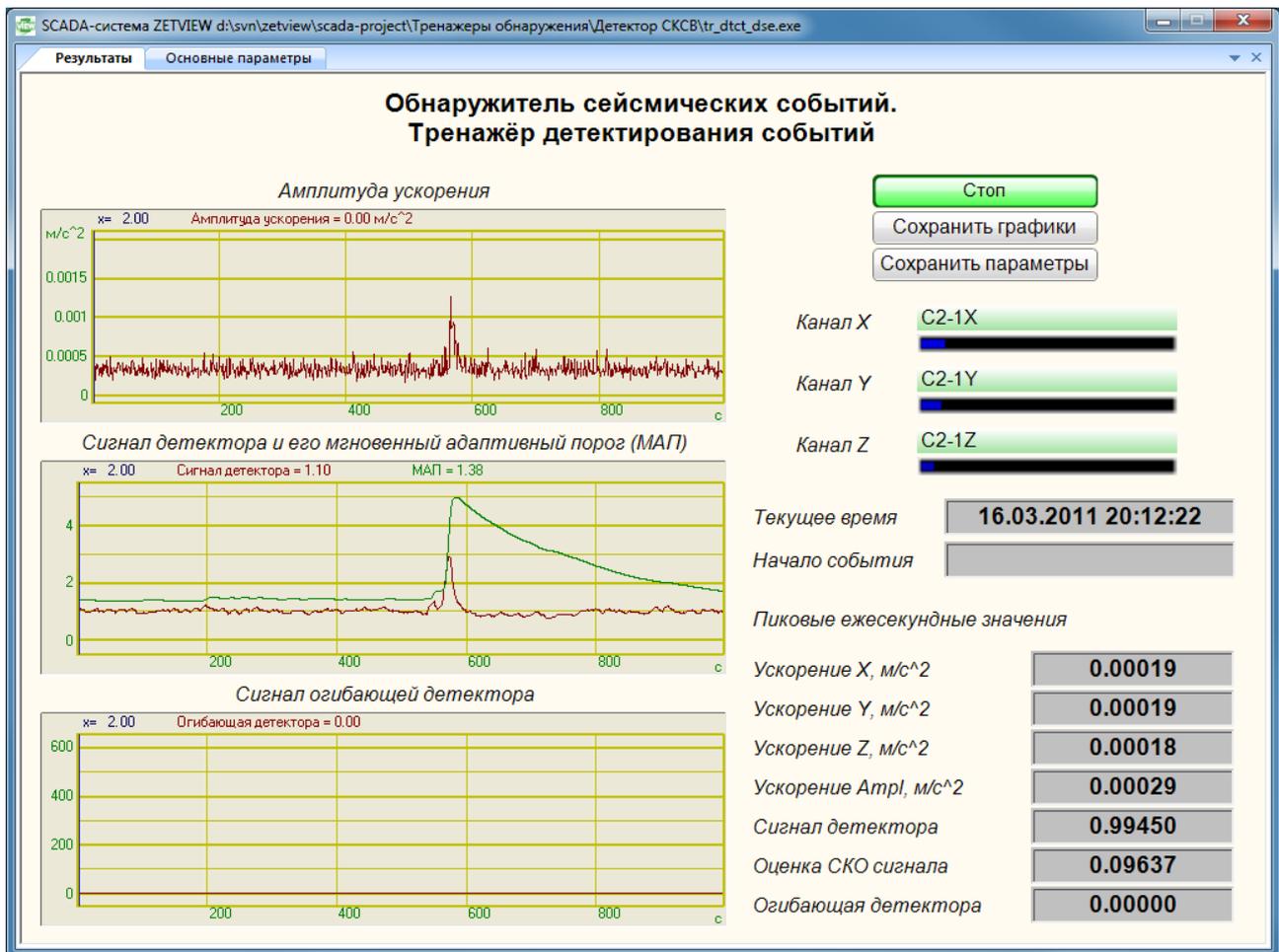


Рисунок 6. – Вкладка «Результаты» с событием, которое не обнаружено детектором

На рисунке 6 отображен результат работы ПОД для некоторого слабого события. Амплитуда ускорения до и после события (см. верхний график) не превышает $0,0006 \text{ м/с}^2$. Максимальное значение ускорения за время события менее $0,0013 \text{ м/с}^2$.

Сигнал детектора за время события не превысил величину порога детектирования, поэтому данное событие не было обнаружено детектором. Как следствие, отсутствует кривая на нижнем графике.

Величина МАП сразу после начала события резко увеличивается и после события плавно возвращается к своим прежним значениям. Т.к. физический смысл МАП во время события отсутствует, то поведение этого графика обращать не стоит.

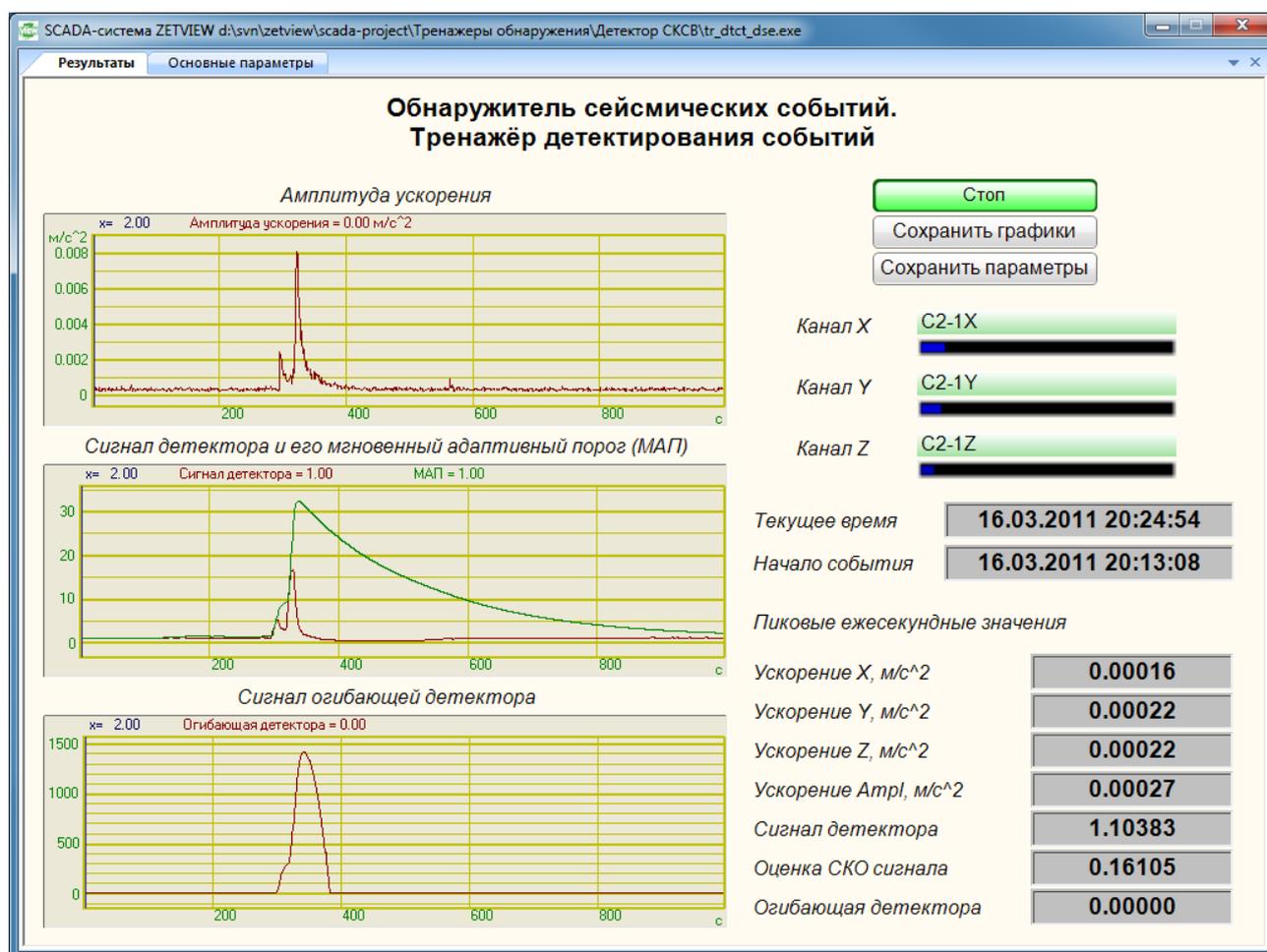


Рисунок 7. – Вкладка «Результаты» с событием, которое обнаружено детектором

На рисунке 7 представлен результат работы ПОД для реального землетрясения. На верхнем графике отчётливо видны P- и S-фазы этого землетрясения. Отголоски этих фаз можно найти на среднем и нижнем графиках. За время P-фазы амплитуда ускорения составила более 0,0024 м/с², сигнал детектора превысил порог детектирования, потому данное землетрясение было обнаружено детектором.

В заключении данного раздела осталось сказать, что все три графика синхронизированы по оси времени (ось X). При изменении положения временного курсора или параметров отображения времен (время начала или конца отображаемого интервала) на любом графике аналогичные изменения будут выполнены и на двух других графиках.

Более подробно результаты работы ПОД на разных событиях с разными параметрами приведены в приложении А.

6. Сохранение результатов работы ПО подбора параметров детектирования

Для сохранения результатов работы ПОД на вкладке «Результаты» есть две кнопки: для сохранения графиков в формате dtu, и сохранения величин параметров в текстовый файл. После запуска ПОД кнопкой «Старт» кнопки сохранения становятся не доступными.

После клика по кнопке «Сохранить графики» будет три раза (по числу графиков) вызван диалог выбора файла для сохранения dtu-файла вначале для верхнего графика, затем для среднего и, наконец, для нижнего графика. Данные файлы можно просматривать программой «Просмотр результатов».

После клика по кнопке «Сохранить параметры» будет вызван диалог выбора файла для сохранения величин параметров в текстовом файле. Ниже приведён пример такого файла.

//-----

Fmin = 1

Fmax = 10

Размер предыстории = 20

Длительность STA = 10

Длительность LTA = 190

Порог детектирования = 3

Мин. длительность = 20

Величина фактора = 0.4

Величина множителя = 7

//-----

7. Назначение ПО подбора параметров классификации

ПОК предназначен для настройки параметров ОСС, отвечающих за классификацию событий.

Шумовая сейсмическая обстановка, включающая в себя как техногенную составляющую, так и местные микросейсмы, может сильно различаться на разных сейсмостанциях. Поэтому необходимо правильно задавать параметры самого важного в СКСВ компонента, которым и является ОСС, который предназначен для детектирования и классификации сейсмических событий с целью обнаружения землетрясений.

При этом следует учитывать, что техногенная составляющая сейсмических шумов имеет ярко выраженную суточную изменчивость, а местные микросейсмы – сезонную изменчивость.

Значения параметров ОСС, установленные в компоненте, в подавляющем большинстве случаев позволяют правильно классифицировать землетрясения. Однако, возможна такая шумовая сейсмическая обстановка, при которой потребуется установка значений этих параметров, отличных от установленных значений по умолчанию. В противном случае может возникнуть ситуация, когда будут наблюдаться пропуски реальных землетрясений и/или ложные срабатывания, когда техногенные события будут объявляться землетрясениями.

ПОК позволяет автоматизировать процесс выбора значений параметров классификации, оптимальных для конкретных сейсмических шумов. Для работы ПОК требуются записи сигналов фоновых шумов, а также реальных событий, которые были неправильно интерпретированы СКСВ.

8. Общие сведения о параметрах классификации

В данном разделе руководства даётся краткое описание параметров ОСС, настраиваемых с помощью ПОК.

Классификация событий в ОСС реализована с помощью набора алгоритмов классификации событий. Каждый из используемых алгоритмов определяет наличие в сигнале определенного типа событий, назовём его характерным событием алгоритма. Детектор ОСС определяет в сигнале некоторое событие. Результат работы детектора – это некоторый временной интервал, содержащий сигналы по X, Y, Z с найденным событием. Кроме этого в этот временной интервал включается некоторая предыстория, в течении которой заведомо нет события. Предыстория располагается непосредственно перед событием и имеет известную длительность. Считаем, что сигнал датчика за время предыстории – это фоновые шумы, являющиеся стационарным шумом, а сигнал датчика за время события – это сумма фоновых шумов и сигнала самого события. Каждый из алгоритмов классификации имеет свой набор параметров. По сигналам предыстории и события алгоритм определяет два набора значений своих параметров. Сравнивая значения этих двух наборов можно с уверенностью сказать является ли найденное событие характерным событием алгоритма или нет.

В существующей версии ОСС используется шесть алгоритмов классификации событий. У каждого алгоритма свой набор параметров, которые можно настраивать с помощью ПОК. Ниже перечислены параметры всех используемых алгоритмов.

Основной алгоритм классификации использует методы **вейвлет-анализа**, а именно вейвлет-фильтрацию исходных сигналов. По предыстории определяются максимальные значения коэффициентов вейвлет-преобразования фоновых шумов. После этого выполняется вейвлет-фильтрация сигналов события. Результат фильтрация – нулевые значения сигнала, уровень которого не превышает уровень фоновых шумов. В качестве примера см. рисунки 8 и 9, на которых представлены сигналы землетрясения по компонентам X, Y, Z до и после вейвлет-фильтрации. На рисунках хорошо видно, что сигналы до начала события после фильтрации стали нулевыми. Это позволяет с хорошей точностью определять время начала события. Кроме этого видно, что в конце осциллограммы, когда событие завершается, количество нулевых отчетов сигнала начинает увеличиваться. Эмпирический факт - количество ненулевых отсчётов за время события для реальных землетрясений всегда больше 50 %. При этом для событий, не являющимися сейсмическими, эта величина редко превышает 10 %. Благодаря заметной разнице (в 5 раз) этих двух величин данный алгоритм является в ОСС самым надёжным алгоритмом классификации землетрясений. Критерий

данного алгоритма — это превышение количества ненулевых отсчётов порогового значения, которое по умолчанию задано 17 %. При этом принимается решение о том, что найденное событие является сейсмическим.

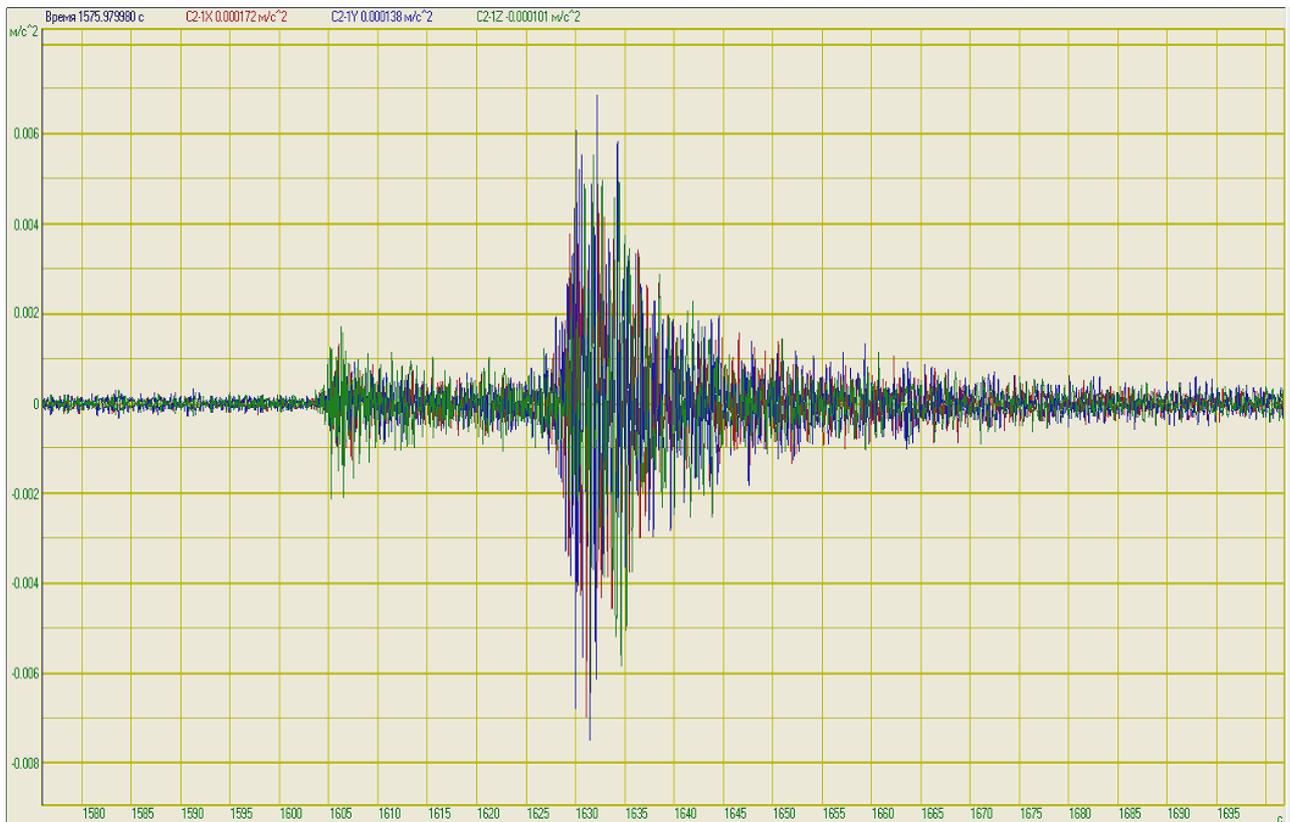


Рисунок 8. — Осциллограммы сигналов землетрясений до вейвлет-фильтрации

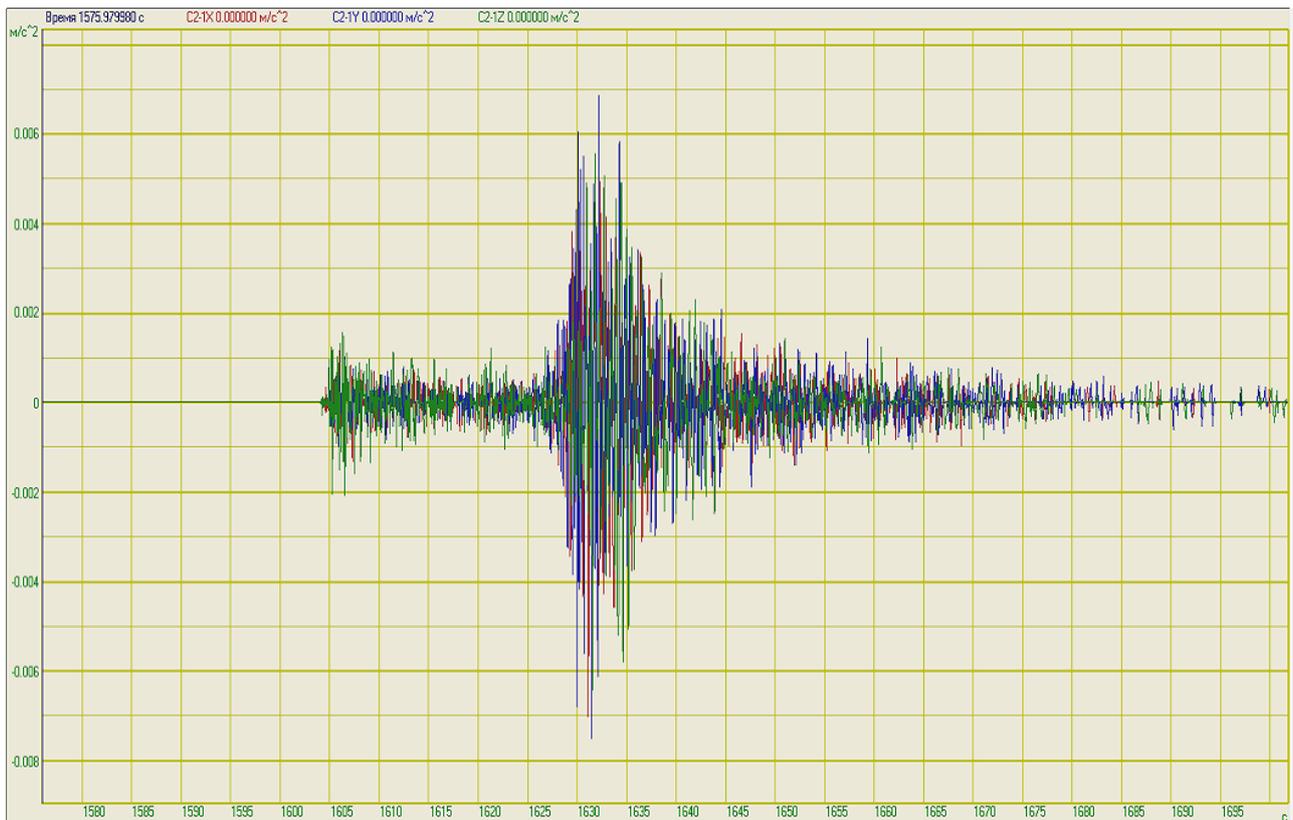


Рисунок 9. – Осциллограммы сигналов землетрясений после вейвлет-фильтрации

Двумя другими параметрами алгоритма являются тип вейвлета и уровень разложения при выполнении вейвлет-преобразования исходного сигнала. Изменения этих параметров слабо влияют на основной параметр алгоритма. По умолчанию используется вейвлет db2 и 4-й уровень разложения. Использование при вейвлет-преобразовании сложных типов вейвлетов и большего уровня разложения сильно увеличивают нагрузку на процессор. При этом адекватного увеличения точности определения времени начала события и величины первого параметра алгоритма не наблюдается.

Во втором основном алгоритме классификации используются методы **поляризационного анализа**. Во время реального сейсмического события частички грунта, в том числе и поверхности земли, совершают движения по некоторому закону, при котором радиус вектор частички описывает очень вытянутый эллипсоид. Параметры этого эллипсоида можно определить с помощью поляризационного анализа. Сигналом алгоритма является величина большей полуоси этого эллипсоида. Единица этого сигнала – это единица исходного сигнала с коэффициентом 10^{-6} . Для ВС 1313 сигнал имеет размерность м/с^2 , поэтому единица сигнала алгоритма в этом случае – мкм/с^2 .

Т.к. сигнал алгоритма не является отношением, а некоторая размерная величина, прямо пропорциональная амплитуде исходного сигнала, то пороговым значением алгоритма

не может быть некоторое априорно задаваемая величина. В алгоритме пороговое значение определяется для каждого события по его предыстории. При превышении значения сигнала алгоритма адаптивного порога принимается решение о том, что найденное событие является сейсмическим.

Достоинством этого алгоритма классификации является высокое отношение сигнал/шум сигнала алгоритма: даже для слабых сейсмических событий это отношение порядка 20 дБ, для сильных землетрясений оно может превышать 100 дБ. Сигнал алгоритма также используется в ОСС для определения временных интервалов действия P- и S-фаз землетрясения.

Параметром алгоритма является время усреднения, которое влияет на вид сигнала алгоритма. Один отчёт этого сигнала вычисляется с помощью усреднения исходных сигналов за это время. Если это время будет маленьким, то сигнал алгоритма будет очень изменчивым, что может привести к ошибкам при классификации события. Если время усреднения будет большим, то может получить излишне гладкий сигнал, который также может быть источником ошибок. Кроме этого, большое время усреднения заметно увеличит нагрузку на процессор при вычислениях.

Вторым параметром алгоритма является время усреднения, которое используется при определении времени вступления S-фаз землетрясения. Поэтому, этот параметр не влияет на результат классификации событий.

Следующий алгоритм классификации событий использует **методы корреляционного анализа**. В сейсмическом сигнале, будь то сигнал землетрясения или фоновые микросейсмы, сигналы с разных компонент датчиков (X, Y и Z) хорошо коррелированы друг с другом. По сигналам рассчитываются 3 коэффициента корреляции парных сигналов (XY, XZ и YZ), и, далее, по ним рассчитывается безразмерный сигнал алгоритма, который может принимать только не отрицательные значения. Чем больше величина сигнала, тем больше степень корреляции сигналов. Критерий данного алгоритма – это превышение величины сигнала порогового значения, которое по умолчанию задано 3,0. При этом принимается решение о том, что найденное событие является сейсмическим.

Алгоритм классификации событий по анализу **отношения амплитуд X, Y и Z** используемых датчиков. Для реальных сейсмических сигналов не бывает больших различий в пиковых значениях амплитуд сигналов компонент датчика. В данном алгоритме определяется пиковые значения амплитуды для компонент X, Y и Z. Далее максимальное значение делится на минимальное соответствующее значение и сравнивается с пороговым значением. Если полученное отношение больше порогового значения, то считается, что

данное событие является ложным. Пороговое значение по пиковой амплитуде по умолчанию задана 10,0.

Алгоритм классификации событий по **широкополосному шуму**. Энергия сигнала (величина СКЗ) землетрясения в низкочастотной области, существенно больше энергии сигнала в высокочастотной области. В нашем случае низкочастотная составляющая сигнала – это сигнал в полосе частот, определяемой частотами полосового фильтра, используемого в ОСС, а высокочастотная составляющая сигнала – это сигнал в полосе частот, выше верхней частоты вышеупомянутого полосового фильтра. Определяются СКЗ сигнала в этих двух частотных полос, и вычисляется их отношение. Полученное отношение сигнал/шум сравнивается с пороговым значением, которое по умолчанию равно 10.

Алгоритм классификации событий по детектированию **однополярного щелчка**. Чувствительный элемент датчиков ВС 1313 выполнен из пьезокерамики. Пьезокерамика, являющаяся разновидностью сегнетоэлектриков, имеет доменную структуру. Электрический сигнала на обкладках датчика появляется только при условии одинаковой ориентации большинства доменов, что достигается поляризацией керамики после её выпечки. Домены имеют некоторую степень свободы, и могут самопроизвольно менять свою ориентацию в пространстве. Причинами переориентации доменов могут быть как термические нагрузки, так и механические. Именно поэтому датчики являются хрупкими изделиями, хорошо работающими в условиях термостабилизации. Суточные колебания температуры, особенно происходящие за короткие промежутки времени, могут приводить к тому, что некоторые домены будут скачкообразно переориентироваться в пространстве. Это приводит к специфическим сигналам, называемым однополярными щелчками, осциллограмма которых представляет короткие импульсы с резким начальным фронтом и плавным завершающим фронтом. Причиной таких сигналов могут быть также скрытые дефекты изготовления пьезокерамики.

Резкий начальный фронт позволяют классифицировать эти события. Определяются максимальное и минимальное значения производной исходного сигнала. Далее вычисляется отношение максимального значения к минимальному значению. Полученное отношение сравнивается с пороговым значением, по умолчанию заданным 3,0. При превышении отношения над порогом принимается решение о ложности найденного события.

9. Условия применения По подбора параметров классификации

Для работы ПОД можно выделить любой компьютер с операционной системой Windows, не старше Windows 7. Требования к характеристикам компьютера см. в описании ПО ZETLab.

На этом компьютере необходимо установить ПО ZETLab и ZETView. На компьютер в конечную папку ZETLab скопировать файл tr_clss_dse.exe. В папку SCADA-проектов ZETView – tr_clss_dse.zvx. Первый файл – это исполняемый файл ПОК. Второй файл – исходный файл проекта ПОК.

Для возможности запуска исполняемого файла ПОК к компьютеру необходимо подключить электронный ключ ZETKey или какое-либо устройство аналогового ввода компании ООО «ЭТМС». Ключ (устройство ввода) должен иметь прошивку для работы со SCADA-проектами ZUView.

Для правильной работы ПОК на компьютере должна существовать папка «...\ZETLab\structures_definitions\», в которой должны быть следующие файлы (обеспечивается при правильной установке ПО ZETLab):

- «8001003b.zbinary1»,
- «80010045.zbinary1»

10. Работа ПО подбора параметров классификации

Выполнив требования предыдущего пункта, можно приступить к работе ПОК. Вначале необходимо скопировать на компьютер записи события, которое было неправильно классифицировано проектом сейсмостанции. Затем запустить программу «Воспроизведение сигналов» и выбрать папку с этими записями.

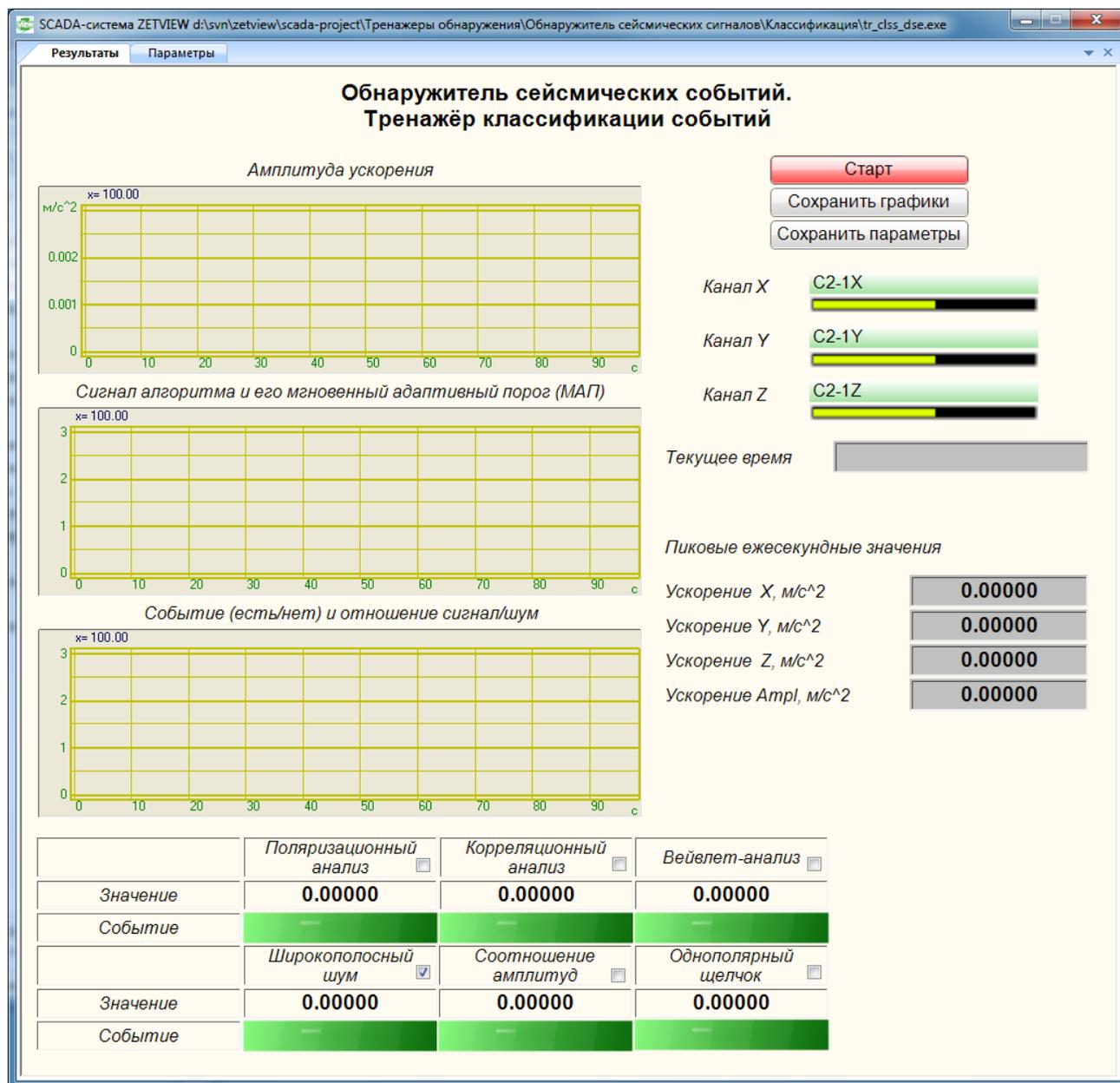


Рисунок 10. - Окно ПОК «Результаты»

ПОК имеет две вкладки: «Результаты» и «Параметры». После запуска ПОК, т.е. программы tr_dtct_clss.exe. появится окно с вкладкой «Результаты», аналогичное окну, представленному на рисунке 10.

Имена каналов компонентов X, Y и Z выбранного датчика будут отображены в правом верхнем углу на зеленом или красном фоне в зависимости от того, есть ли в выбранной записи программы «Воспроизведение сигналов» требуемые каналы.

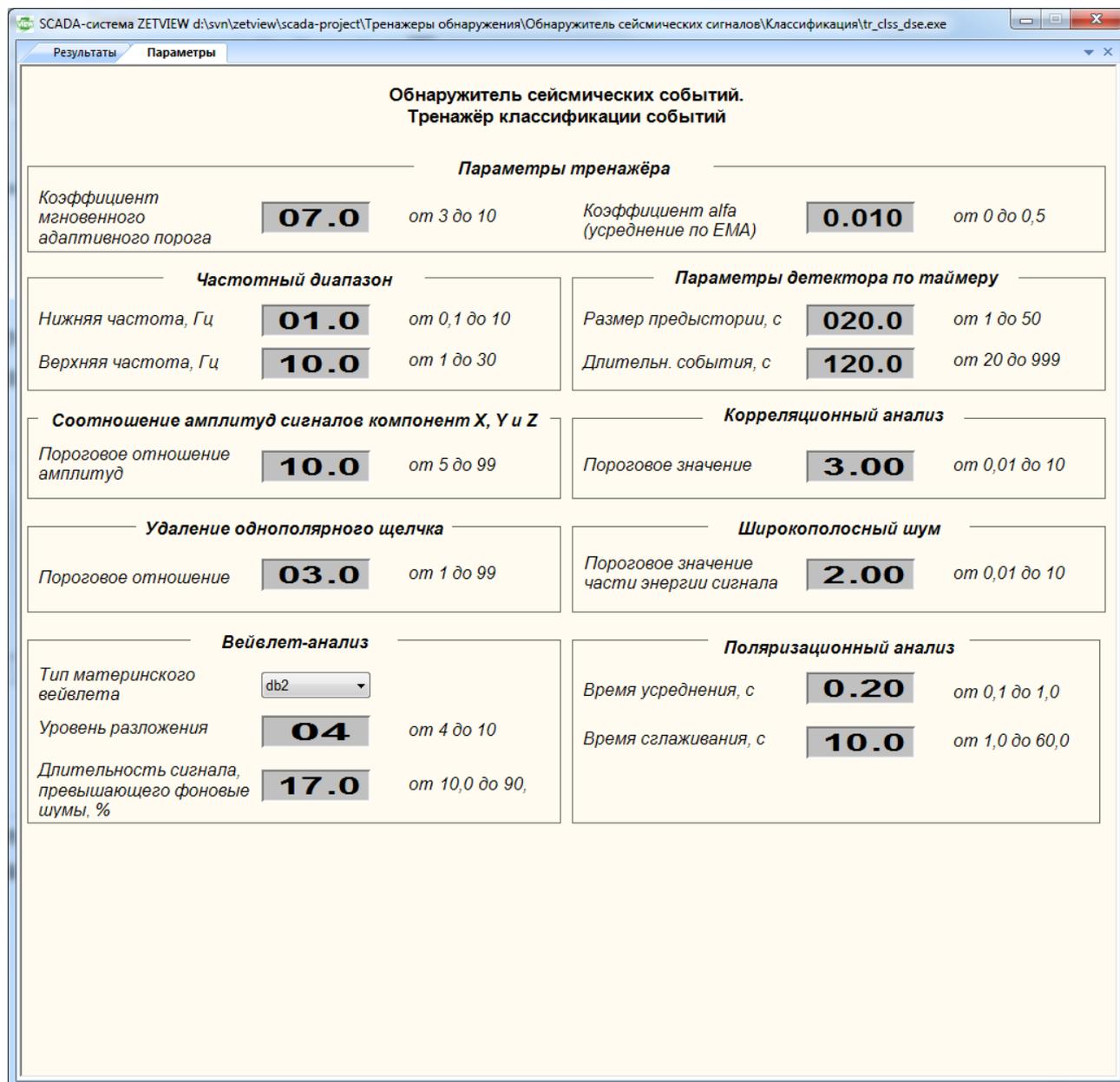


Рисунок 11. - Окно ПОК «Параметры»

Следует определиться с алгоритмами, параметры которых с Вашей точки зрения следует подбирать с помощью ПОК. В нижней части отображаемого окна, галочками надо задать выбранные алгоритмы. В случае, представленном на рисунке 10, выбран алгоритм детектирования по широкополосному шуму.

Далее следует перейти к вкладке «Параметры». Появится окно, аналогичное окну, отображенному на рисунке 11. В нем выведены значения параметров самого ПОК, общие

параметры ОСС (частотный диапазон и параметры детектора) и настраиваемые параметры алгоритмов классификации событий ОСС. В этом окне представлены значения параметров, описанных в предыдущем разделе данного руководства. Эти значения можно изменять. Для этого надо привести указатель манипулятора «мышь» (далее по тексту мышшь) на изменяемую цифру. Кликнуть по ней левой кнопкой мыши (далее по тексту кликнуть), и вращая колёсико мыши изменять цифру. Описанная процедура изменения значения параметров частот среза относится и ко всем остальным параметрам.

После задания требуемых параметров надо вернуться на первое окно, кликнуть по красной кнопке «Старт». Кнопка станет зелёной и поменяет свой текст на «Стоп». Кнопки «Сохранить графики» и «Сохранить параметры» станут недоступными. Можно запустить воспроизведение сигналов.

В индикаторах текущего ускорения по каналам датчика начнут изменяться значения пиковых ежесекундных ускорений. Выше этих индикаторов будет отображаться время воспроизведения в формате «ДД:ММ:ГГГГ ЧЧ:ММ:СС.ССС».

На верхнем графике появится осциллограмма амплитуды исходного сигнала после полосовой фильтрации. Все графики синхронизированы по времени и отображают временной интервал. Однако первое время, длительность которого равна времени инициализации детектора (для параметров рисунка 11 это 140 сек), осциллограмм на нижних графиках не будут. Затем на нижних графиках будут отображаться по 2 осциллограммы, см. рисунок 12.

На среднем графике отображаются осциллограммы сигнала выбранного алгоритма и его МАП. Для алгоритмов с фиксированным пороговым значением, т.е. Для всех алгоритмов, кроме «Поляризационный анализ», величина МАП определяется следующим образом:

$$\text{МАП}_i = \bar{S}_i + (\text{КоэффициентМАП}) \cdot \bar{\sigma}_i,$$

где: S – сигнал алгоритма;

Коэффициент МАП – параметр ПОК, коэффициент, задаваемый во вкладке «Параметры», см. рисунок 11;

σ – оценка СКО сигнала алгоритма;

черта над переменной означает усреднение по ЕМА:

$$\bar{X}_i = (1 - \text{alfa}) \cdot \bar{X}_{i-1} + \text{alfa} \cdot X_i,$$

где: α – параметр ПОК, коэффициент, задаваемый во вкладке «Параметры», см. рисунок 11

На нижнем графике отображаются осциллограммы логического сигнала есть/нет событие алгоритма (0 или 1) и SNR сигнала алгоритма, который в отсутствии сигнала приблизительно равен 1.

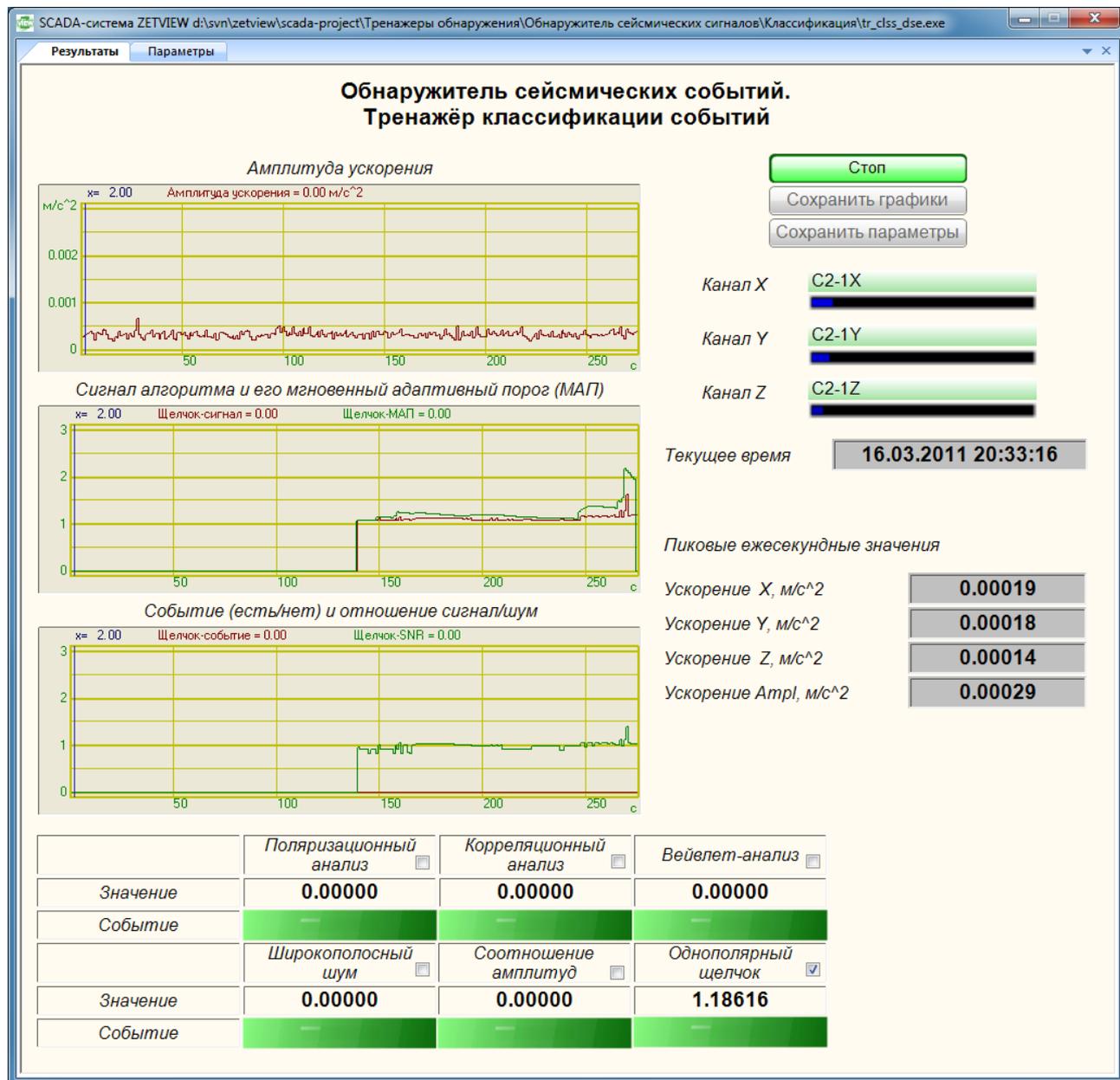


Рисунок 12. – Окно ПОК «Результаты» через некоторое время после запуска воспроизведения сигналов

Максимальное значение МАП за время отсутствия событий можно принимать за пороговое значение алгоритма.

На рисунке 13 представлен результат работы ПОК на фоновых шумах.

Анализ верхнего графика. Амплитуда ускорения за всё время воспроизведения

сигнала редко превышала $0,0005 \text{ м/с}^2$, что уже говорит об отсутствии сейсмических событий.

Анализ среднего графика. Сигнал алгоритма за это время был менее 0,2, а его МАП не превышал 0,3.

Анализ нижнего графика. Алгоритм не определил ни одно событие, величина SNR сигнала алгоритма была приблизительно единицей.

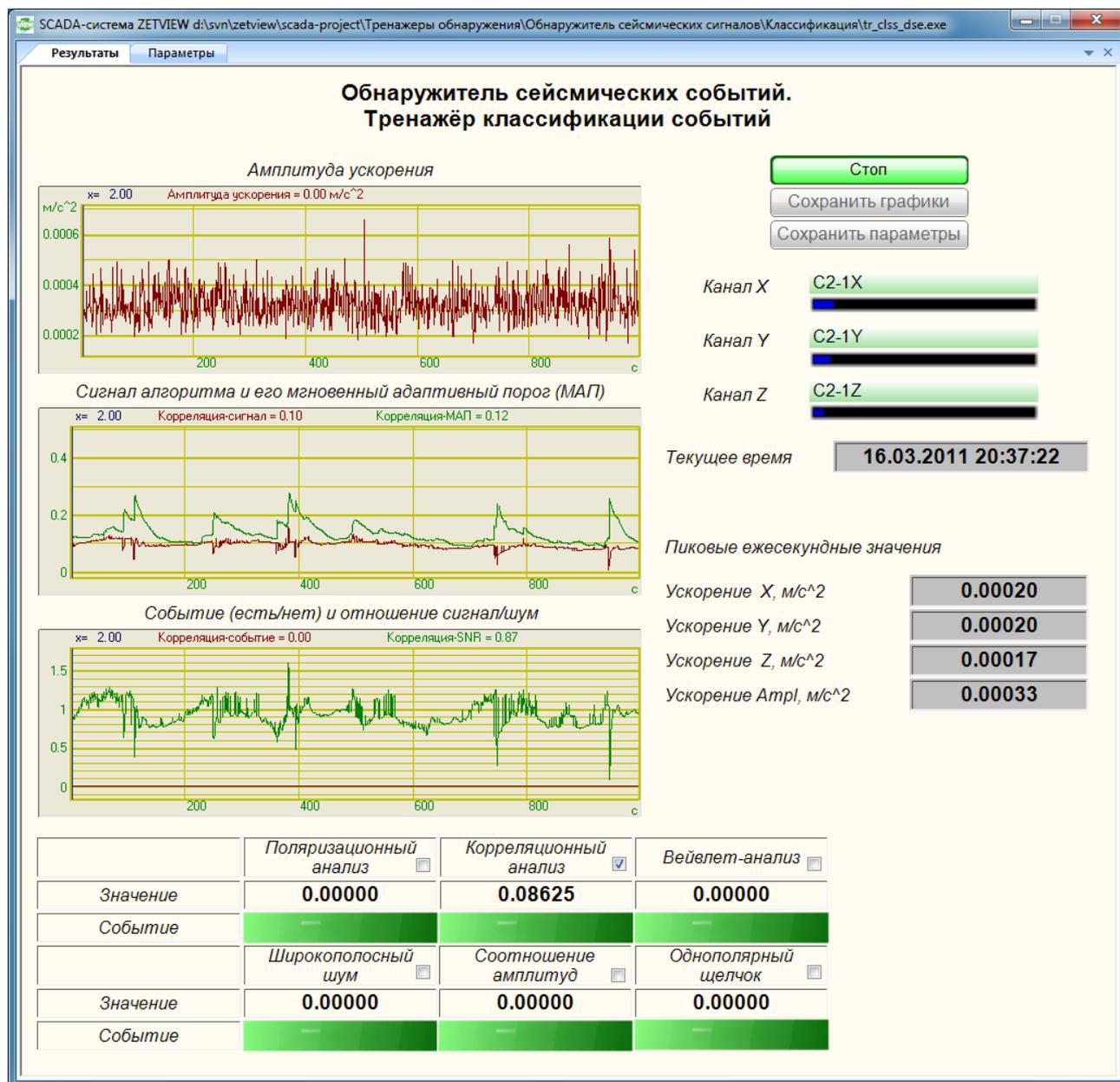


Рисунок 13. – Результат работы ПОК по фоновым шумам для алгоритма «Корреляционный анализ»

Выводы. Т.к. характерное событие алгоритма – сейсмический сигнал, то воспроизводимый сигнал правильно классифицирован алгоритмом. Для данного шума порог алгоритма может равняться 0,3 (но только для этого шума!!!).

На рисунках 14 и 15 представлен результат работы этого алгоритма по нескольким событиям. Рисунки отличаются масштабом оси Y для среднего и нижнего графиков.

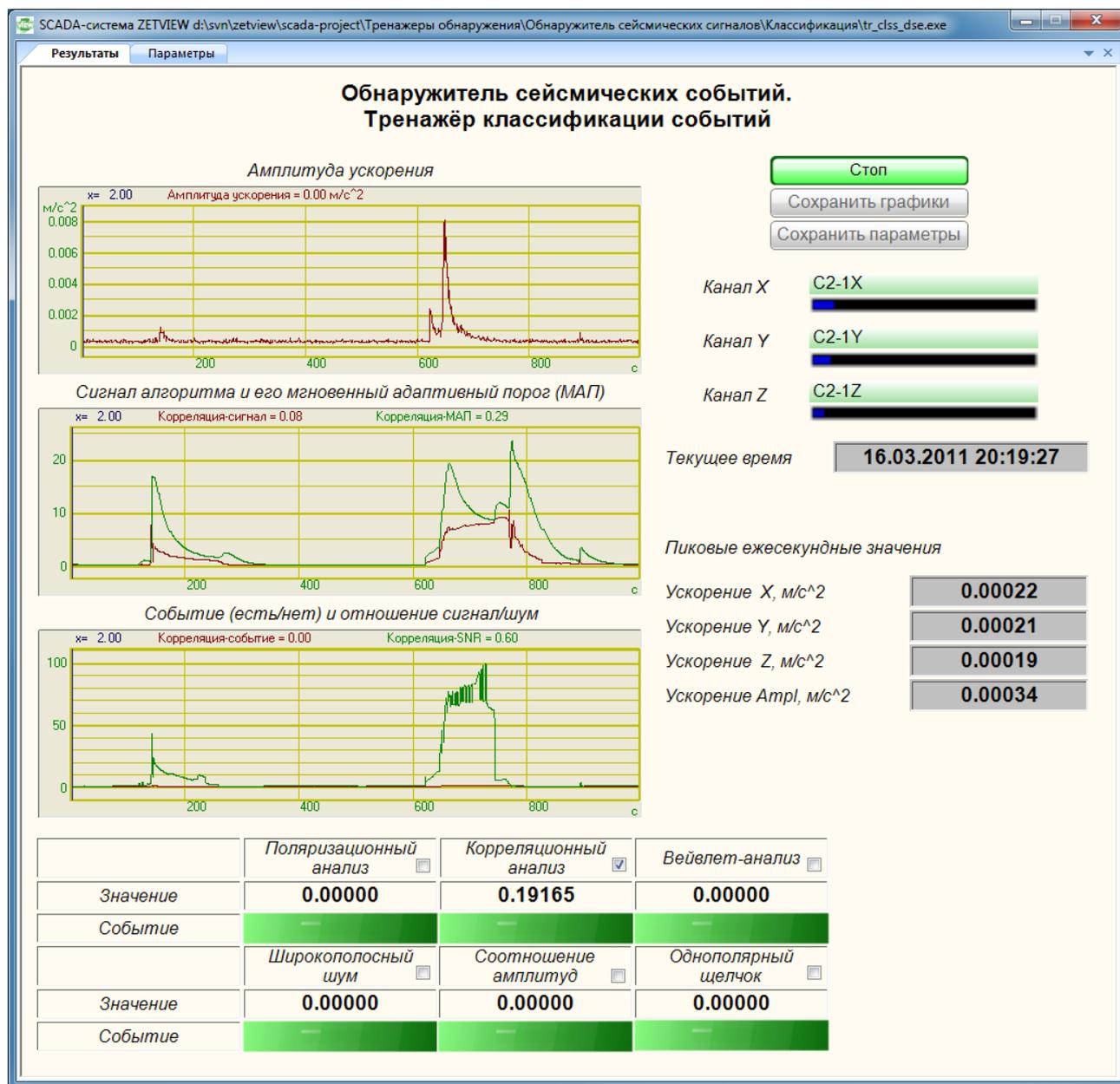


Рисунок 14. – Результат работы ПОК по нескольким событиям для алгоритма «Корреляционный анализ»

По графику амплитуды видно, что в районе 140 сек по времени ПОК было некоторое кратковременное событие с максимальной амплитудой 0,0013 м/с², а приблизительно в 625 сек началось событие длительностью около 120 сек и с максимальной амплитудой 0,008 м/с², которое, как оказалось позже, является сигналом реального землетрясения.

Первое событие. Максимальная амплитуда ускорения равна 0,0013 м/с². Максимальный сигнал алгоритма превысил 7,8. Максимальное значение SNR около 44

(32,8 дБ). Максимальное значение МАП до начала события – 1,1.

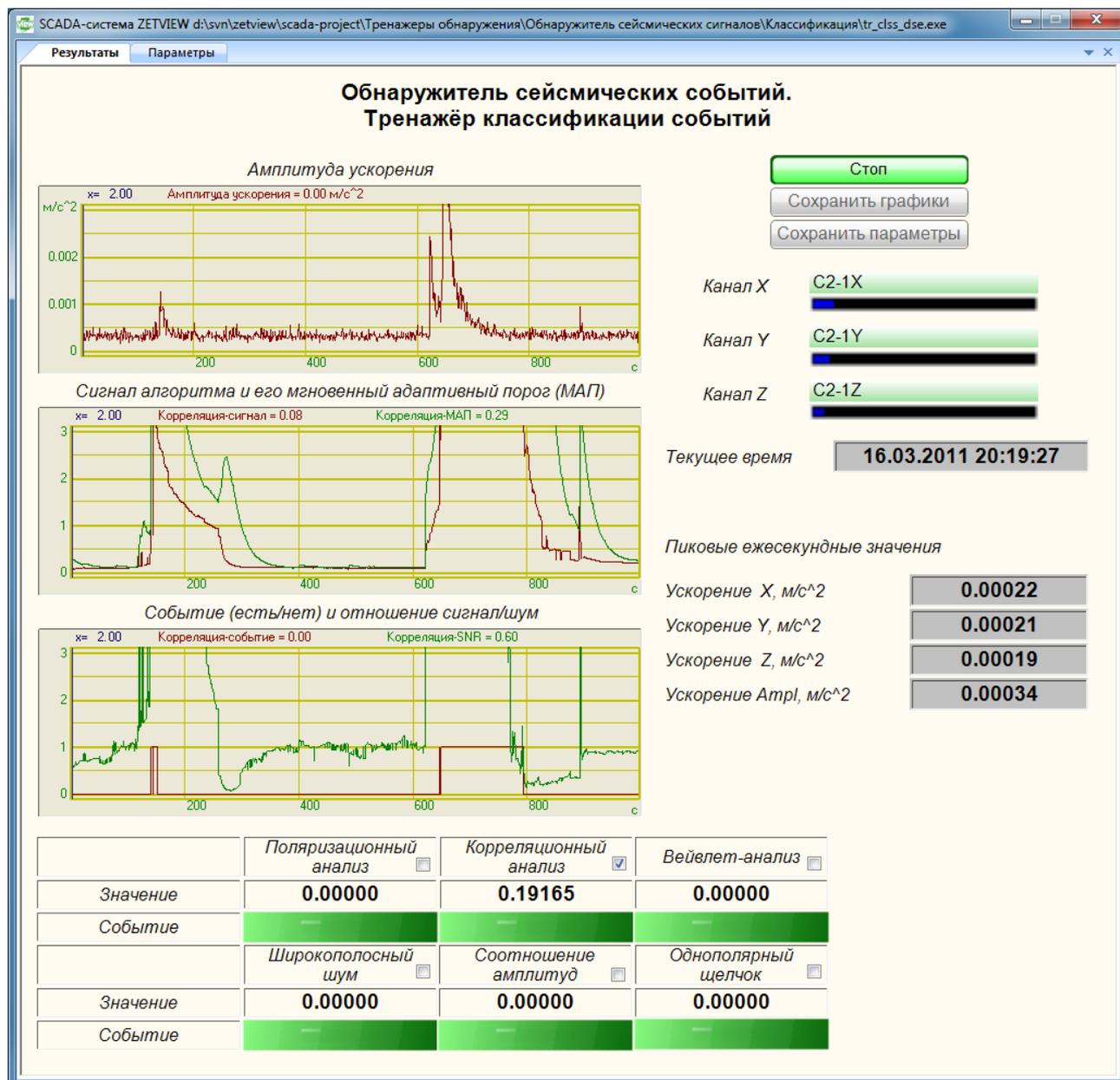


Рисунок 15. – Результат работы ПОК по нескольким событиям для алгоритма «Корреляционный анализ»

Второе событие. Максимальная амплитуда ускорения равна 0,008 м/с². Максимальный сигнал алгоритма превысил 10,65. Максимальное значение SNR более 101 (40 дБ). Максимальное значение МАП до начала события – 0,17.

Исходя из полученных данных, с учётом того факта, что сигнал – это реальное землетрясение, можно сделать вывод, что алгоритм правильно классифицировал сейсмическое событие, и, что пороговое значение не должно быть менее 1,1.

По завершении воспроизведения следует кликнуть по зеленой кнопке «Стоп».

Кнопка станет красной и ее заголовок станет «Старт». В индикаторах и графиках прекратятся изменения. Станут доступными кнопки «Сохранить графики» и «Сохранить параметры».

Если при воспроизведении события алгоритм неверно классифицировал событие из-за неправильного значения какого-либо из своих параметров, то следует на вкладке «Параметры» изменить величину этот параметр и воспроизвести сигнал заново, добиваясь правильной классификации события алгоритмом.

Более подробно результаты работы ПОК с разными алгоритмами приведены в приложении Б.

11. Сохранение результатов работы ПО подбора параметров классификации

Для сохранения результатов работы ПОК на вкладке «Результаты» есть две кнопки: для сохранения графиков в формате dtu, и сохранения величин параметров в текстовый файл. Во время работы ПОК кнопки сохранения становятся не доступными.

После клика по кнопке «Сохранить графики» будет три раза (по числу графиков) вызван диалог выбора файла для сохранения dtu-файла вначале для верхнего графика, затем для среднего и, наконец, для нижнего графика. Данные файлы можно просматривать программой «Просмотр результатов».

После клика по кнопке «Сохранить параметры» будет вызван диалог выбора файла для сохранения величин параметров в текстовом файле. Ниже приведён пример такого файла.

```
//-----  
F1 = 1  
F2 = 10  
Размер предыстории = 20  
Длительность события = 120  
Поляризация. Время усреднения = 0.2  
Поляризация. Время сглаживания = 10  
Corr_thresh = 3  
Ampl_ampl = 10  
BBN_ratio = 2  
UniPolarClick. Thershold = 3  
Wavelet. Type FDWT = 2  
Wavelet. Level FDWT = 4  
Wavelet. Max NumZero = 17  
Коэффициент МАП = 7  
Коэффициент ALFA = 0.01  
//-----
```

Приложение А. Практическая работа с ПО подбора параметров детектирования

В данном приложении рассматриваются примеры обработки записей реальных сигналов с помощью ПОД. Обработка выполняется при различном наборе параметров детектирования с целью подбора оптимальных параметров для конкретных случаев.

Пример 1

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 11.03.2011 в Японии (38.29° с.ш. 142.69° в.д., магнитуда 7,2), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии более 1000 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке А.1.

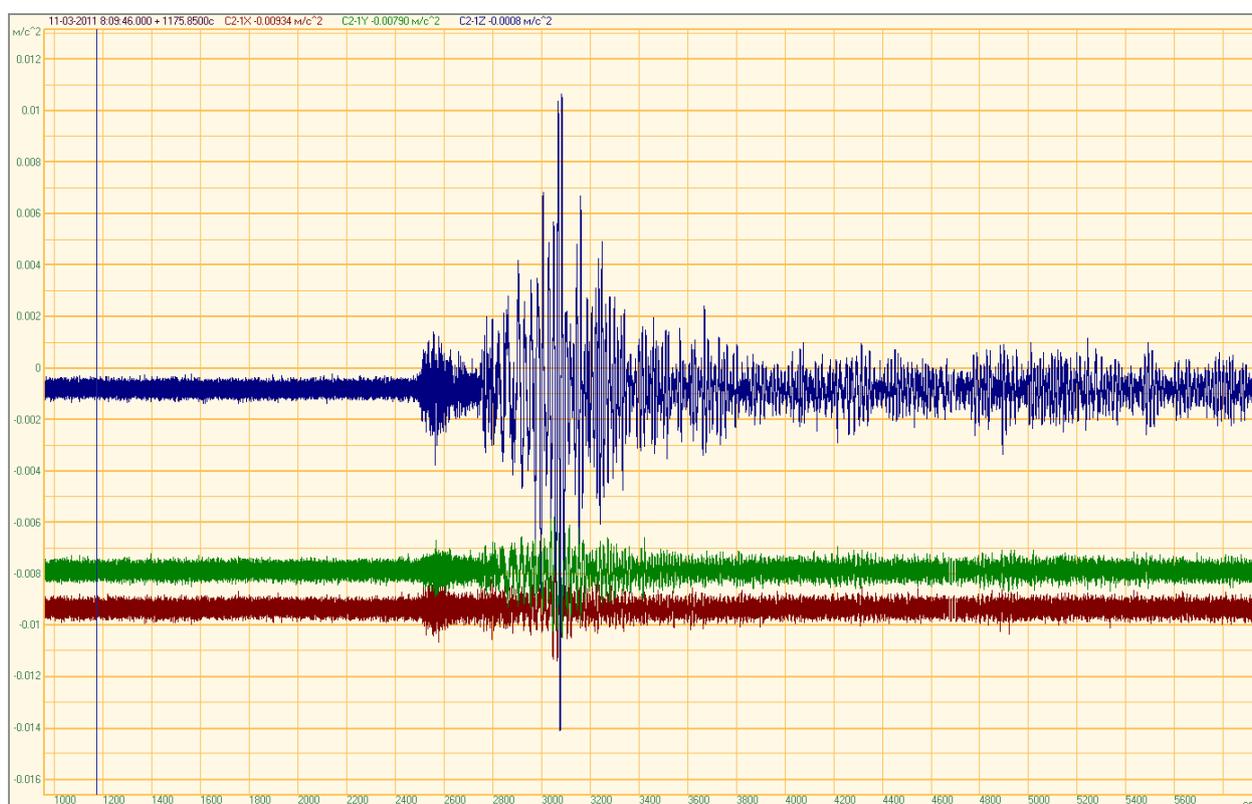


Рисунок А.1. – Акселерограммы сигнала

Поскольку землетрясение является дальним, то р- и s-фаза достаточно сильно разнесены во времени, что и видно на рисунке А.1. В данном случае важно детектировать р-фазу землетрясения и время ее вступления. Рассмотрим результаты работы ПОД при разных заданных параметрах. Результаты представлены на рисунках А.2...А.5.

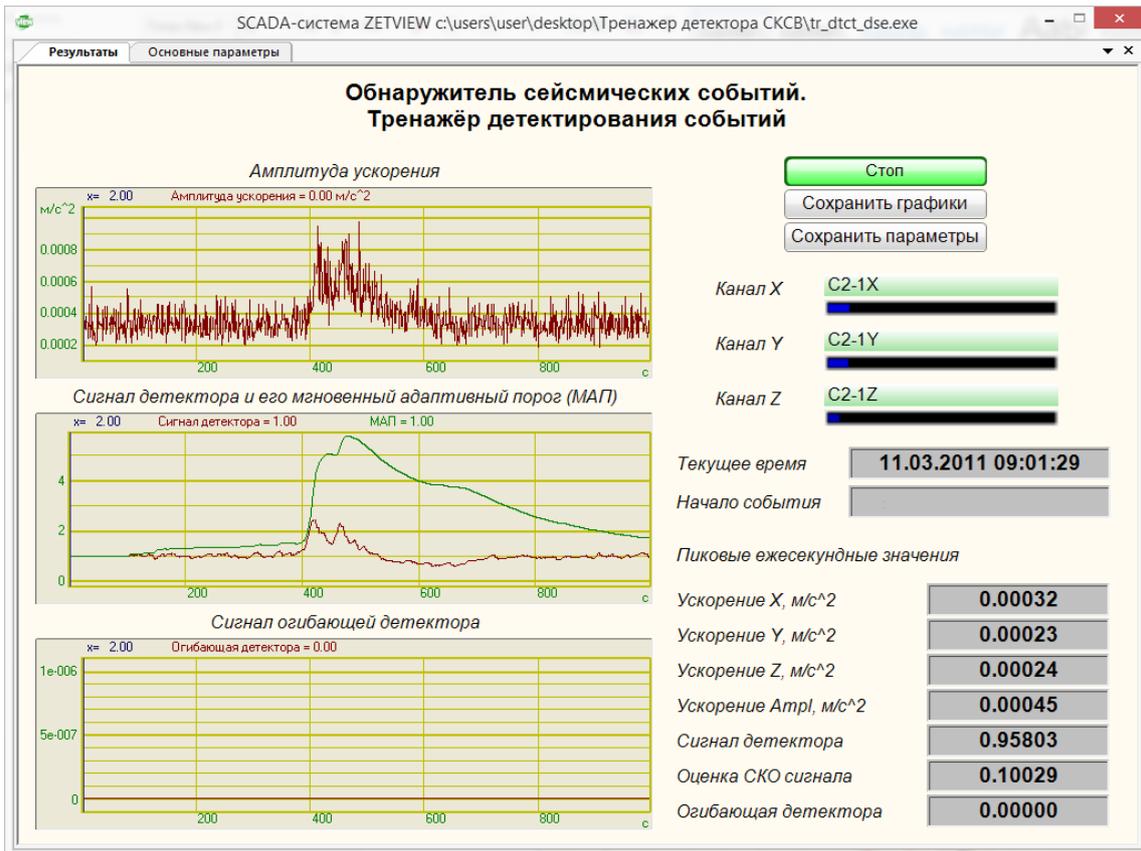


Рисунок А.2. – Результат работы ПОД

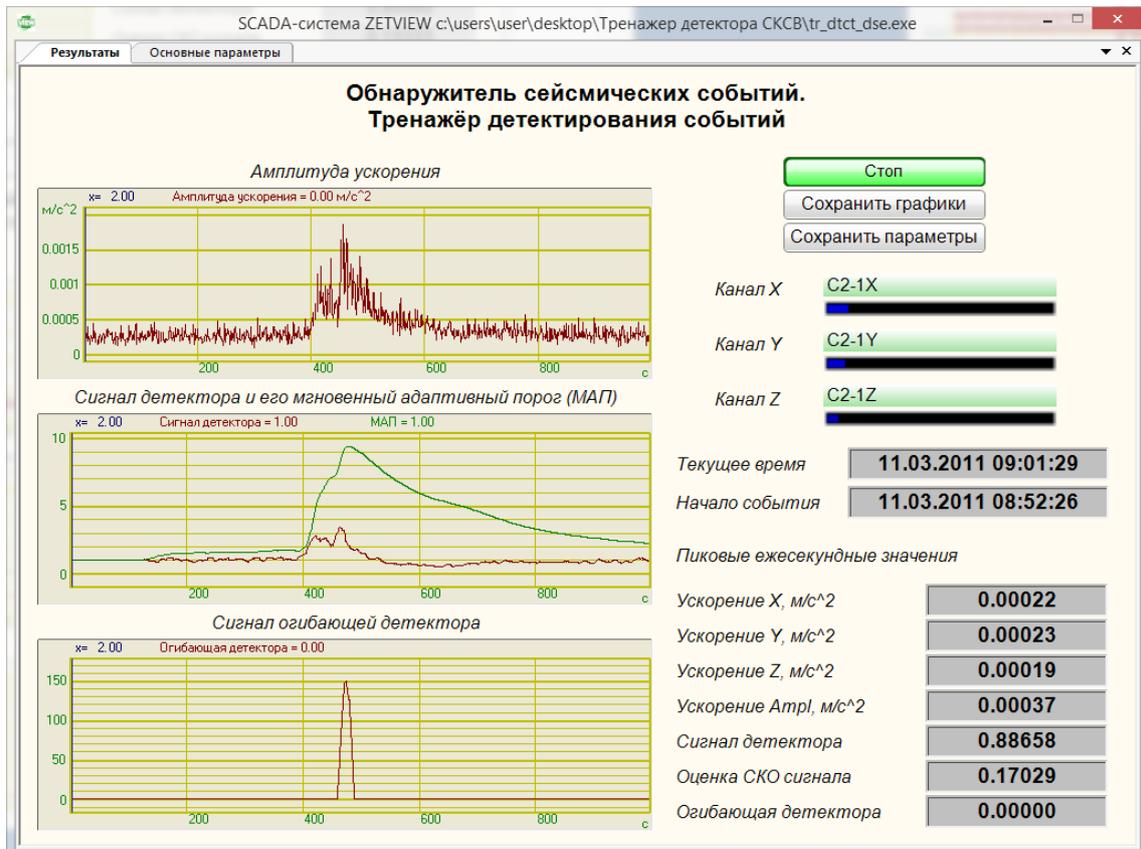


Рисунок А.3. – Результат работы ПОД

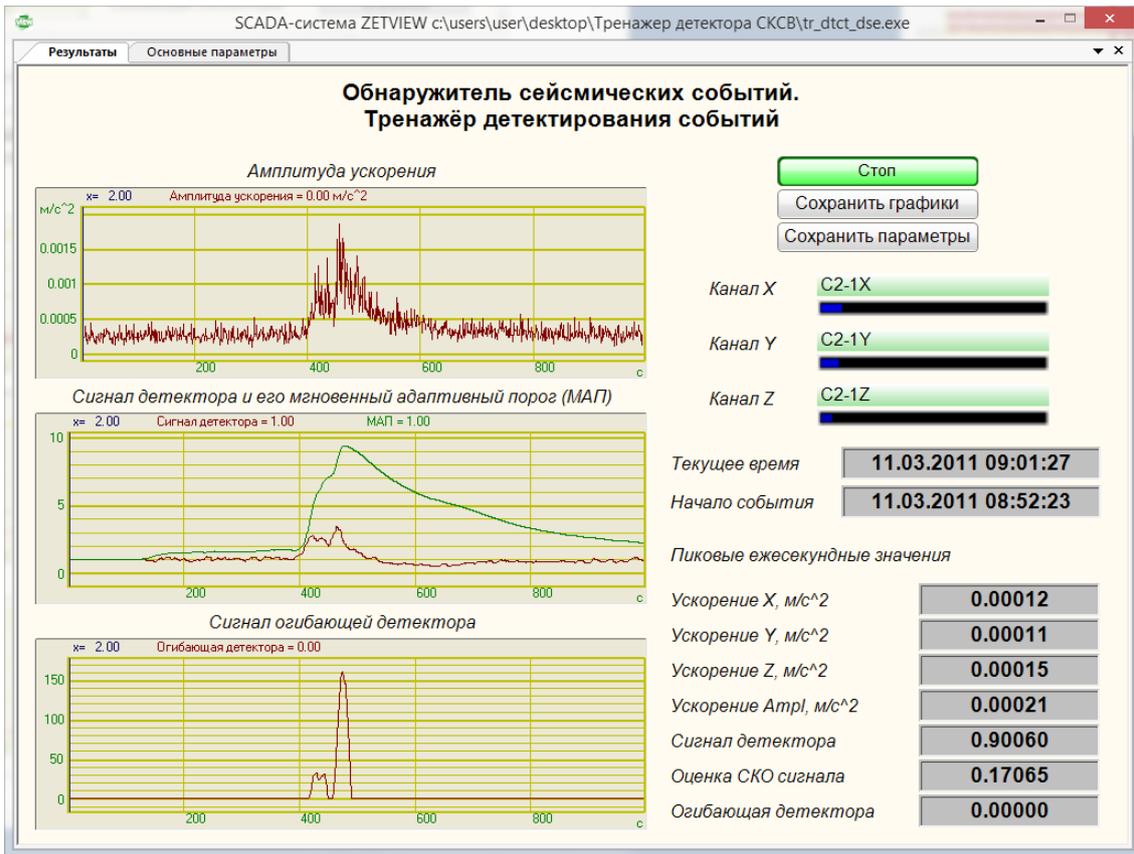


Рисунок А.4. – Результат работы ПОД

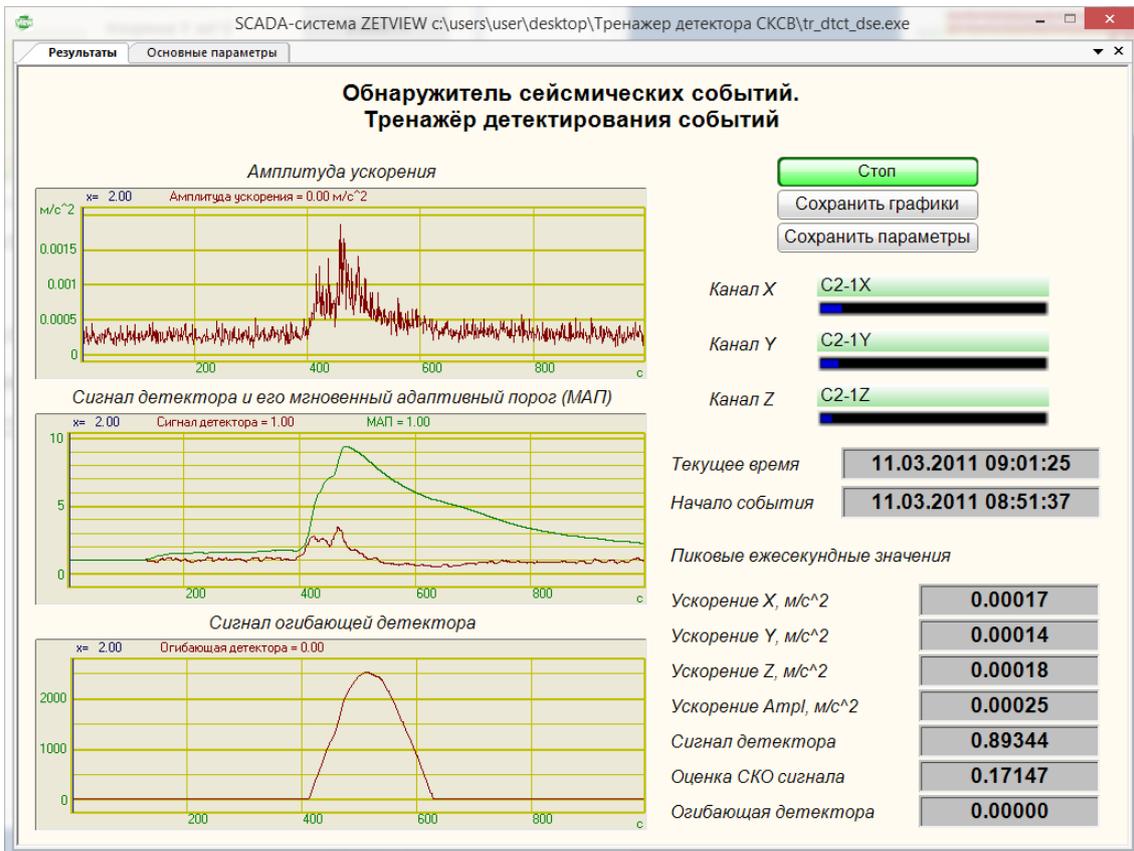


Рисунок А.5. – Результат работы ПОД

Последовательное изменение параметров дает следующий результат:

- с первым набором параметров (рисунок А.2) событие землетрясения в принципе не было детектировано
- со вторым набором параметров (рисунок А.3) событие было детектировано, но его начало сильно не совпало с реальным началом события
- с третьим набором параметров (рисунок А.4) событие было детектировано как два отдельных события
- четвертый набор параметров дает желаемый результат: одно событие детектировано с нужным временем начала.

Пример 2

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 04.01.2014 в районе Нерюнгри (56.8° с.ш. 129.5° в.д., магнитуда 5,4), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии более 800 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке А.6.

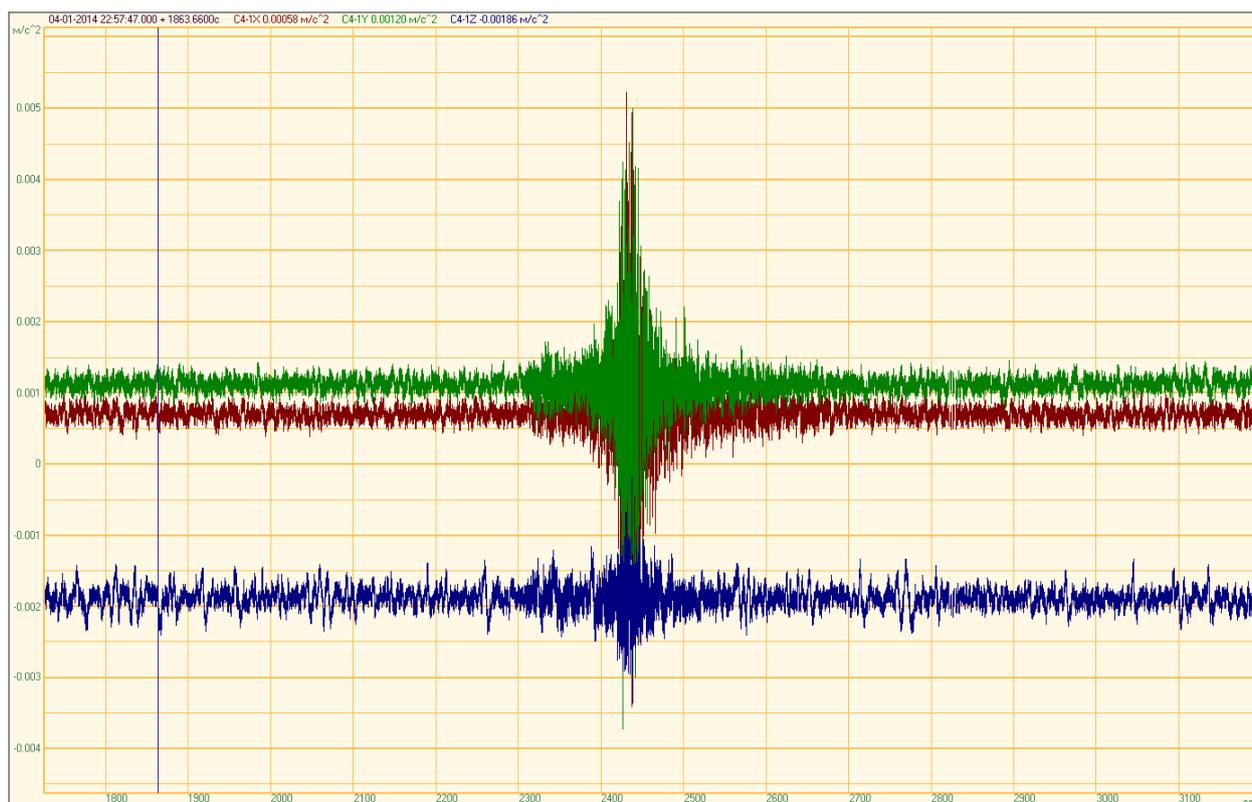


Рисунок А.6. – Акселерограммы сигнала

Основной сложностью при детектировании такого землетрясения является наличие плавного вступления р-фазы, что и видно на рисунке А.6. В данном случае важно наиболее

точно детектировать время вступления р-фазы землетрясения. Рассмотрим результаты работы ПОД при разных заданных параметрах. Результаты представлены на рисунках А.7...А.9.

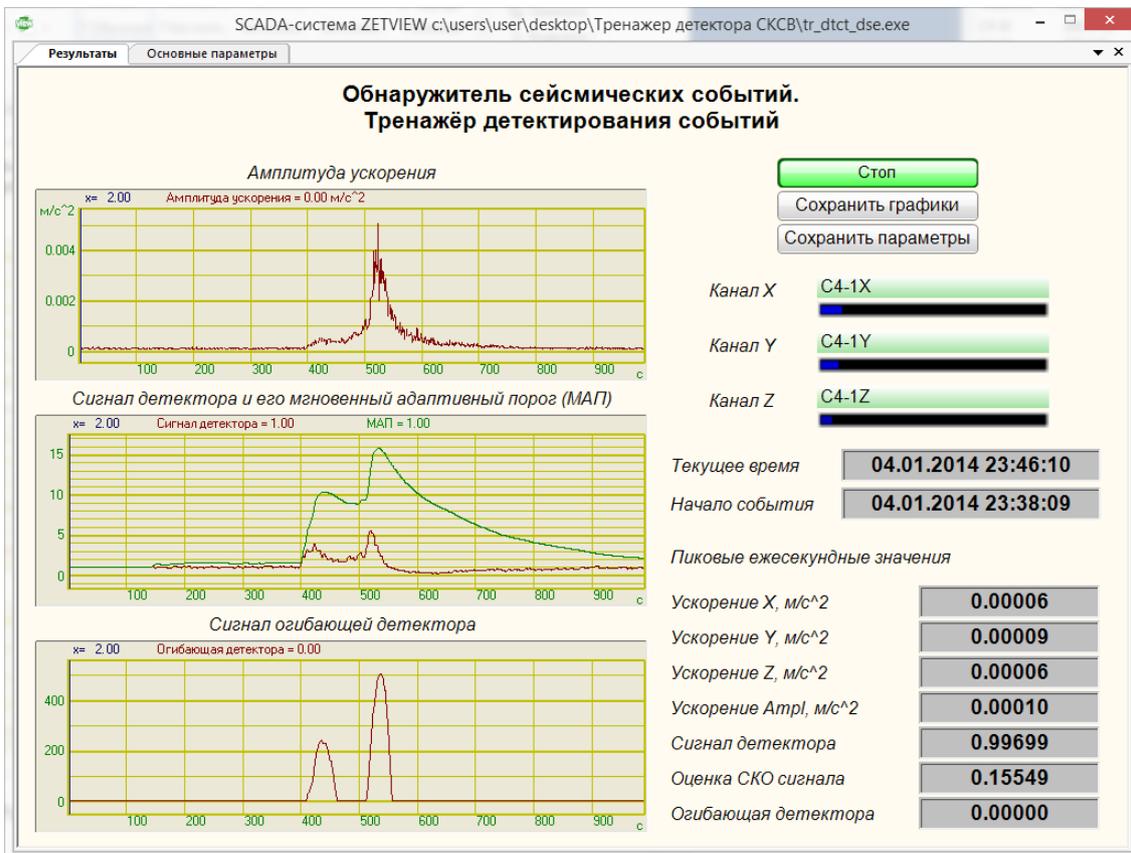


Рисунок А.7. – Результат работы ПОД

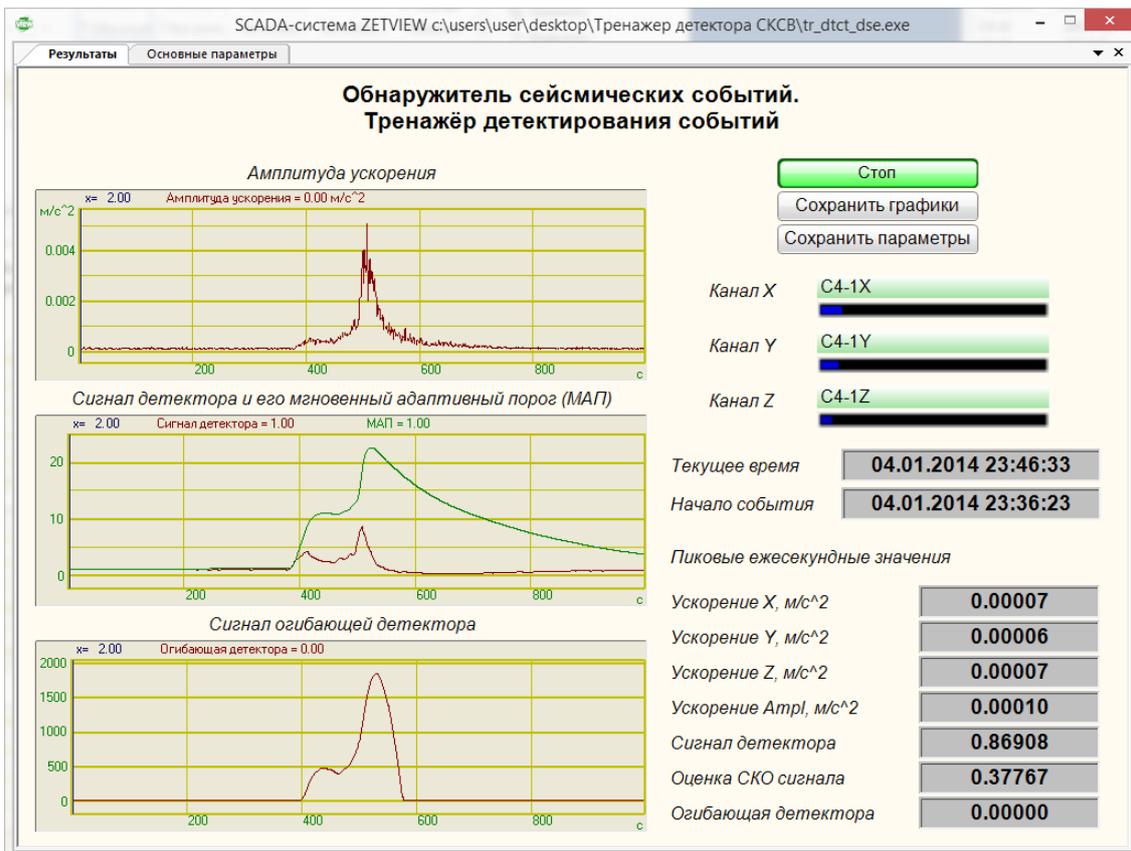


Рисунок А.8. – Результат работы ПОД

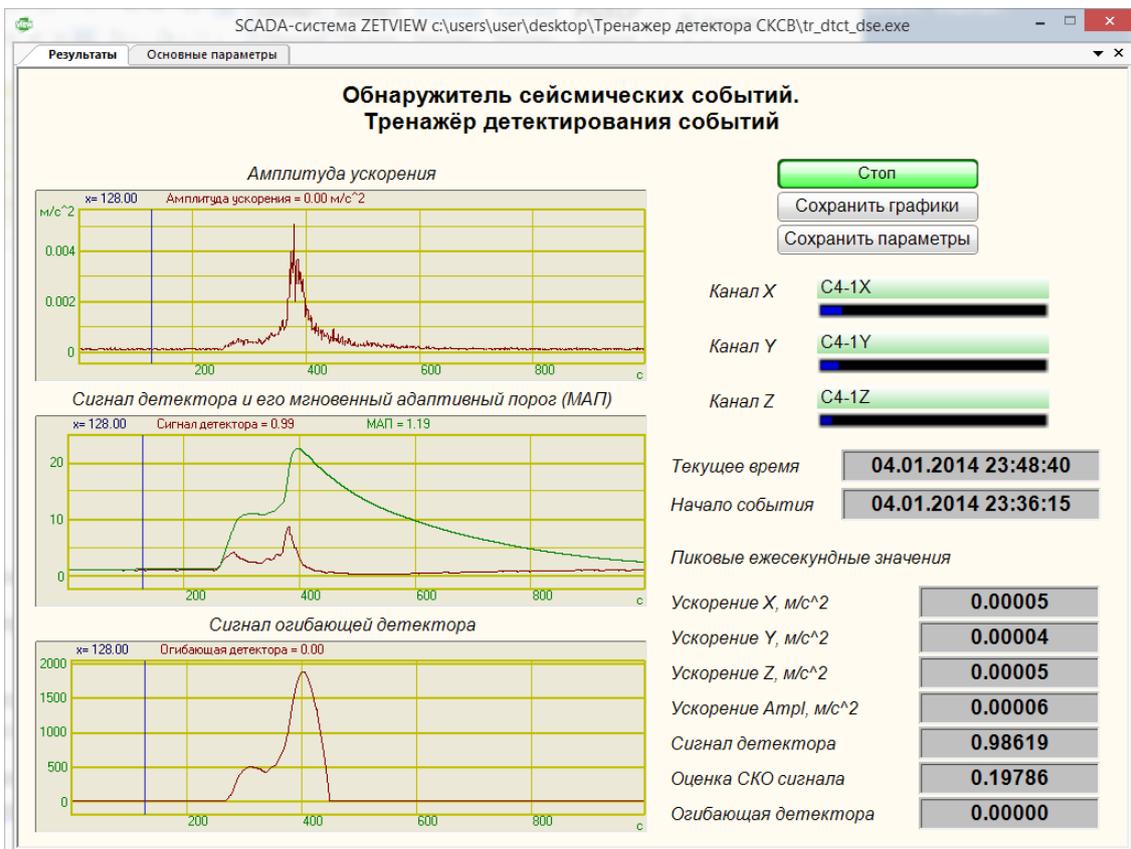


Рисунок А.9. – Результат работы ПОД

Последовательное изменение параметров дает следующий результат:

- с первым набором параметров (рисунок А.7) событие было детектировано как два отдельных события
- со вторым набором параметров (рисунок А.8) событие было детектировано, но определенное время его начала довольно сильно расходится с реальным временем вступления р-фазы
- третий набор параметров (рисунок А.9) дает желаемый результат: одно событие детектировано с наиболее близким к реальному времени начала.

Пример 3

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 12.04.2014 вблизи озера Ханка (45.03° с.ш. 133.61° в.д., магнитуда 4,3), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии около 30 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке А.10.

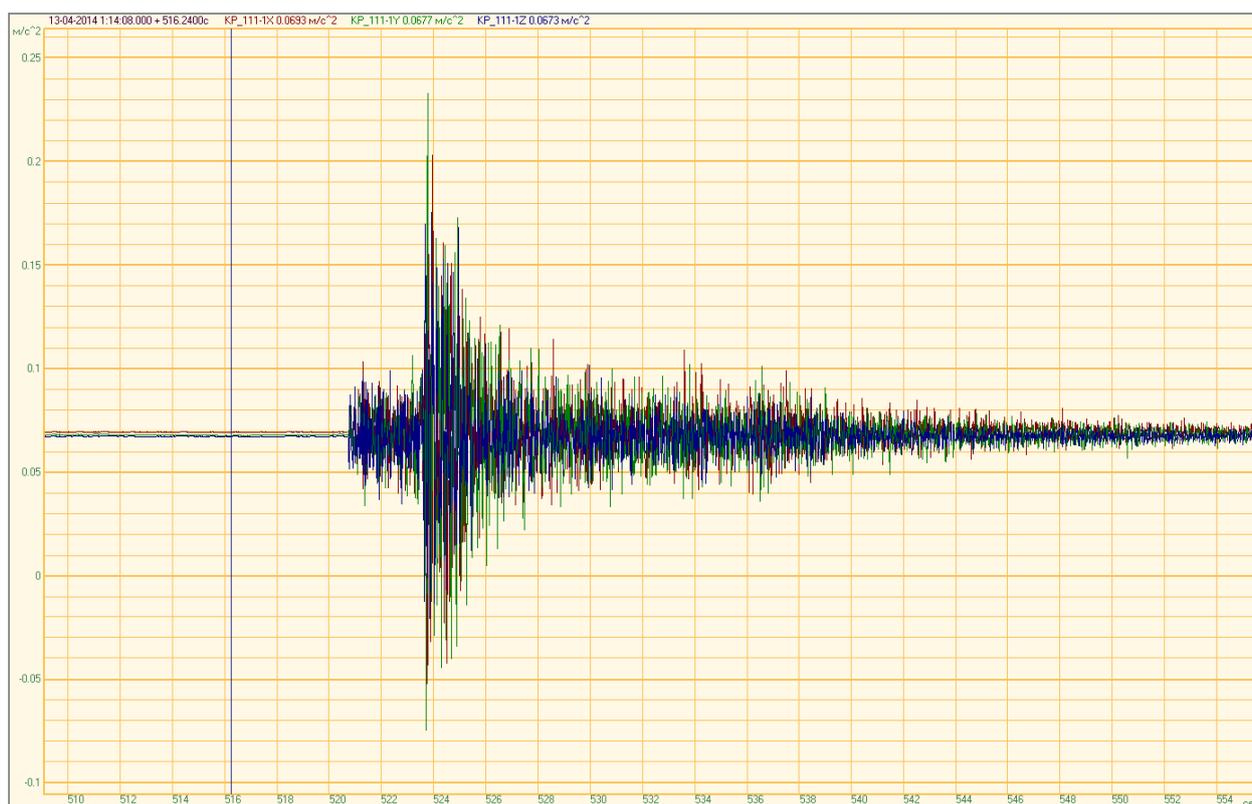


Рисунок А.10. – Акселерограммы сигнала

Основными особенностями такого землетрясения являются наличие резкого вступления р-фазы, малый разбег между временами вступления р- и s-фазами землетрясения и довольно сильная энергетика сигнала, что и видно на рисунке А.10. Рассмотрим

результаты работы ПОД при разных заданных параметрах. Результаты представлены на рисунках А.11...А.13.

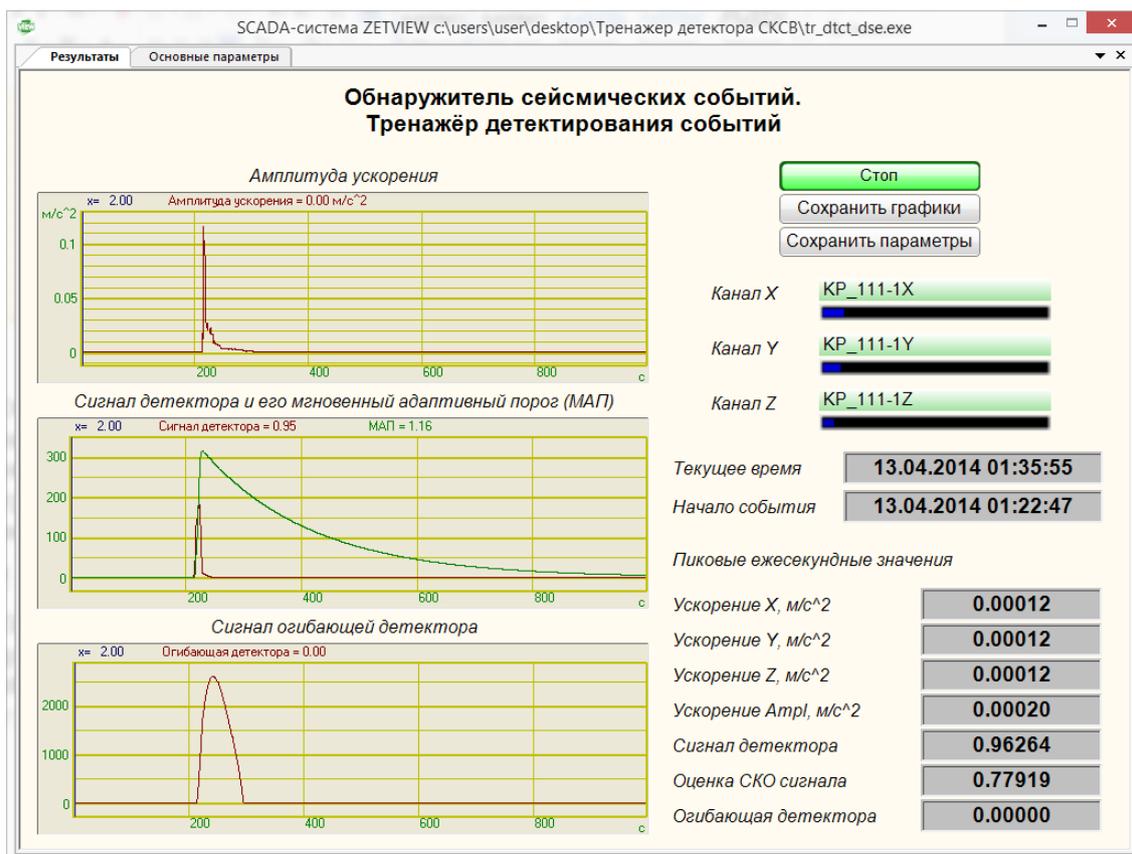


Рисунок А.11. – Результат работы ПОД

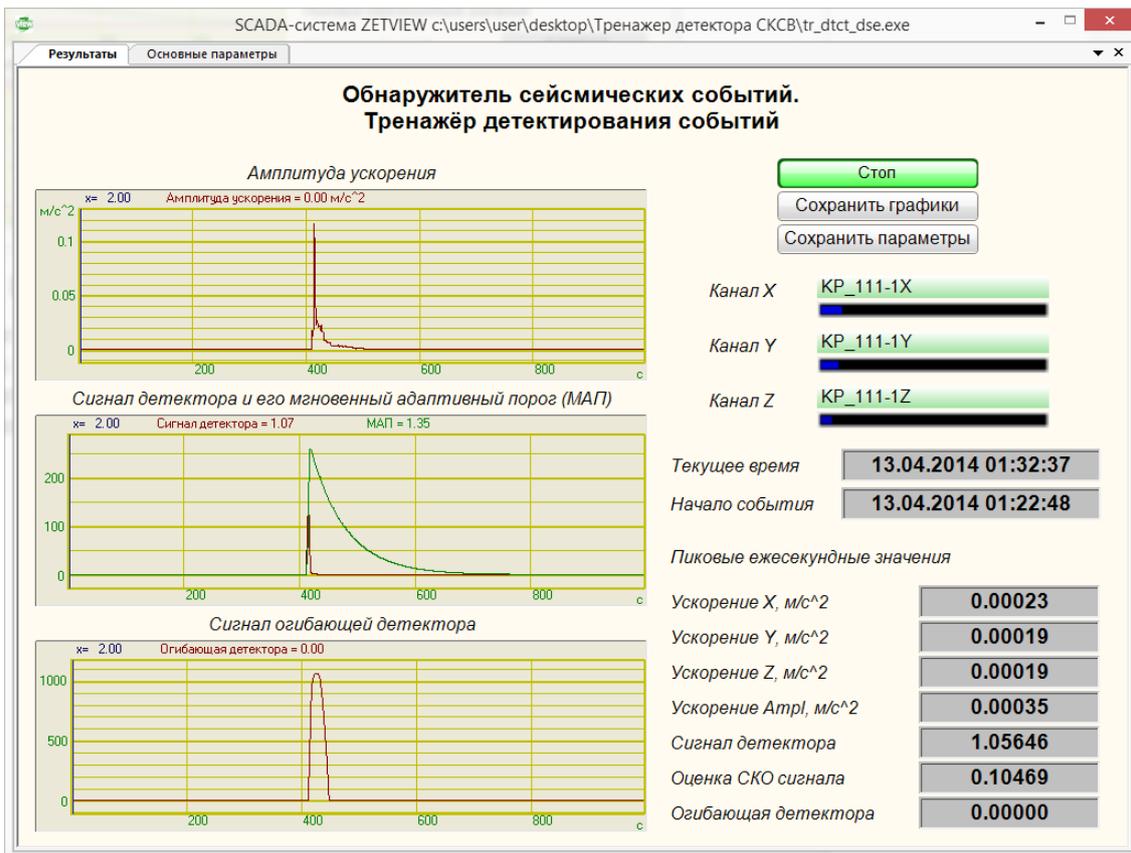


Рисунок А.12. – Результат работы ПОД

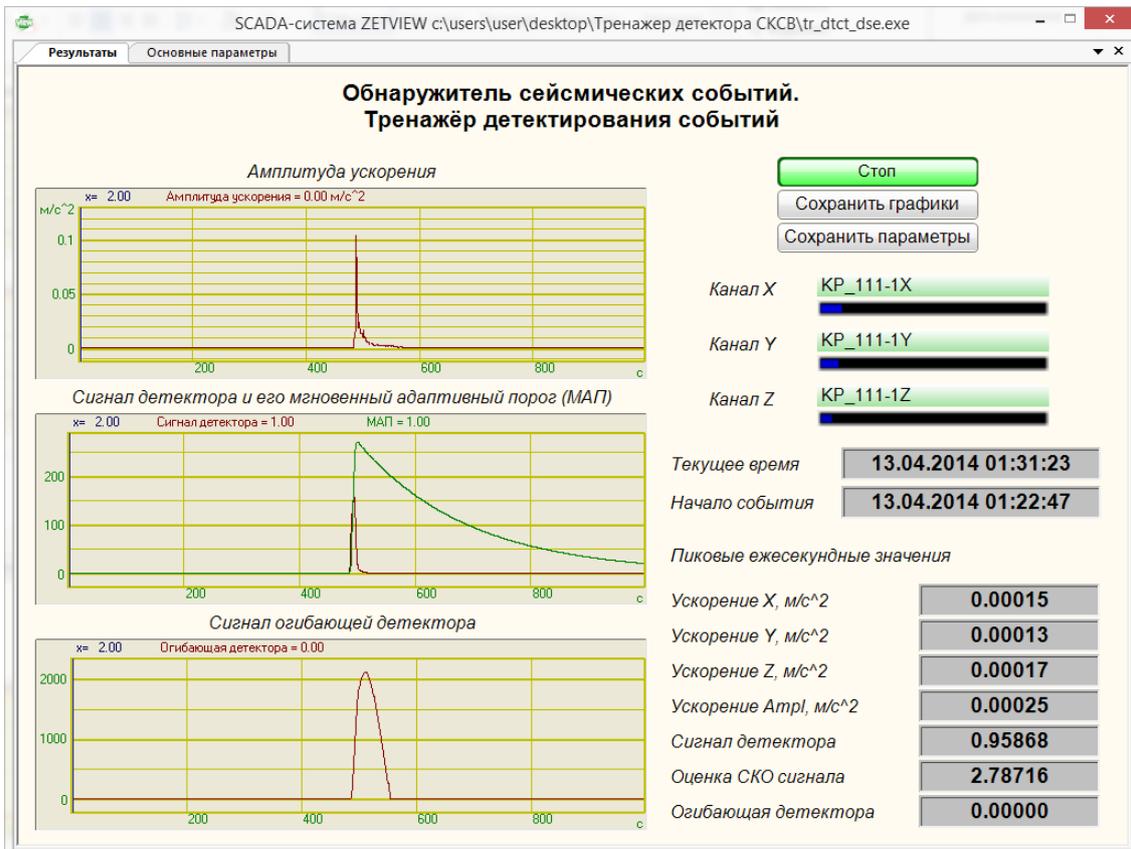


Рисунок А.13. – Результат работы ПОД

Последовательное изменение параметров показывает, что в целом для детектирования сильных близких землетрясений подходит достаточно широкий диапазон значений параметров детектирования. Их изменение незначительно влияет на общую картину результатов работы ПОД.

Пример 4

Исходные данные: сигнал техногенного землетрясения, произошедшего 23.12.2013 в районе Нерюнгри, фактически взрыв в угольном карьере, записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии около 50 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке А.14.

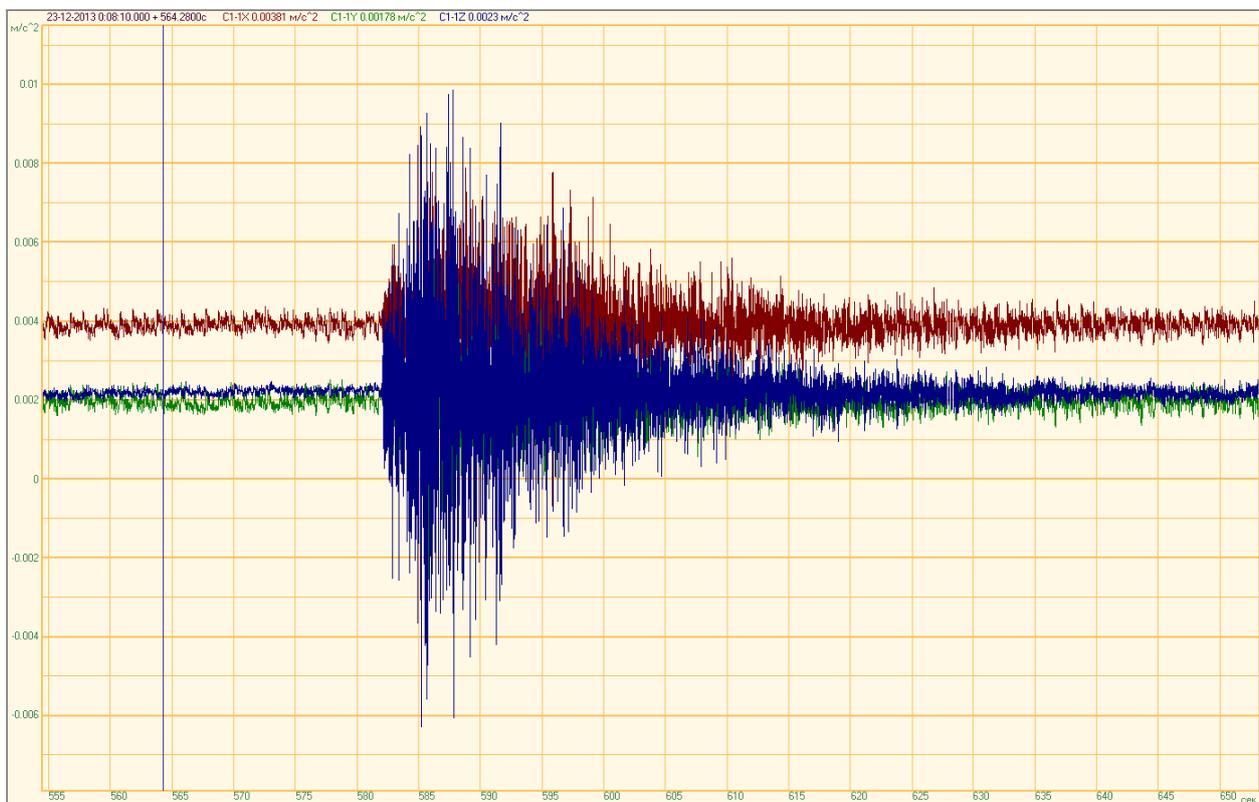


Рисунок А.14. – Акселерограммы сигналов

Основными особенностями такого землетрясения являются наличие резкого вступления сигнала события и неразличимые р- и s-фазы, что и видно на рисунке А.14. Рассмотрим результаты работы ПОД при разных заданных параметрах. Результаты представлены на рисунках А.15...А.17.

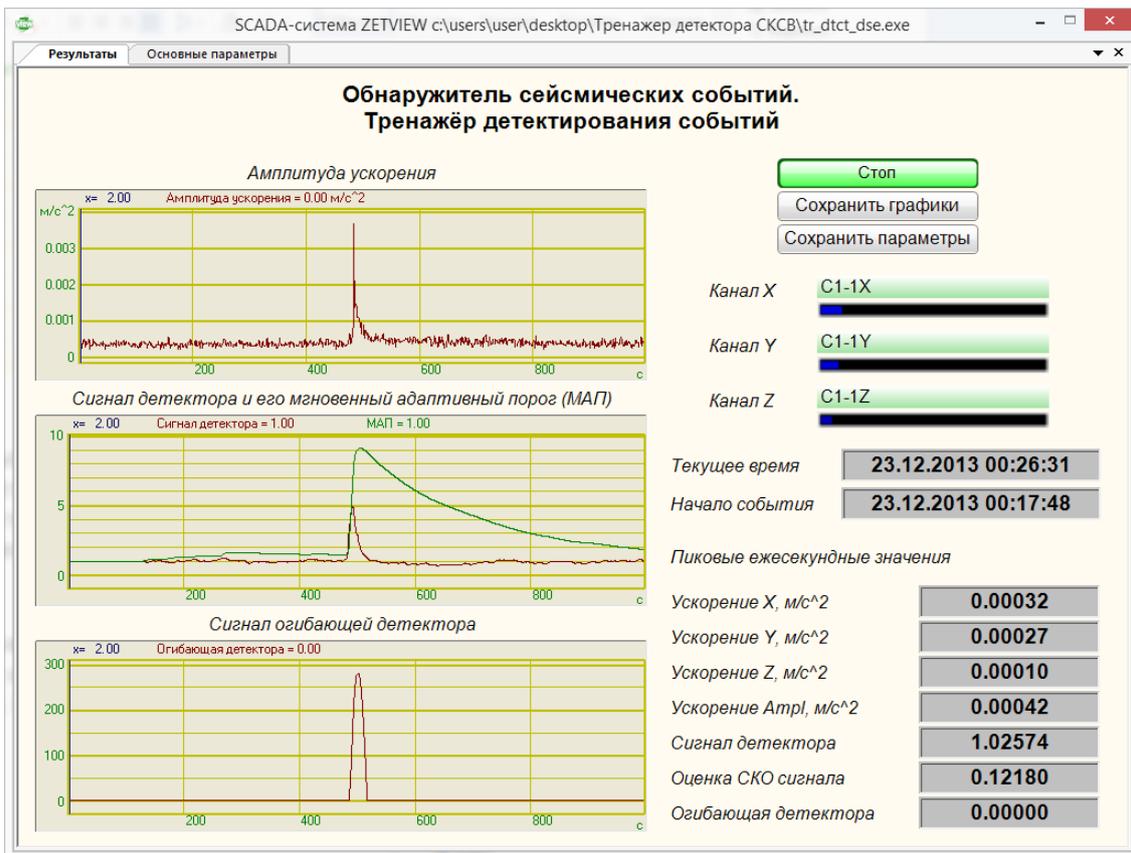


Рисунок А.15. – Результат работы ПОД

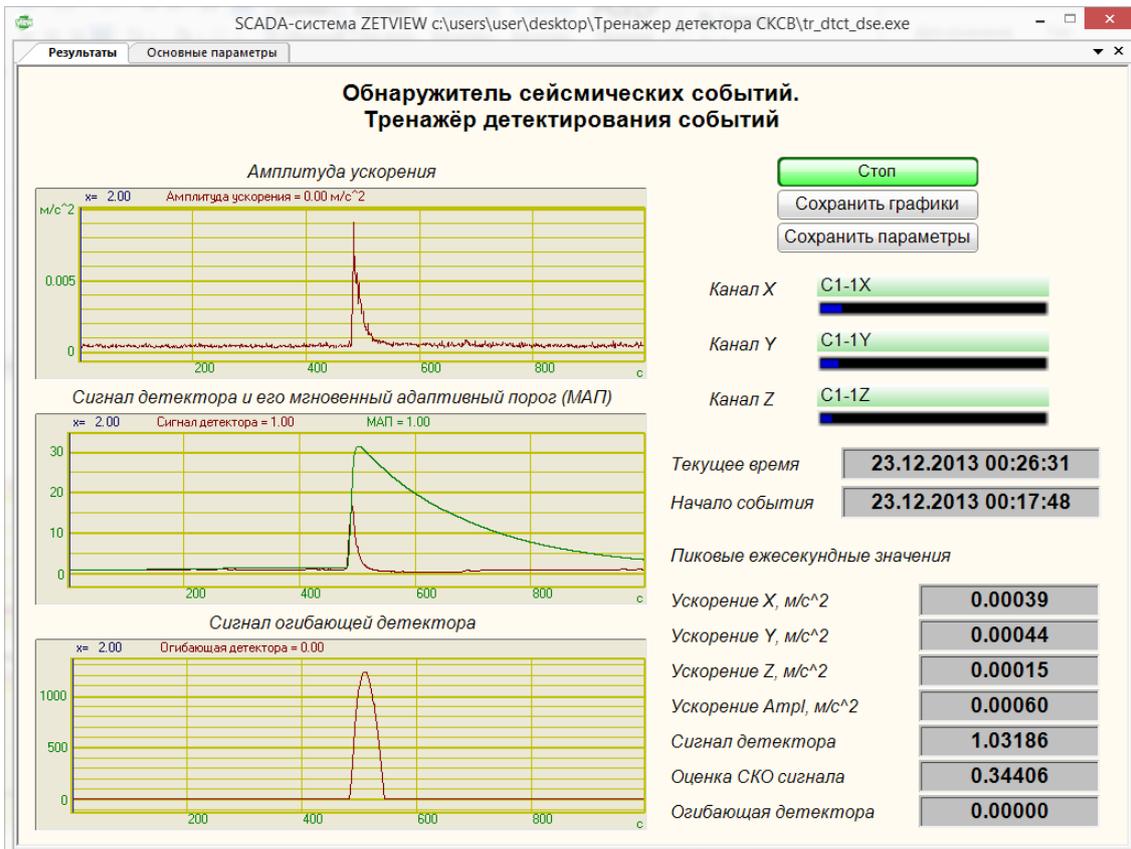


Рисунок А.16. – Результат работы ПОД

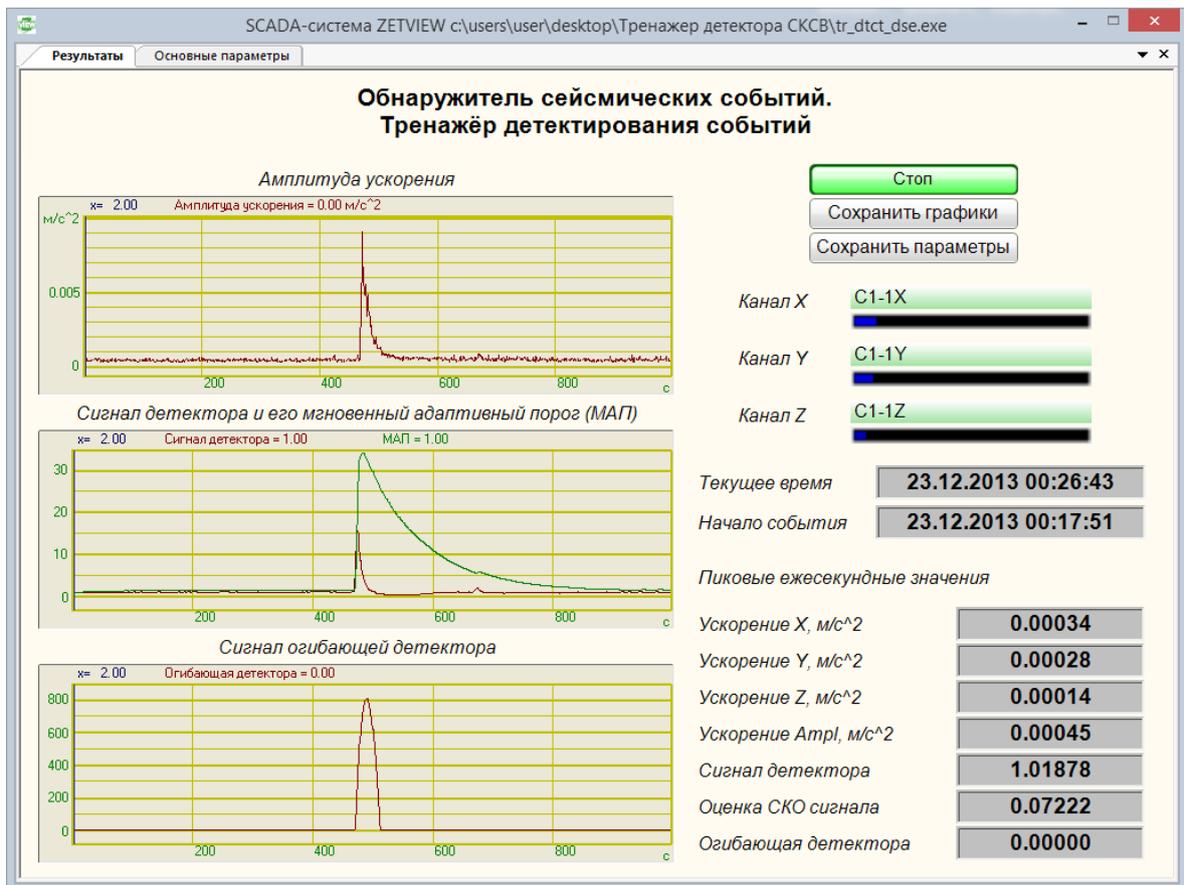


Рисунок А.17. – Результат работы ПОД

Последовательное изменение параметров показывает, что в целом детектирование техногенных землетрясений ничем не отличается от детектирования природных землетрясений. Подбор параметров детектирования осуществляется также.

Пример 5.

Ложное событие типа однополярный щелчок по одной из компонент датчика, см. рисунок А.18.

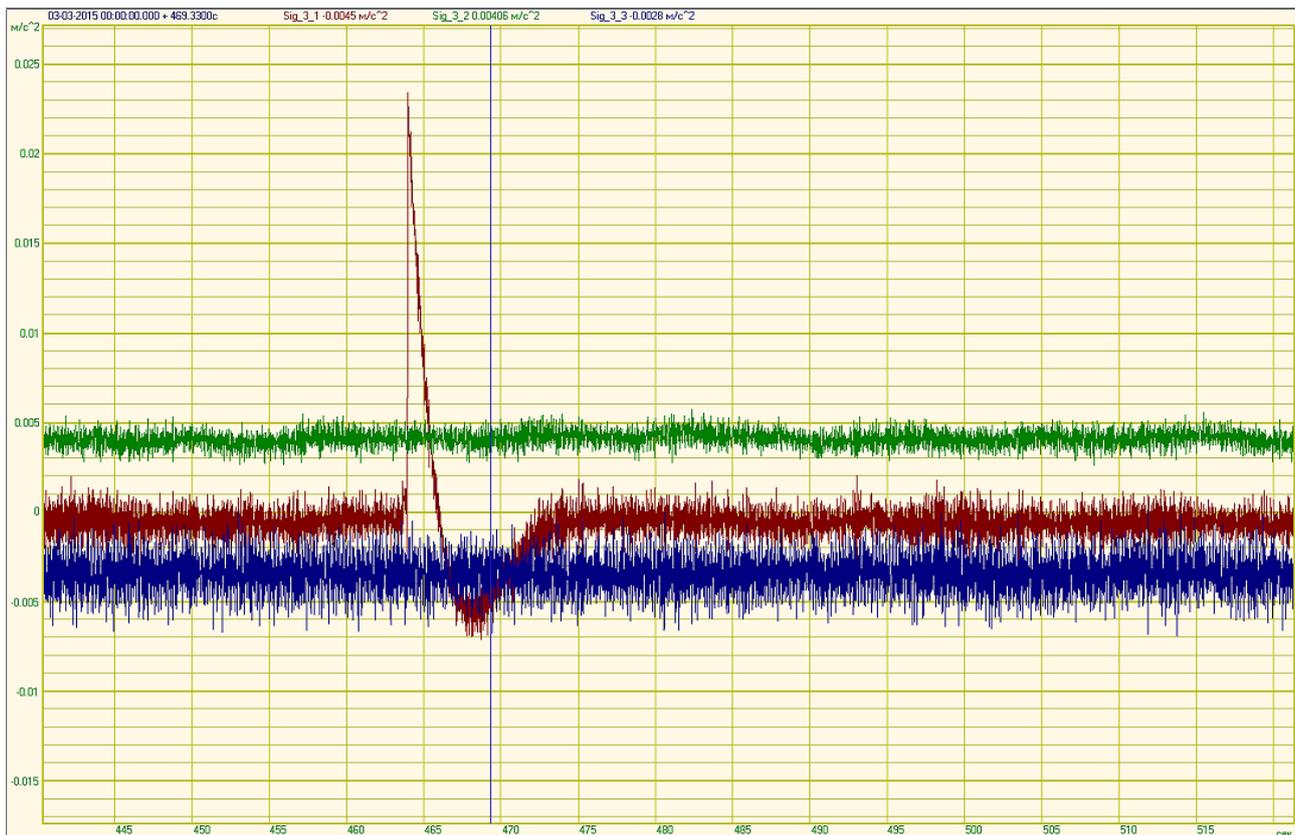


Рисунок А.18. – Ложное событие типа однополярный щелчок

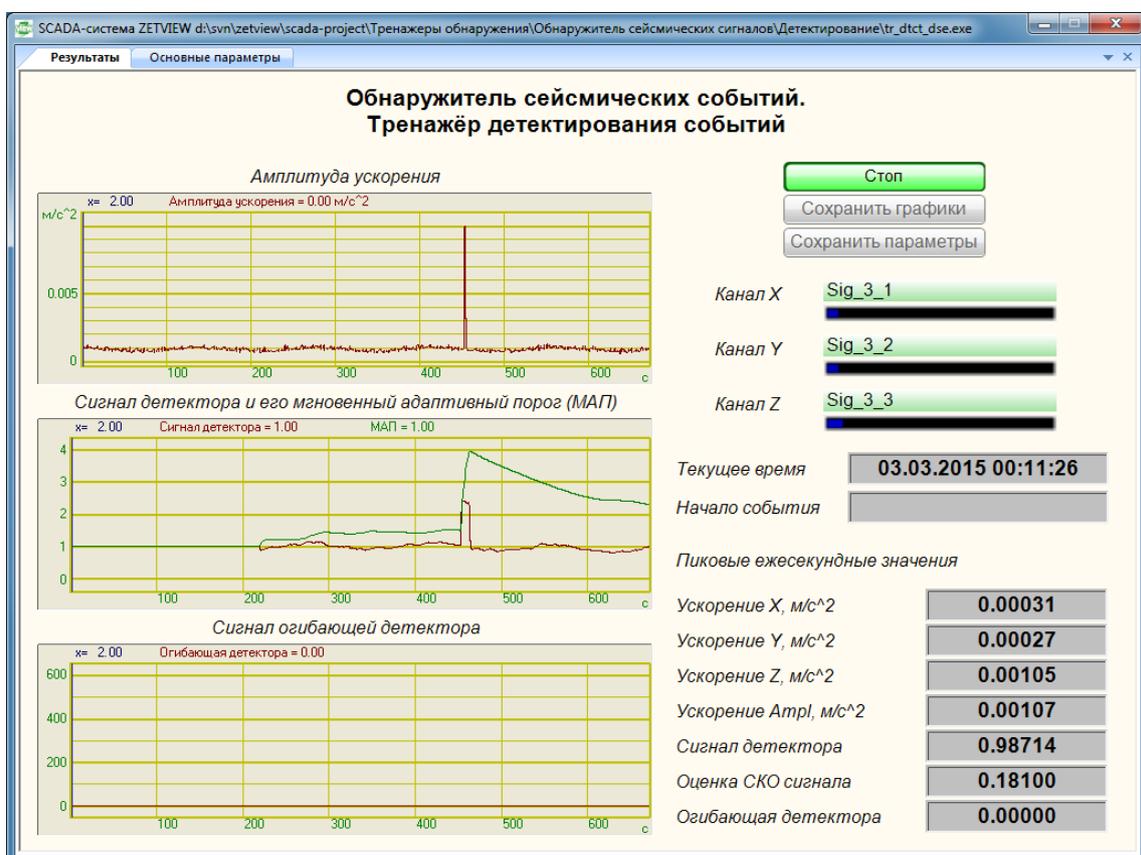


Рисунок А.19. – Результат работы ПОД.

Видно, что, несмотря на амплитуду щелчка в $0,023 \text{ м/с}^2$, после полосового фильтра амплитуда уменьшилась более чем вдвое до $0,01 \text{ м/с}^2$, и ОСС не обнаружил в этом сигнале событие (нет сигнала огибающей детектора и нет времени начала события), см. рисунок А.19.

Однако бывают ложные события, которые ОСС определяет, как событие.

Пример 6

На рисунке А.20 представлены акселерограммы сложного ложного события неизвестной природы. Такой сигнал был воспринят ОСС как событие, см. рисунок А.21.

Для правильной работы ОСС в нем реализованы несколько алгоритмов классификации ложных событий. Для подбора параметров используемых алгоритмов ОСС предназначен ПОК событий.



Рисунок А.20. – Сложное ложное событие

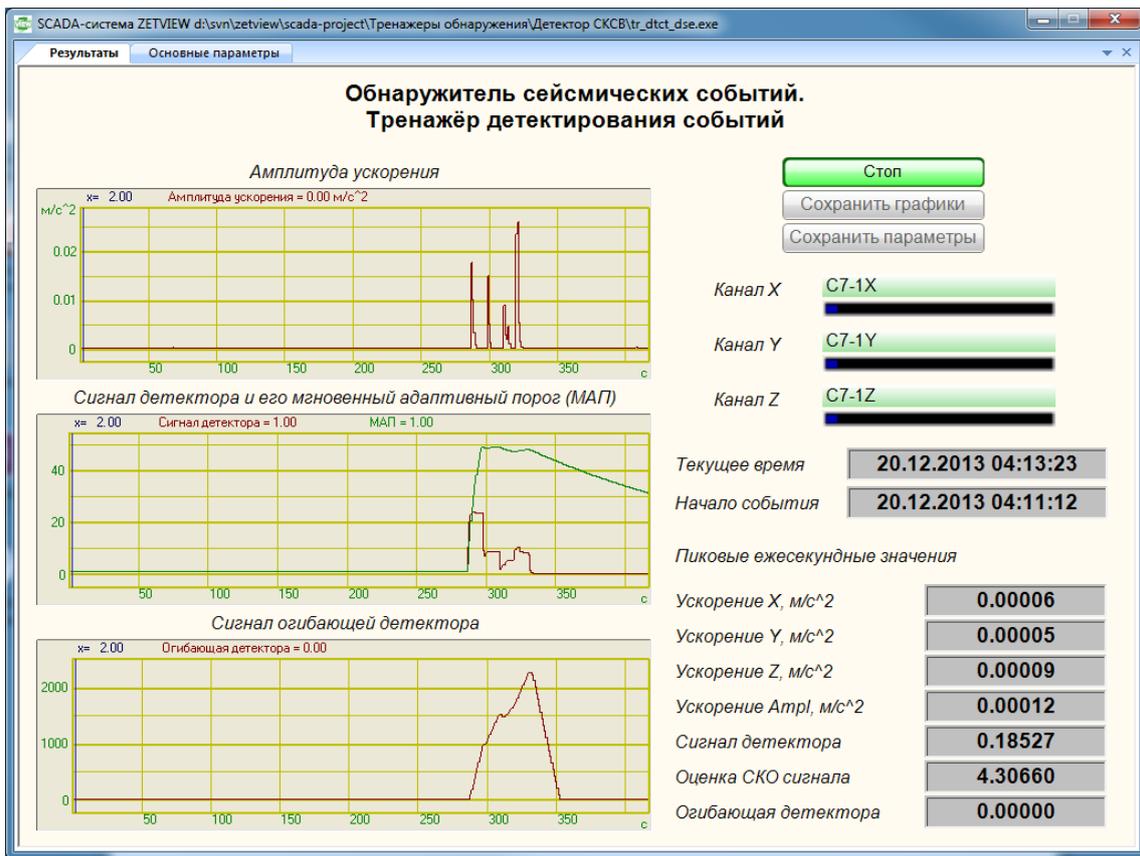


Рисунок А.21. – Результат работы ПОД

Приложение Б. Практическая работа с ПО подбора параметров классификации

В данном приложении рассматриваются примеры обработки записей реальных сигналов с помощью ПОК. Обработка выполняется различными алгоритмами классификации с целью подбора оптимальных параметров для конкретных случаев.

Пример 1

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 11.03.2011 в Японии (38.29° с.ш. 142.69° в.д., магнитуда 7,2), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии более 1000 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.1.

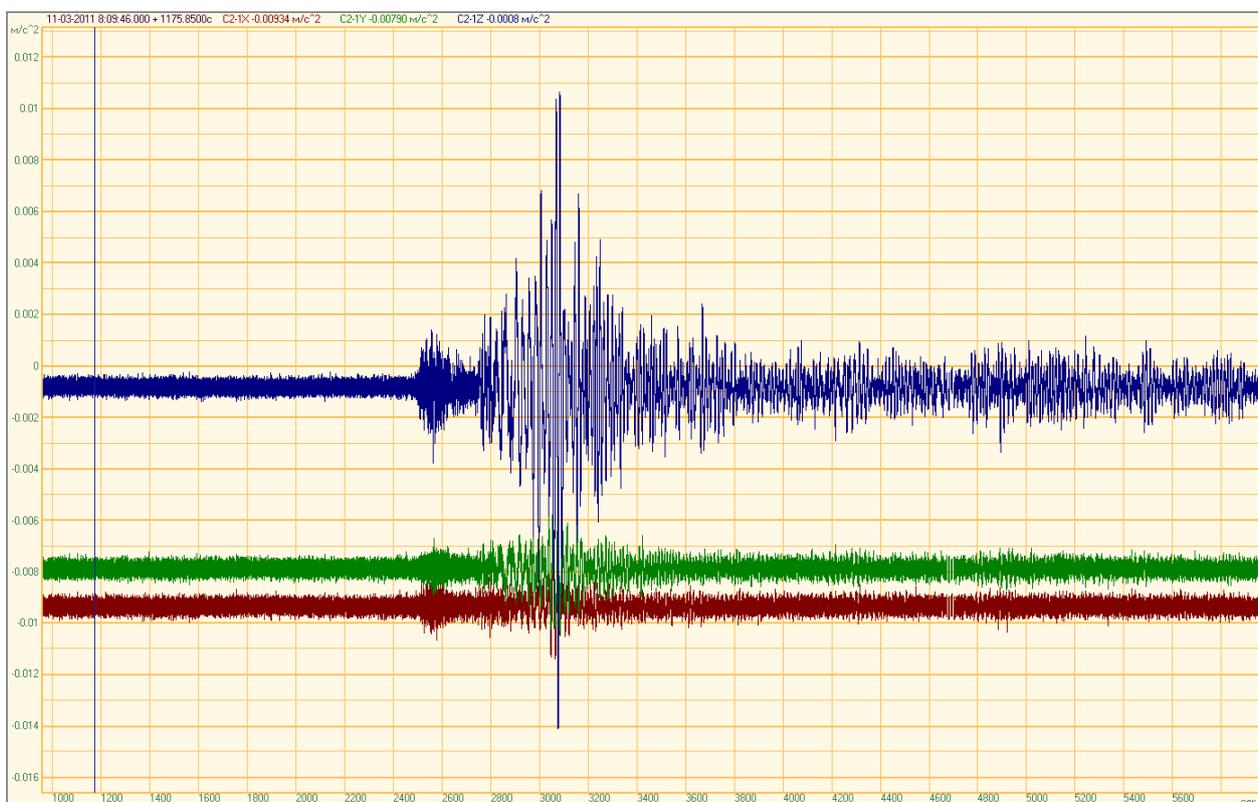


Рисунок Б.1. – Акселерограммы сигнала

Результаты обработки представлены на рисунках Б.2...Б.7.

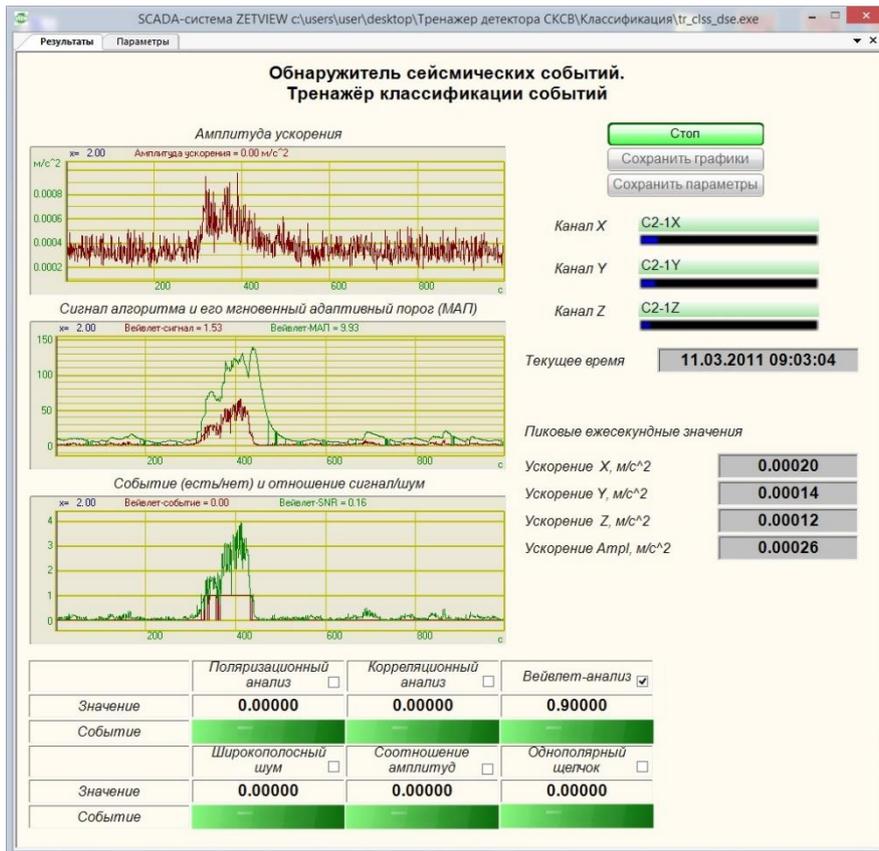


Рисунок Б.2. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

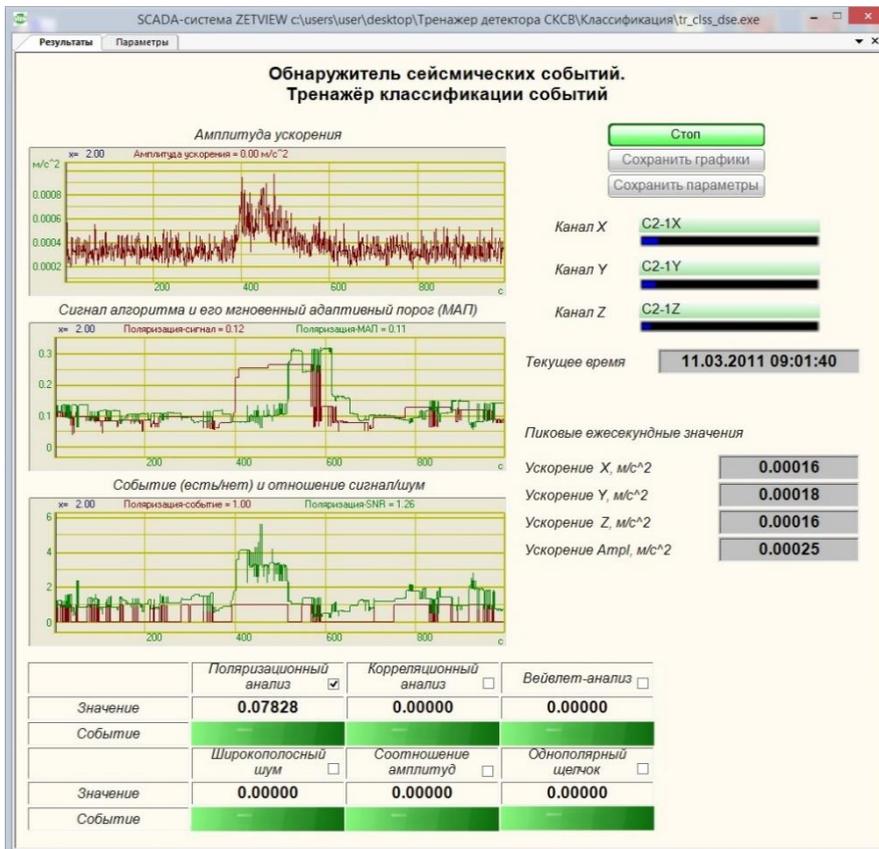


Рисунок Б.3. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

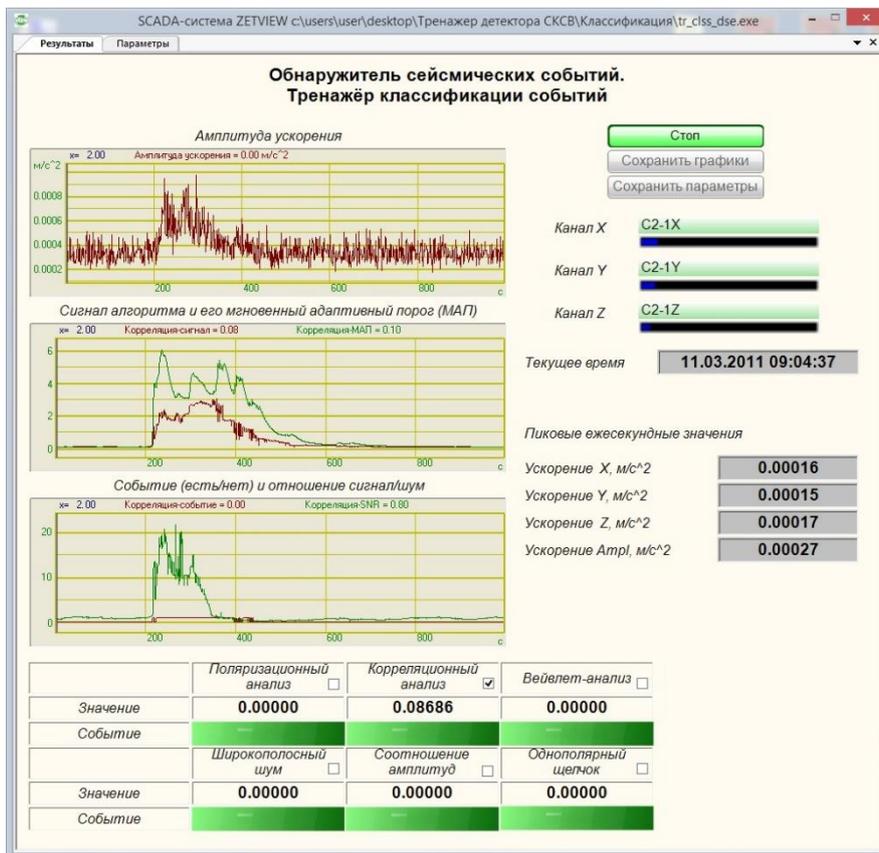


Рисунок Б.4. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

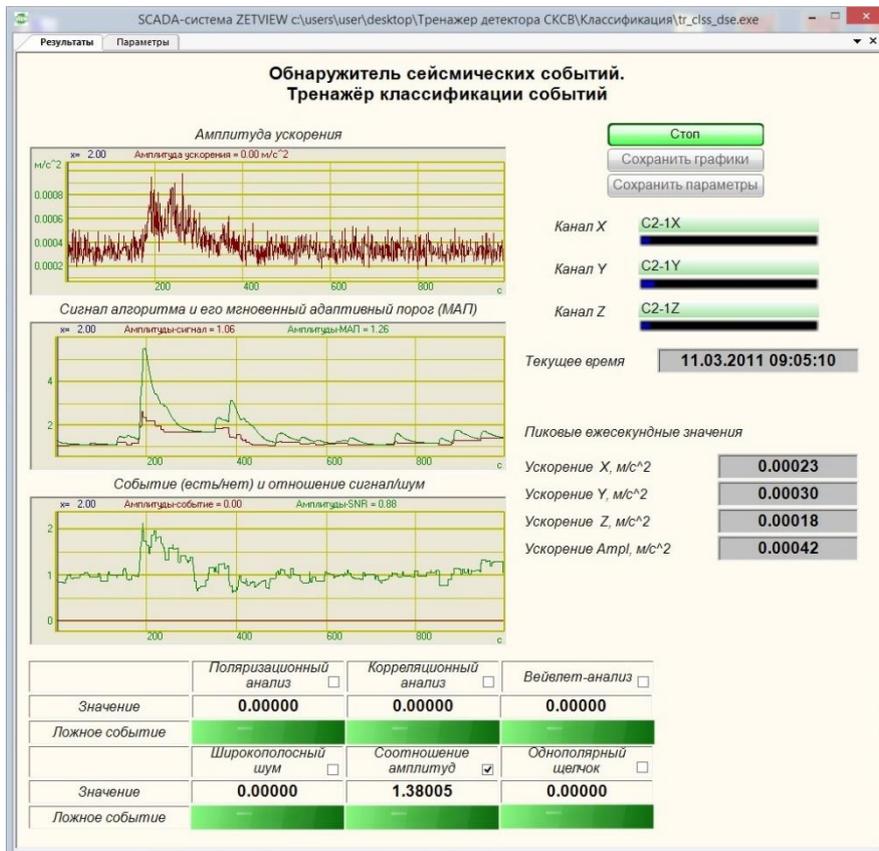


Рисунок Б.5. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

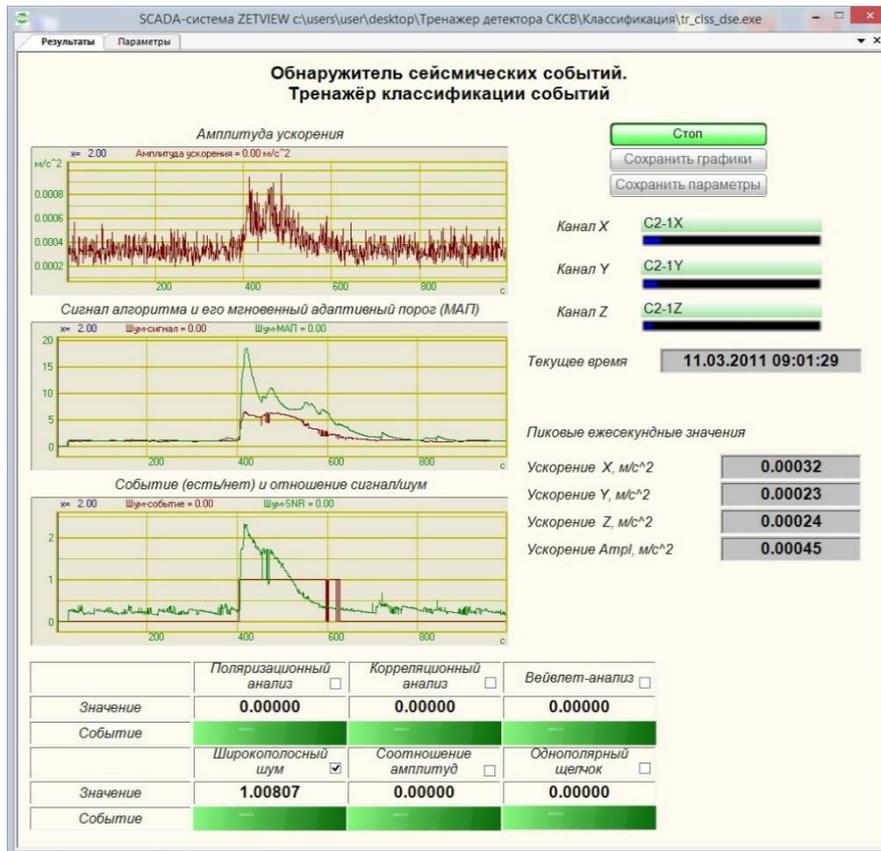


Рисунок Б.6. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

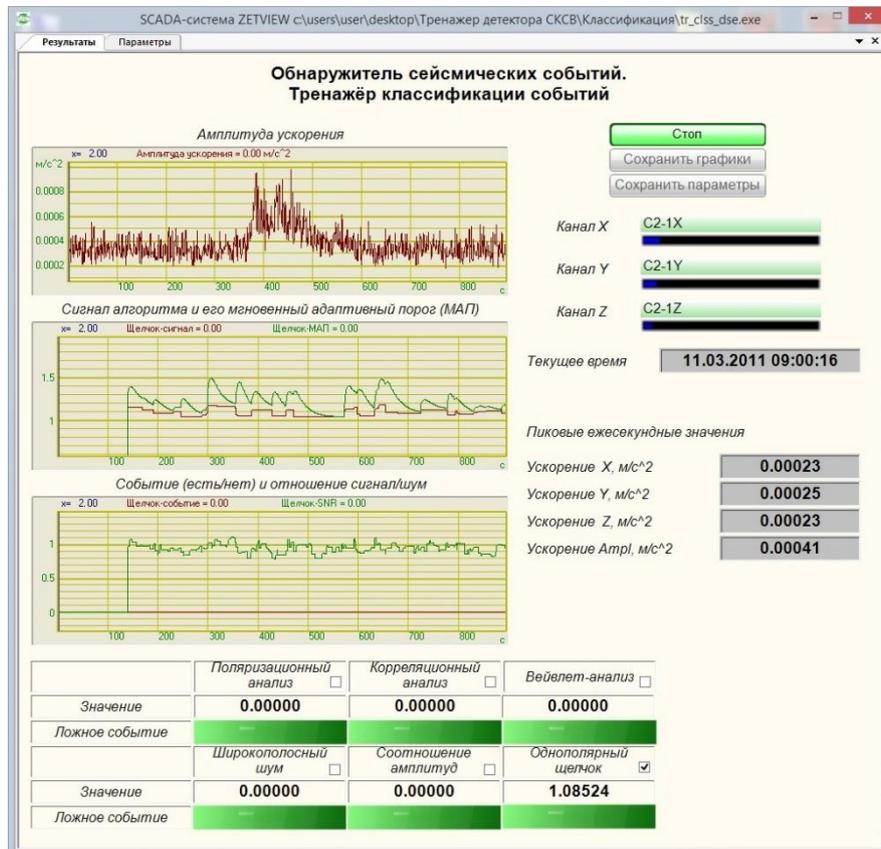


Рисунок Б.7. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что алгоритмы классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») определили в сигнале сейсмическое событие, причем наиболее хорошее соотношение сигнал/шум у алгоритма «Корреляционный анализ». Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум не превышает 2. Это свидетельствует о том, что дальнейшее землетрясение успешно классифицируется с правильным результатом.

Пример 2

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 04.01.2014 в районе Нерюнгри (56.8° с.ш. 129.5° в.д., магнитуда 5,4), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии более 800 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.8.

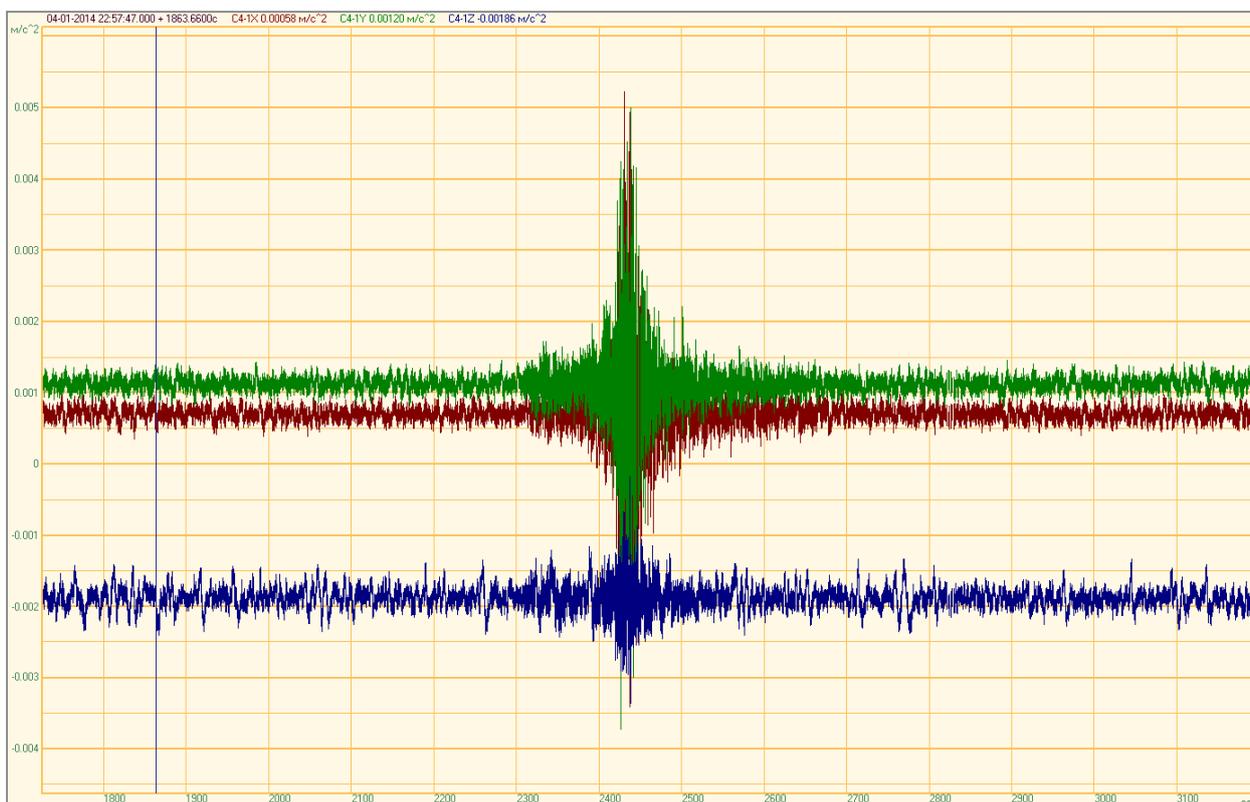


Рисунок Б.8. – Акселерограммы сигнала

Результаты обработки представлены на рисунках Б.9...Б.14.

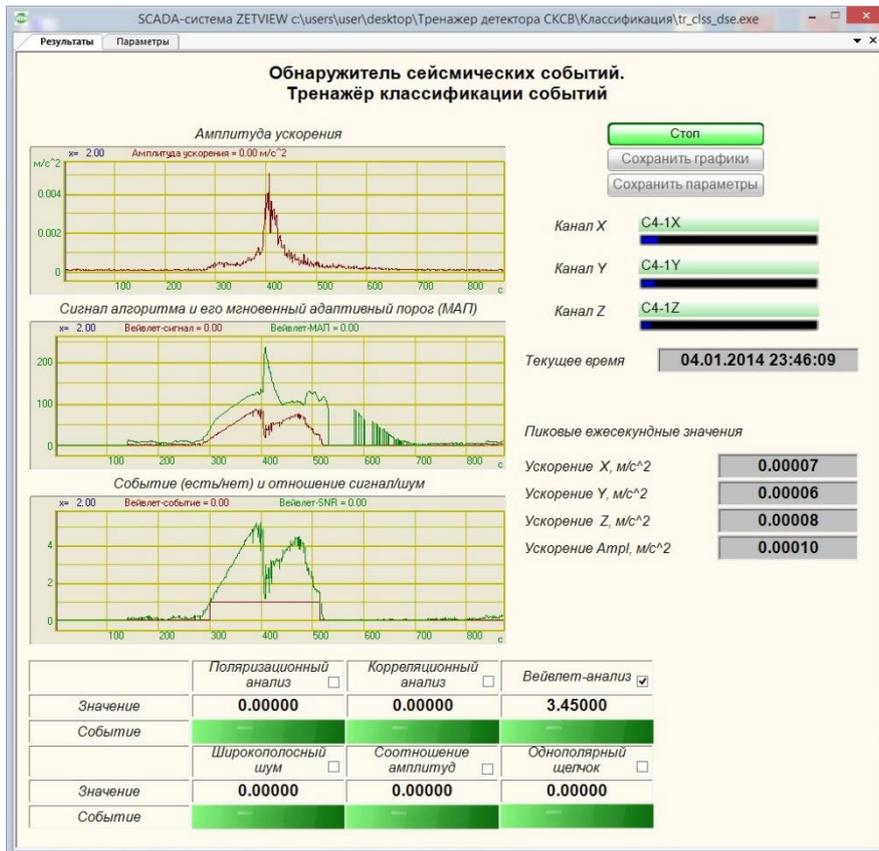


Рисунок Б.9. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

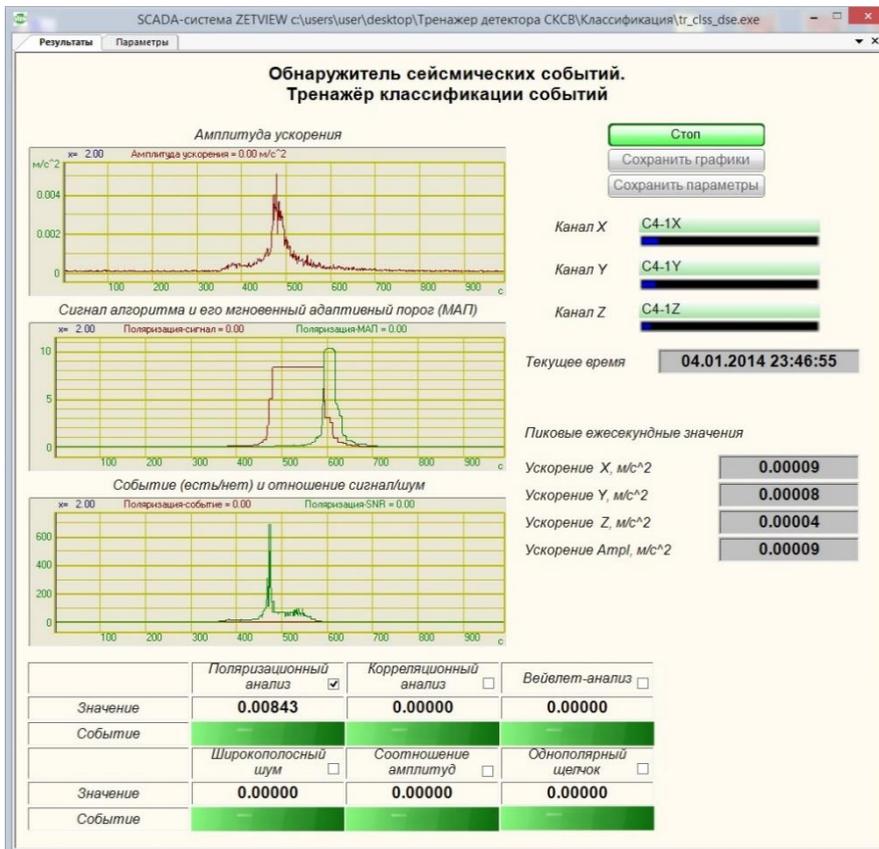


Рисунок Б.10. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

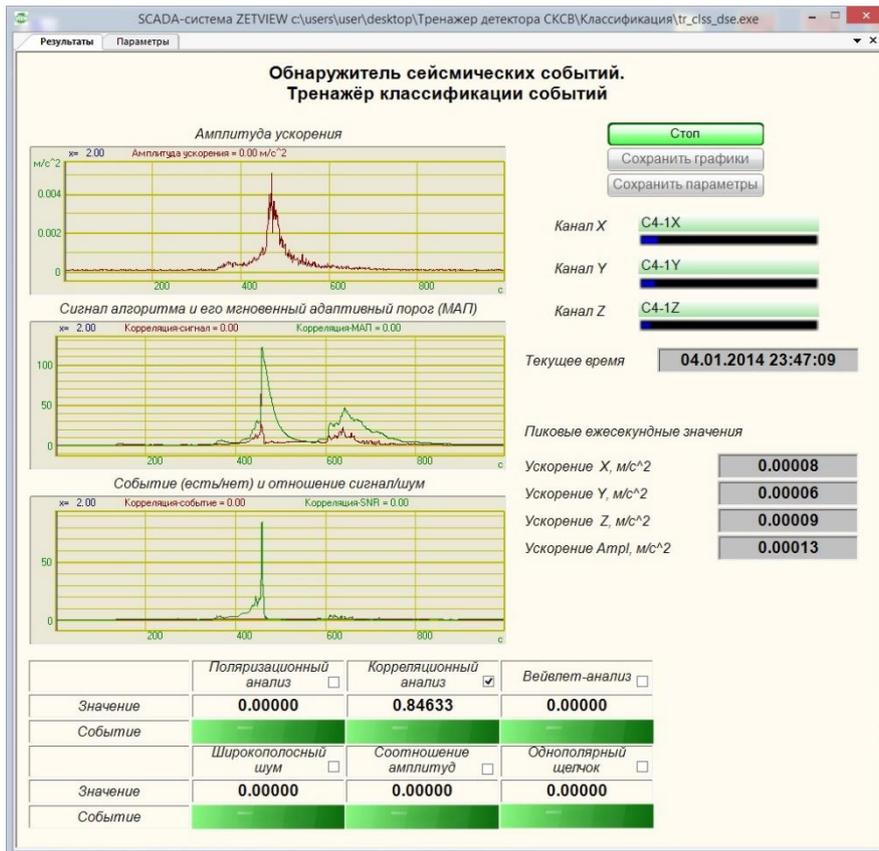


Рисунок Б.11. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

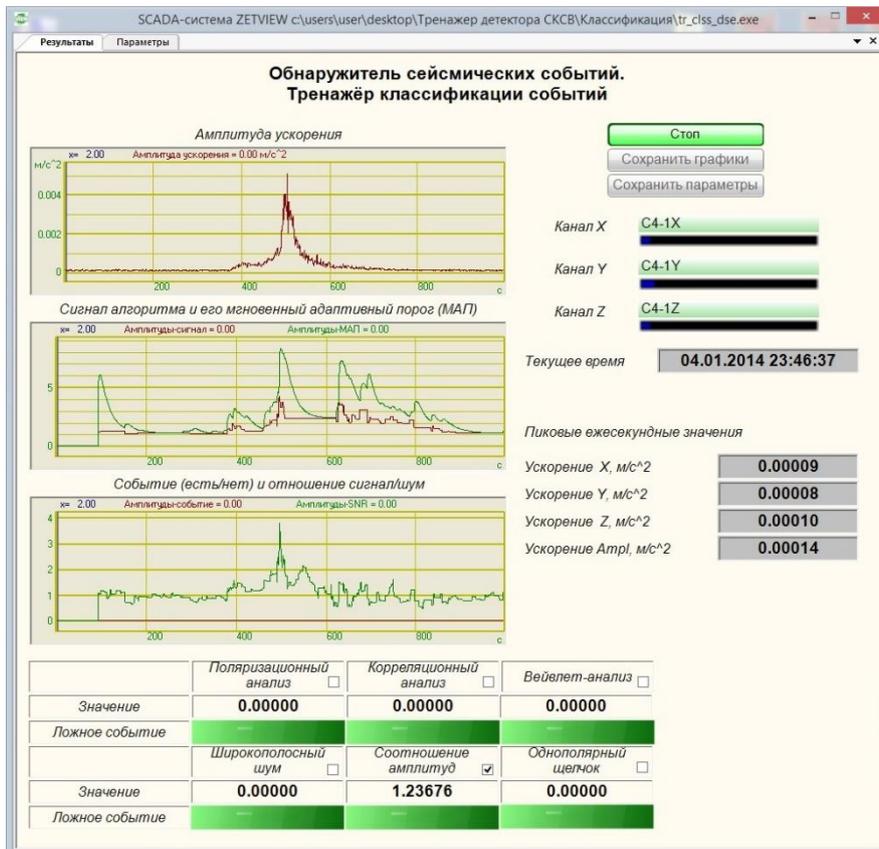


Рисунок Б.12. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

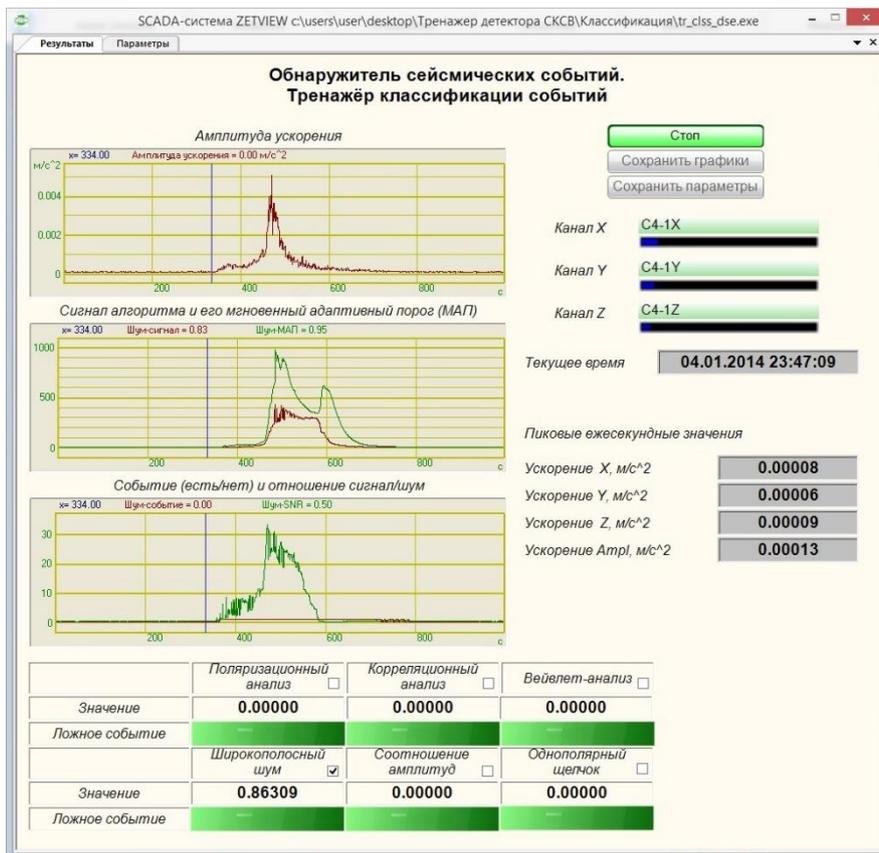


Рисунок Б.13. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

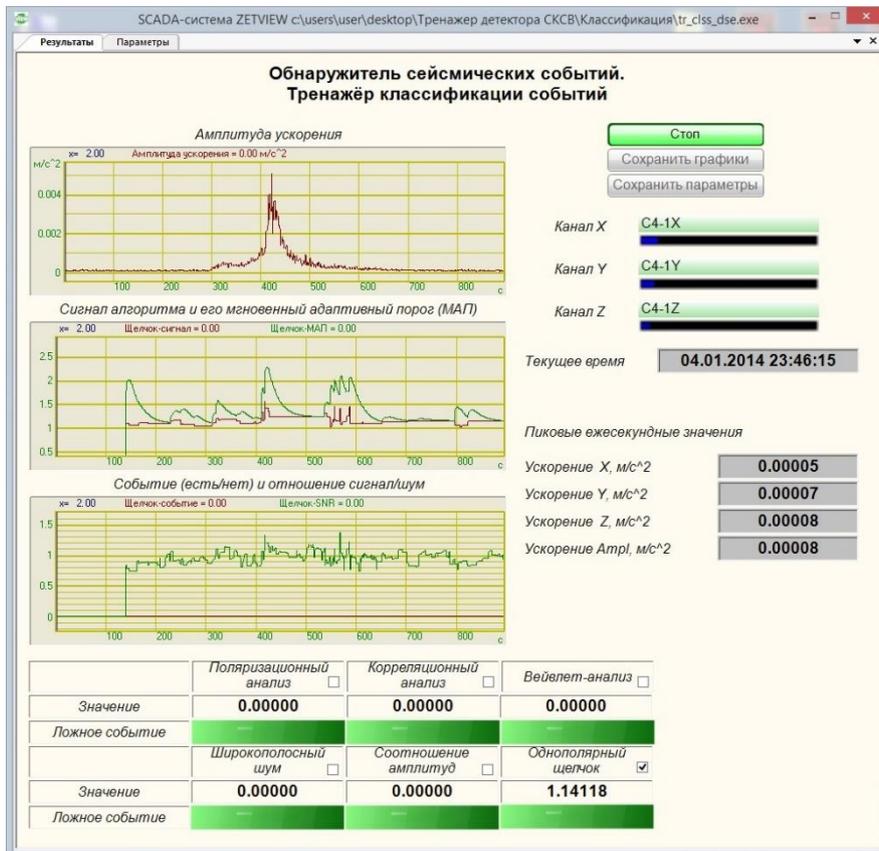


Рисунок Б.14. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что алгоритмы классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») определили в сигнале сейсмическое событие с хорошим соотношением сигнал/шум. Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум достаточно невысокое.

Пример 3

Исходные данные: сигнал землетрясения, произошедшего 12.04.2014 вблизи озера Ханка (45.03° с.ш. 133.61° в.д., магнитуда 4,3), записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии около 30 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.15.

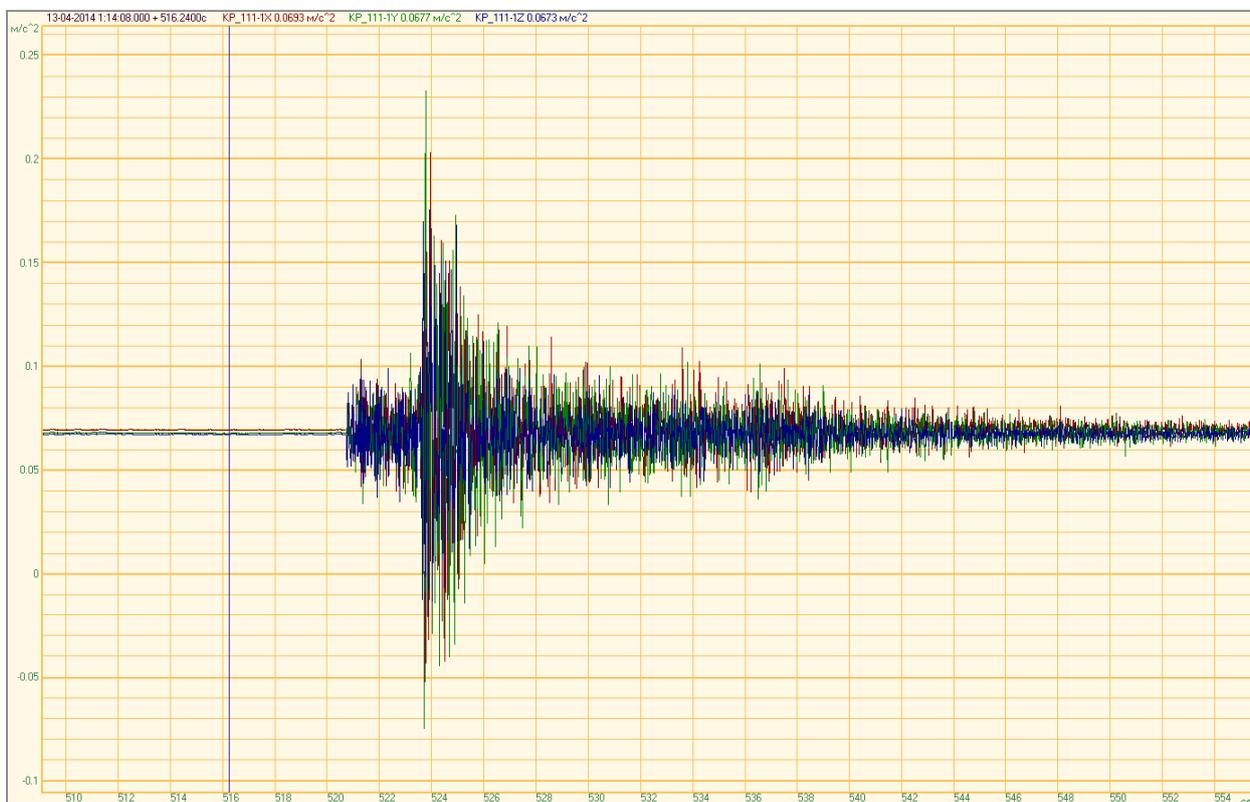


Рисунок Б.15. – Акселерограммы сигнала

Результаты обработки представлены на рисунках Б.16...Б.21.

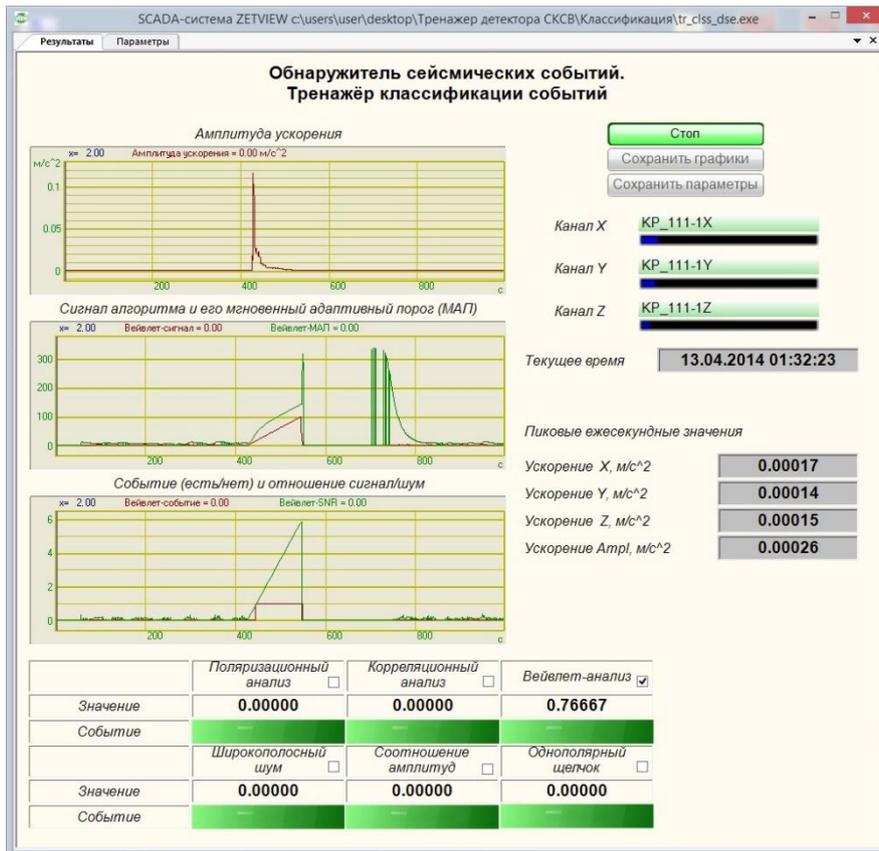


Рисунок Б.16. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

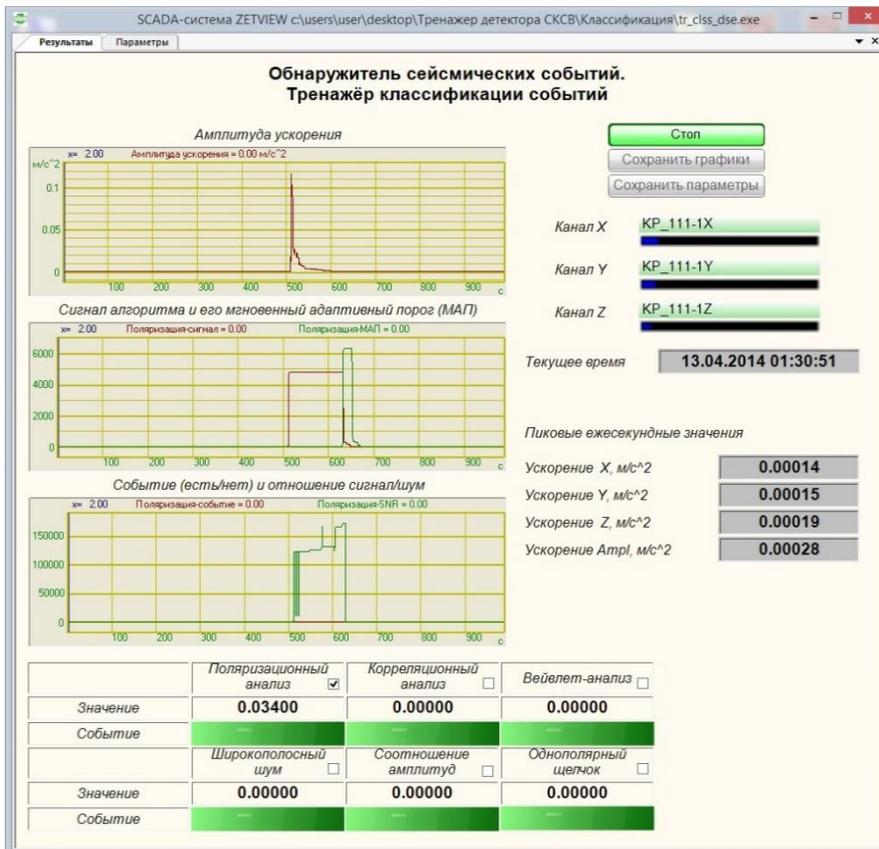


Рисунок Б.17. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

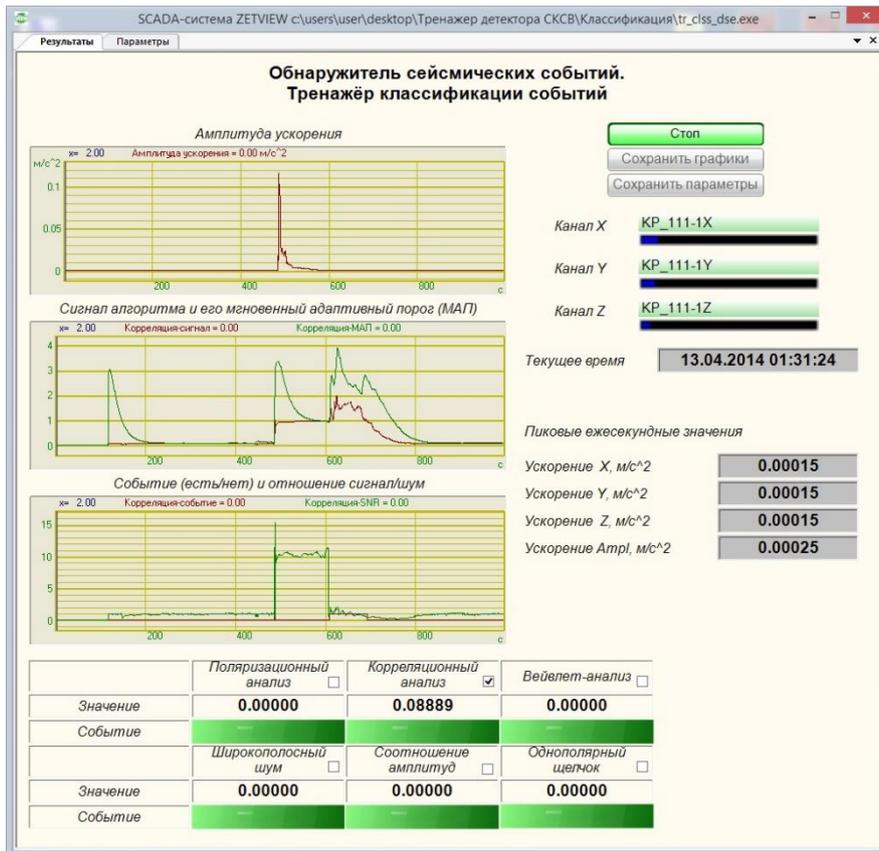


Рисунок Б.18. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

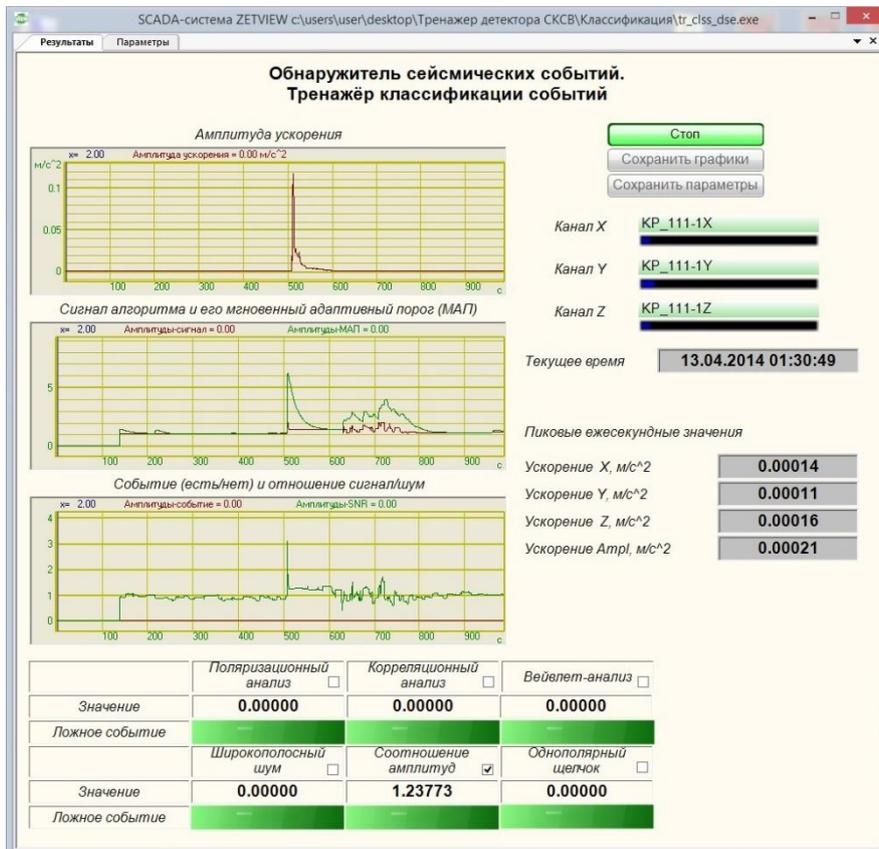


Рисунок Б.19. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

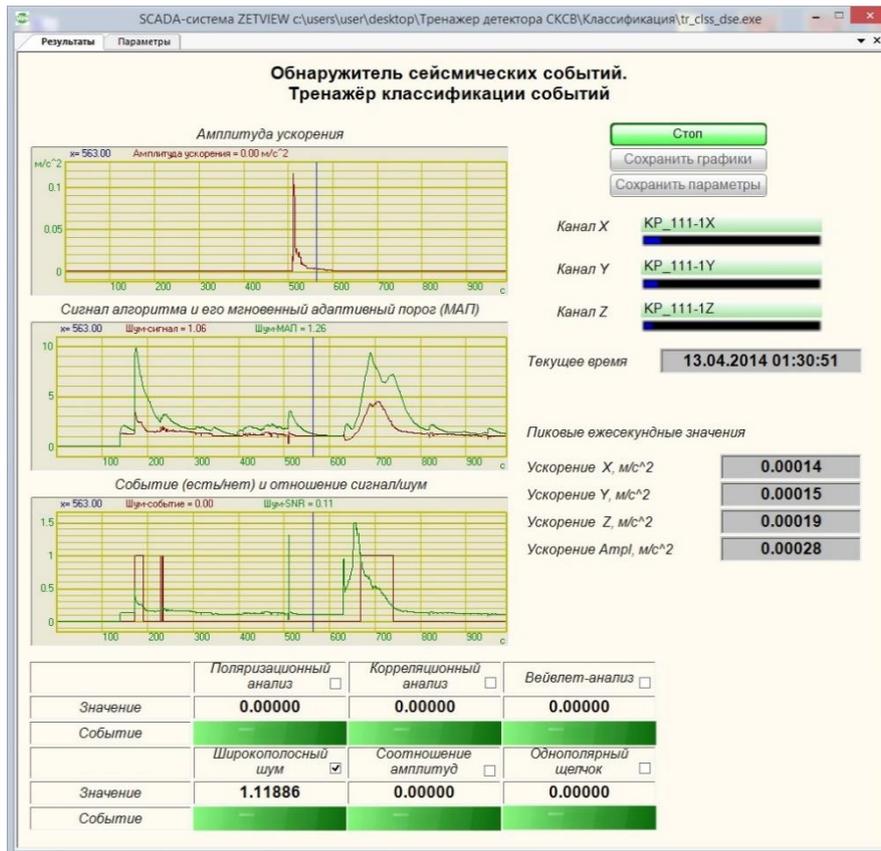


Рисунок Б.20. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

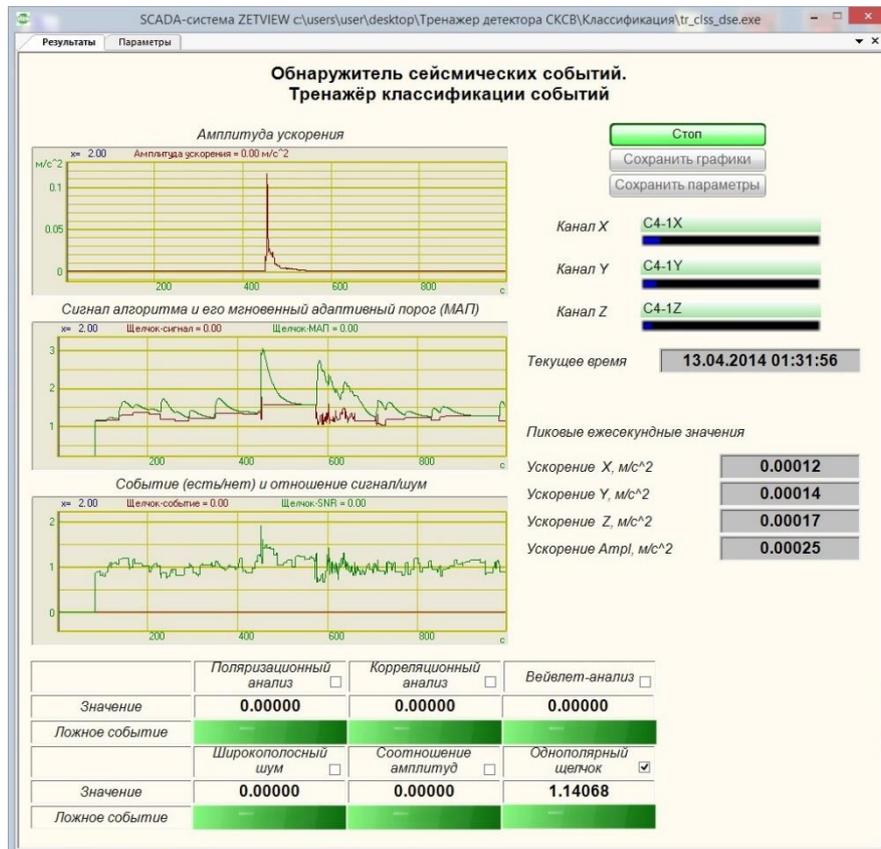


Рисунок Б.21. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что алгоритмы классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») определили в сигнале сейсмическое событие с хорошим соотношением сигнал/шум, кроме алгоритма «Широкополосный шум». Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум достаточно невысокое. Это свидетельствует об успешной классификации ближних сильных землетрясений. В данном случае, возможно, следует более точно подобрать частотный диапазон исследуемого сигнала.

Пример 4

Исходные данные: сигнал техногенного землетрясения, произошедшего 23.12.2013 в районе Нерюнгри, фактически взрыв в угольном карьере, записи с сейсмодатчика, находящегося на расстоянии около 50 км от эпицентра землетрясения. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.22.

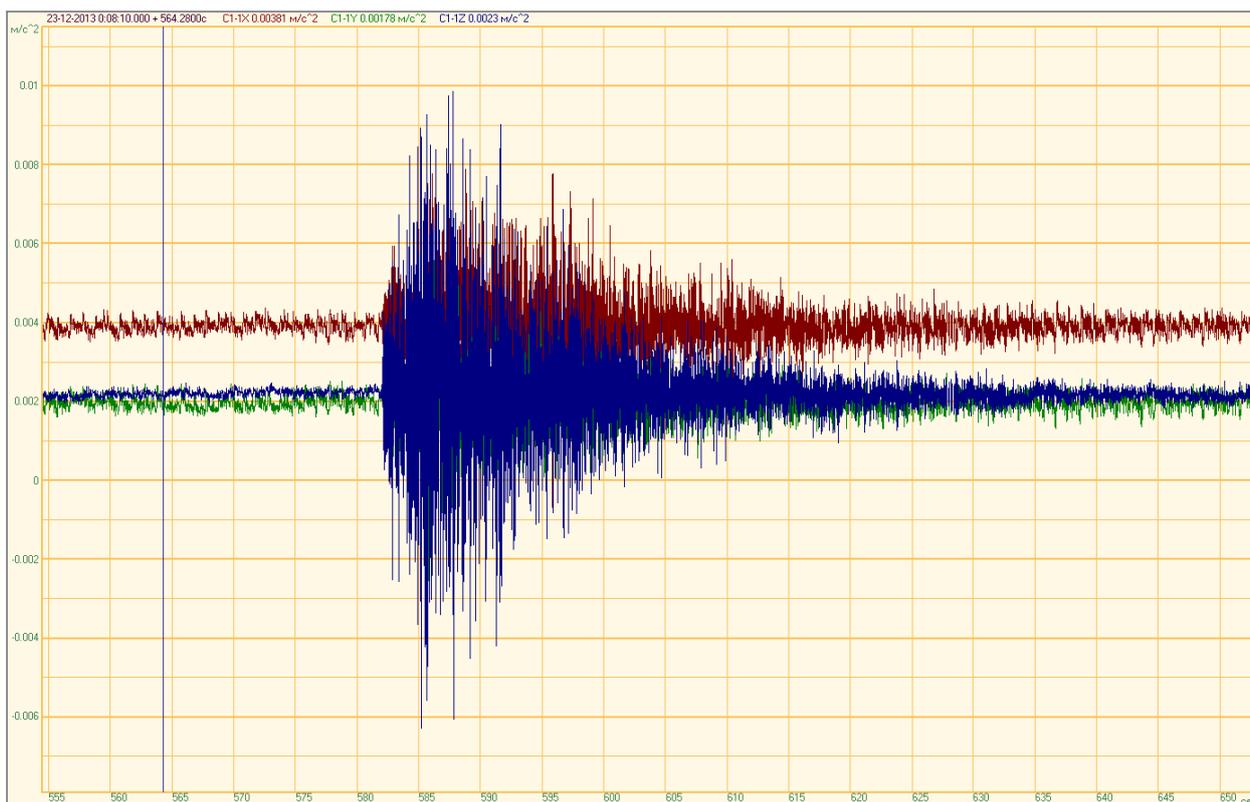


Рисунок Б.22. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.23...Б.28.

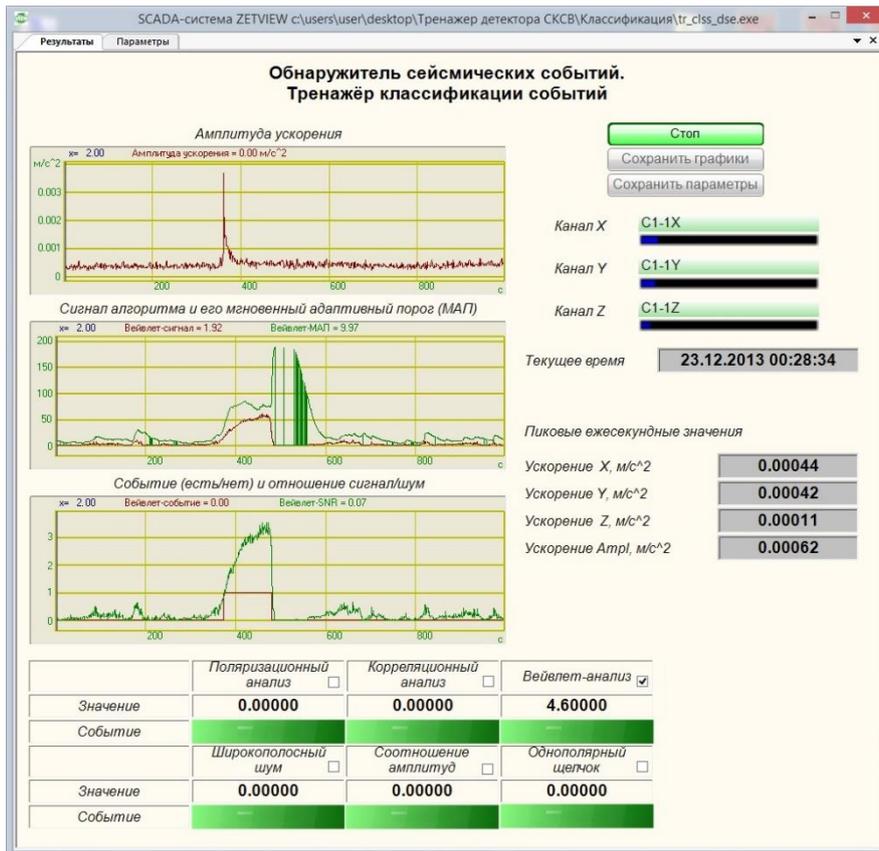


Рисунок Б.23. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

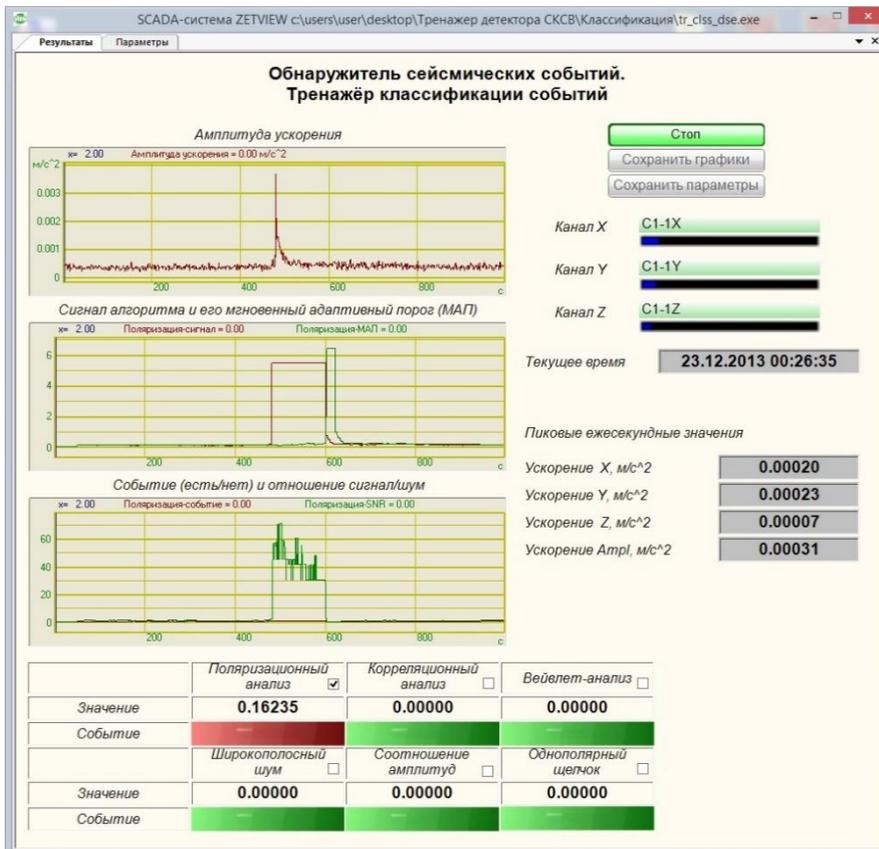


Рисунок Б.24. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

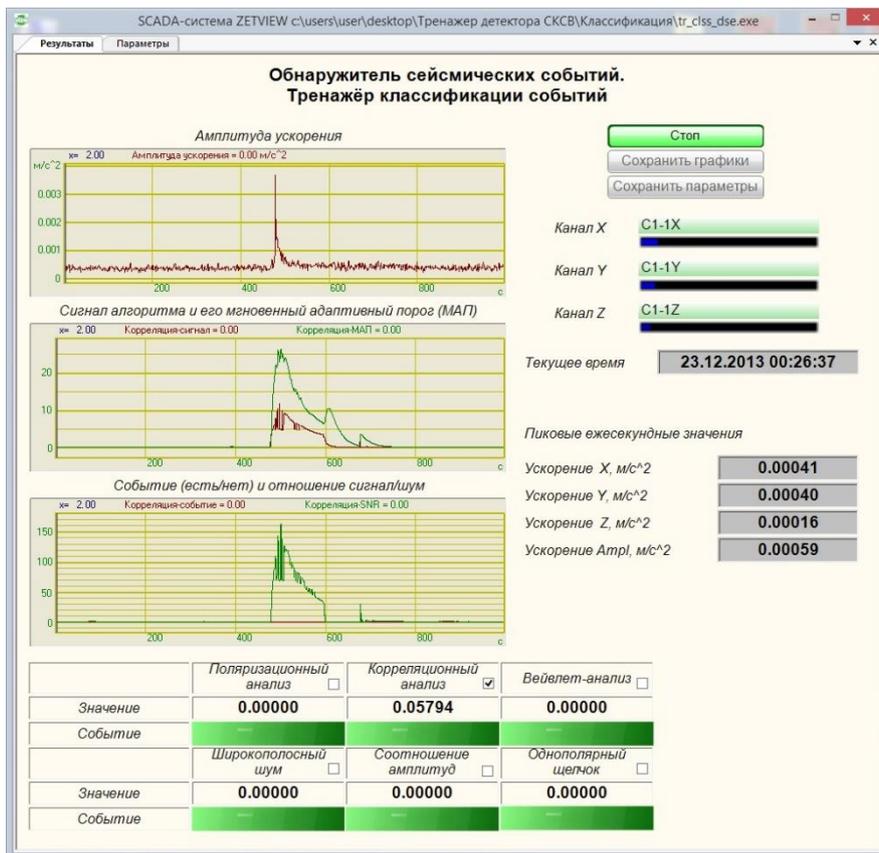


Рисунок Б.25. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

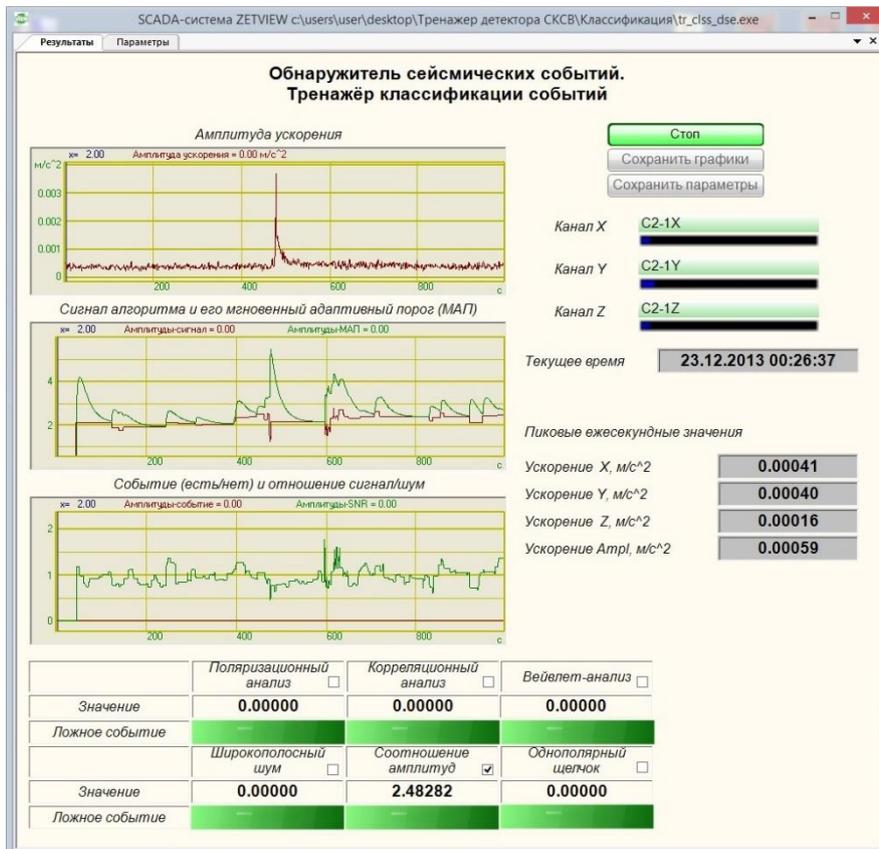


Рисунок Б.26. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

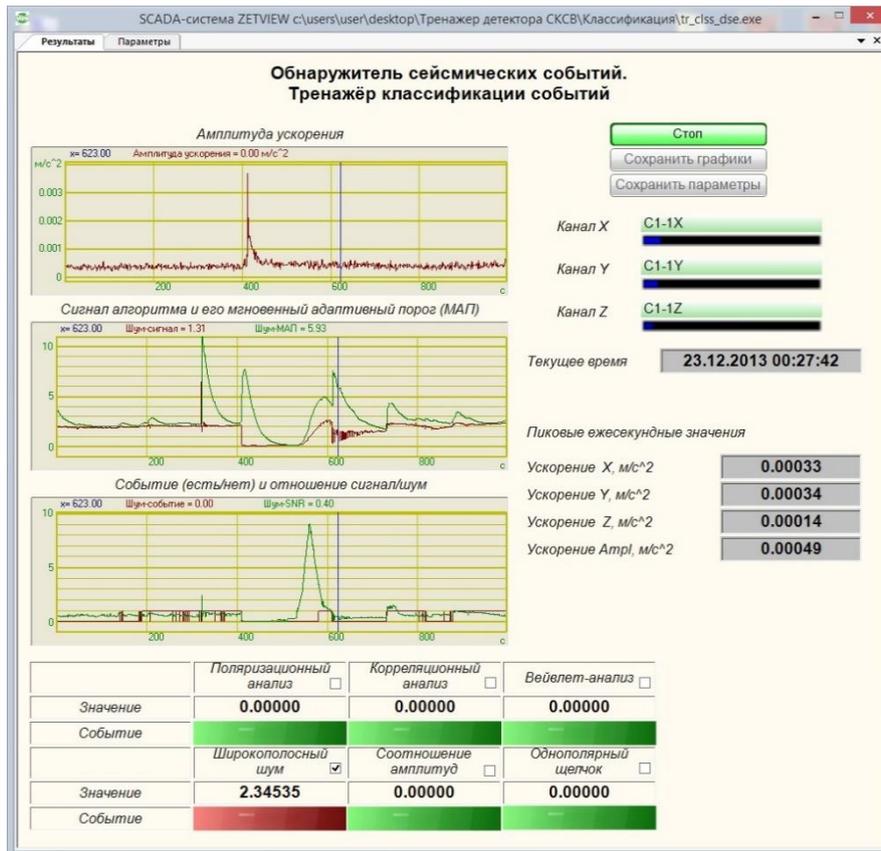


Рисунок Б.27. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

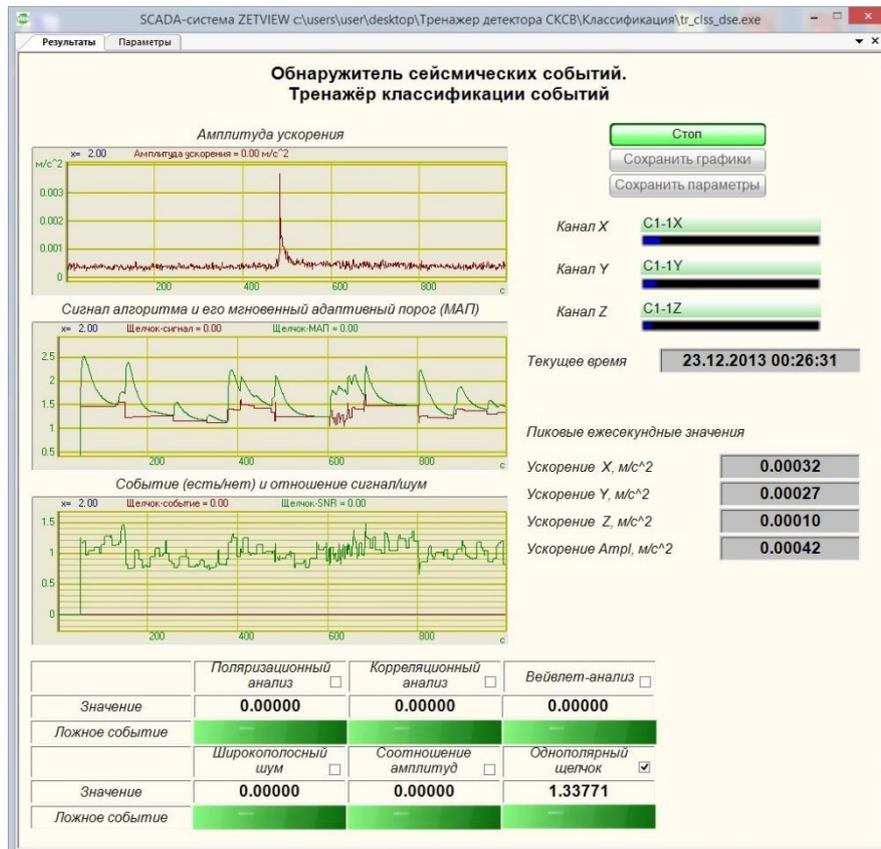


Рисунок Б.28. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что алгоритмы классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») определили в сигнале сейсмическое событие с хорошим соотношением сигнал/шум, кроме алгоритма «Широкополосный шум». Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум достаточно невысокое. Это свидетельствует об успешной классификации техногенных землетрясений. В данном случае, возможно, следует более точно подобрать частотный диапазон исследуемого сигнала.

Пример 5.

Ложное событие вида одиночных однополярных всплесков. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.29.

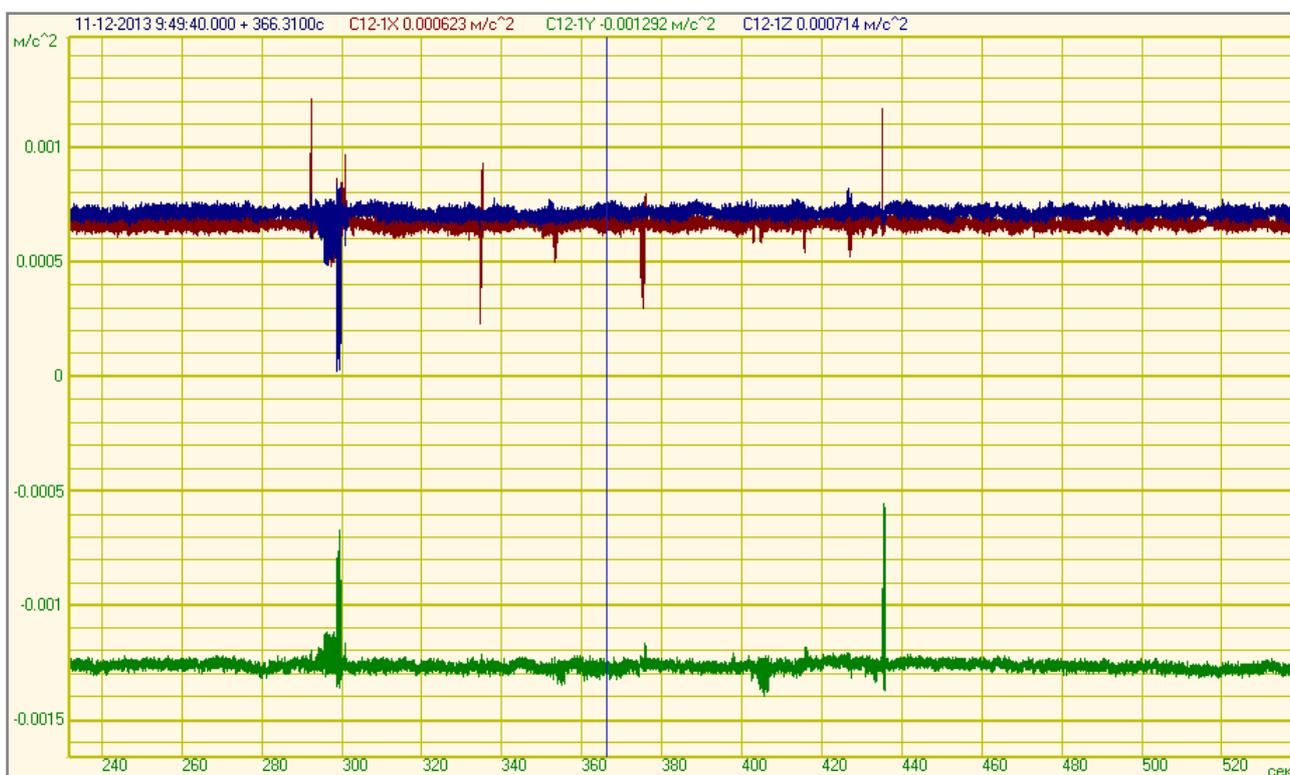


Рисунок Б.29. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.30...Б.35.

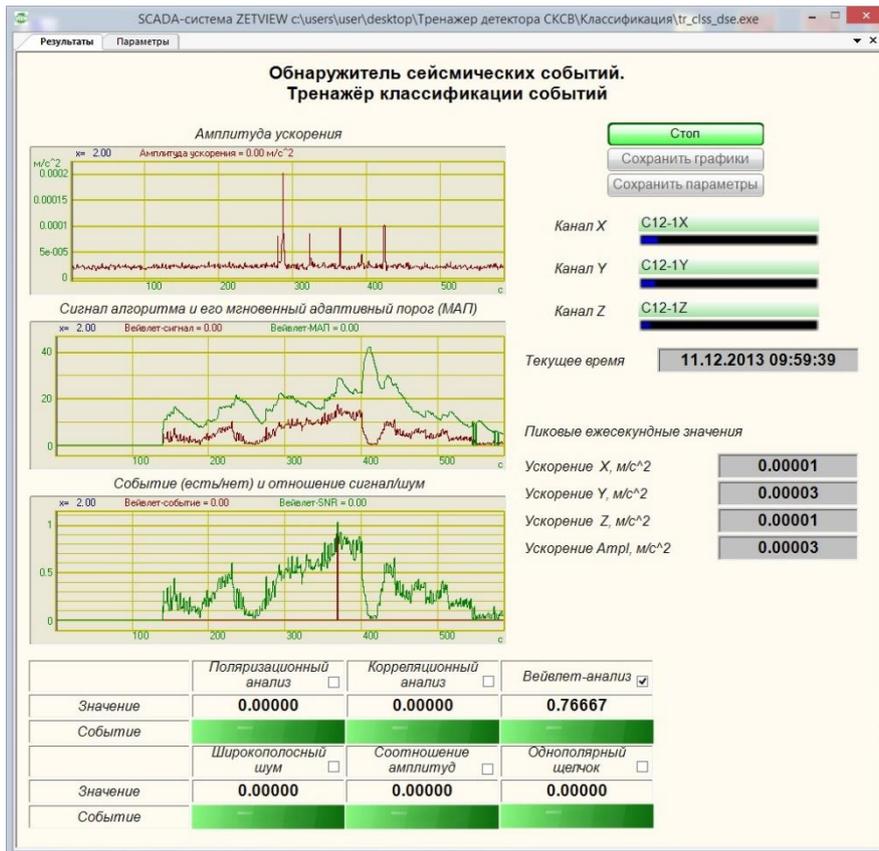


Рисунок Б.30. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

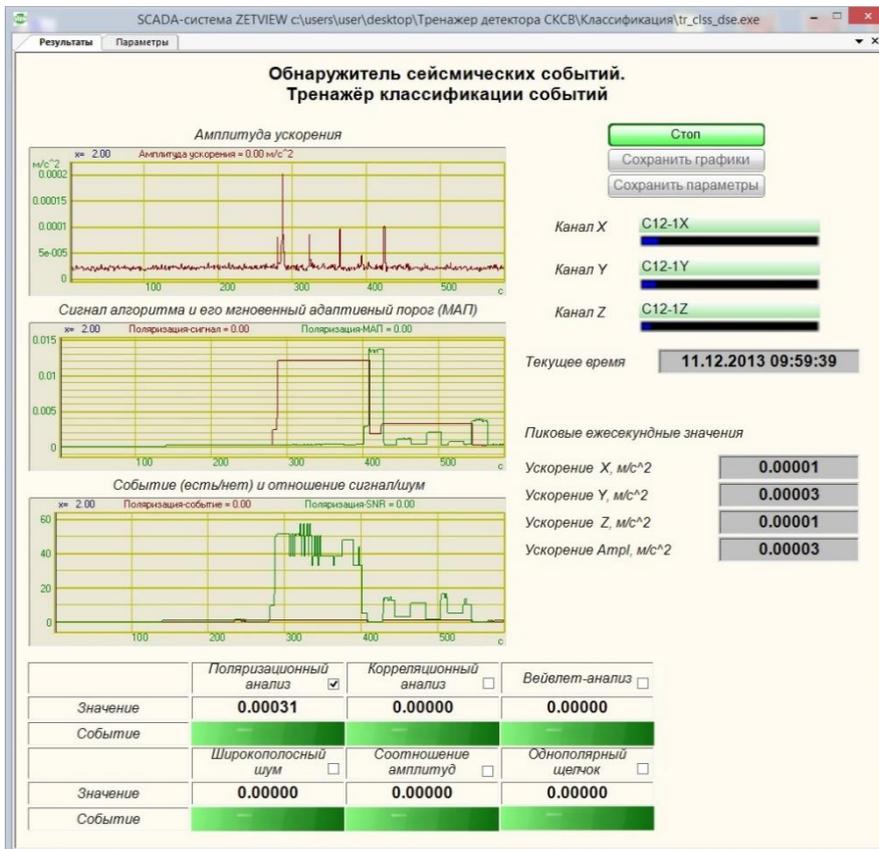


Рисунок Б.31. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

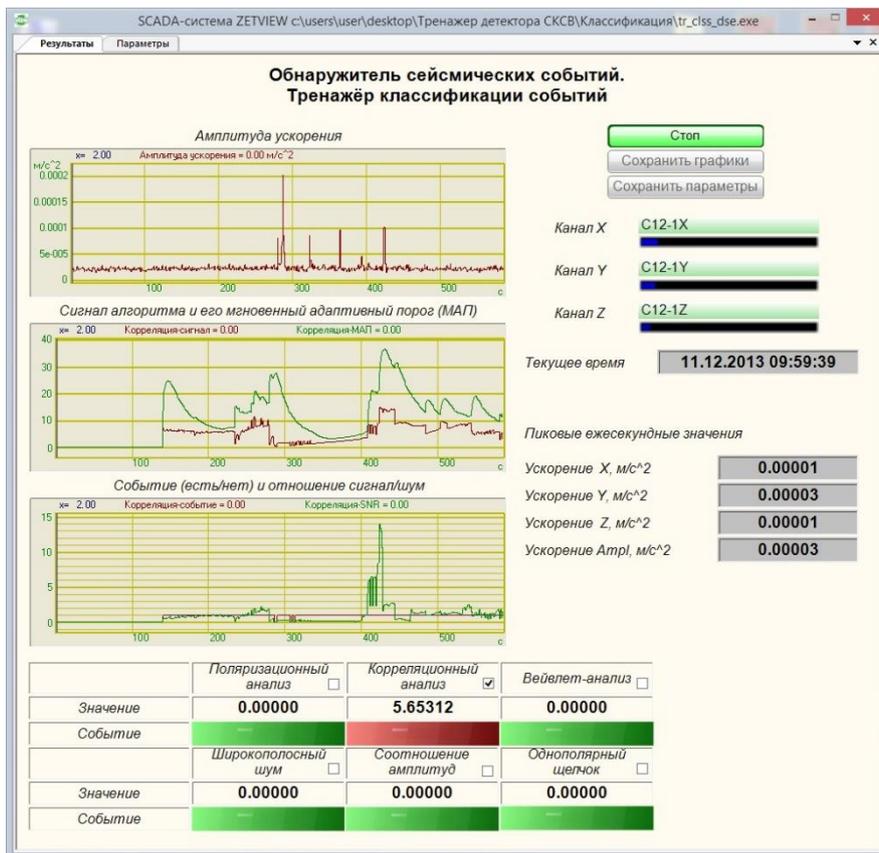


Рисунок Б.32. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

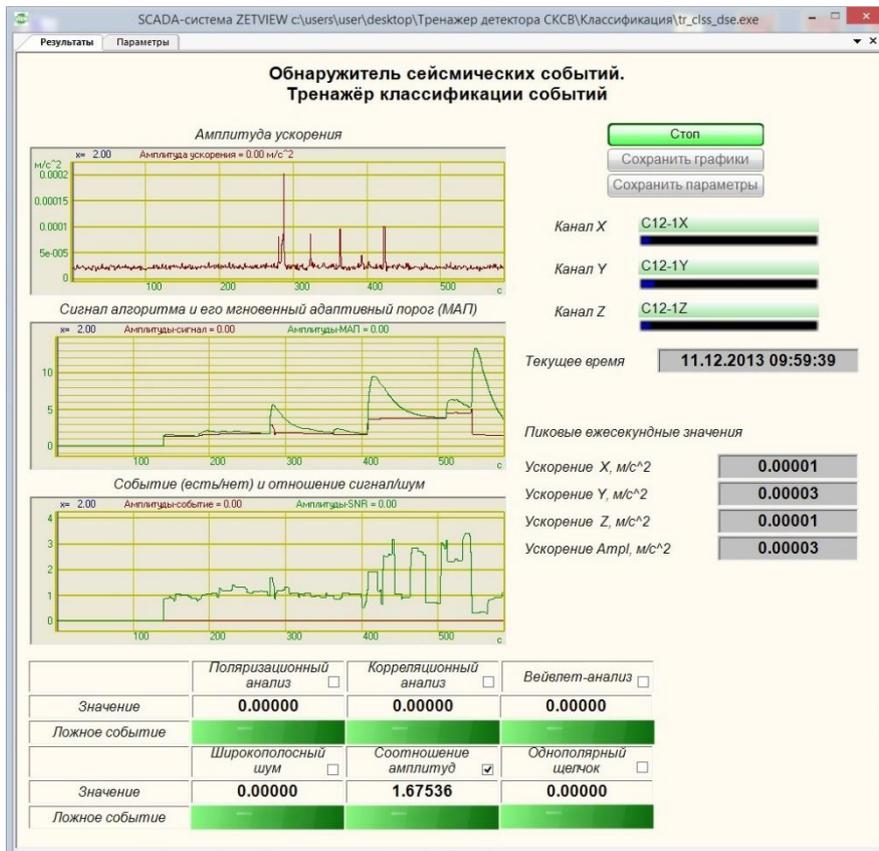


Рисунок Б.33. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

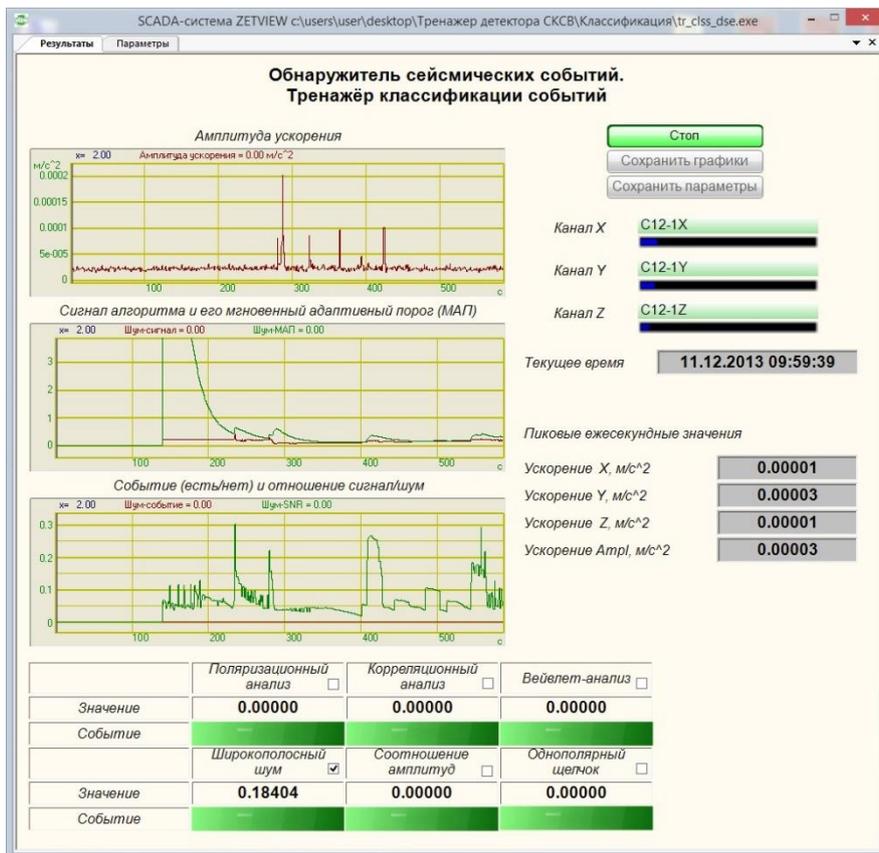


Рисунок Б.34. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

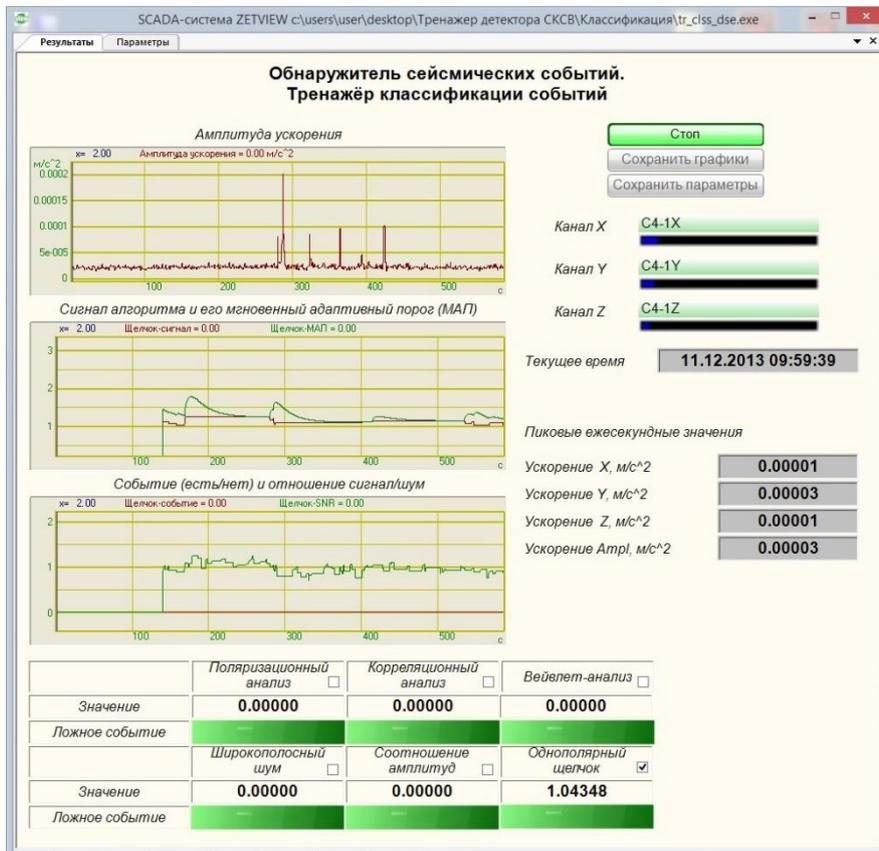


Рисунок Б.35. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что из алгоритмов классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») алгоритмы «Поляризационный анализ» и «Корреляционный анализ» определили в сигнале сейсмическое событие. Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум достаточно невысокое. В данном случае необходимо избавляться от ложного сигнала на этапе детектирования, либо, следует изменить пороги срабатывание алгоритмов классификации

Пример 6.

Ложное событие вида синхронных однополярных щелчков. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.36.

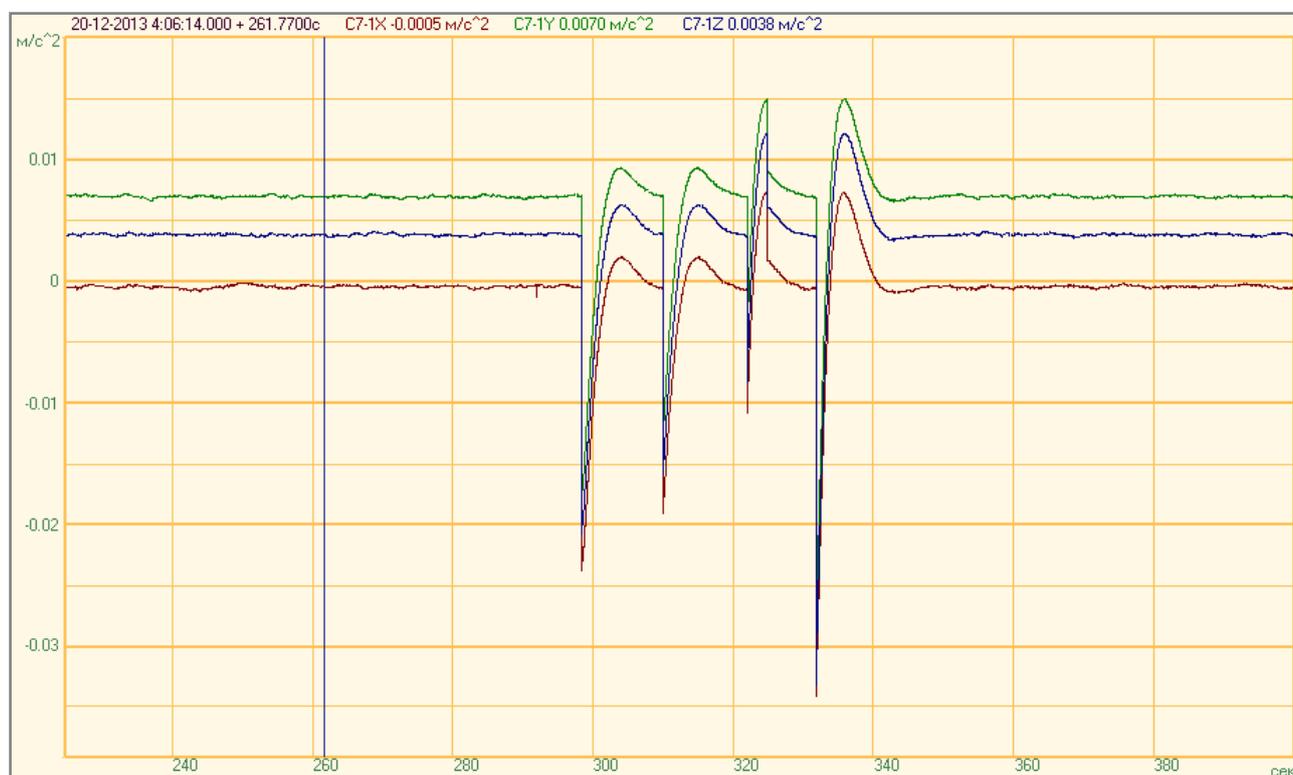


Рисунок Б.36. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.37...Б.42.

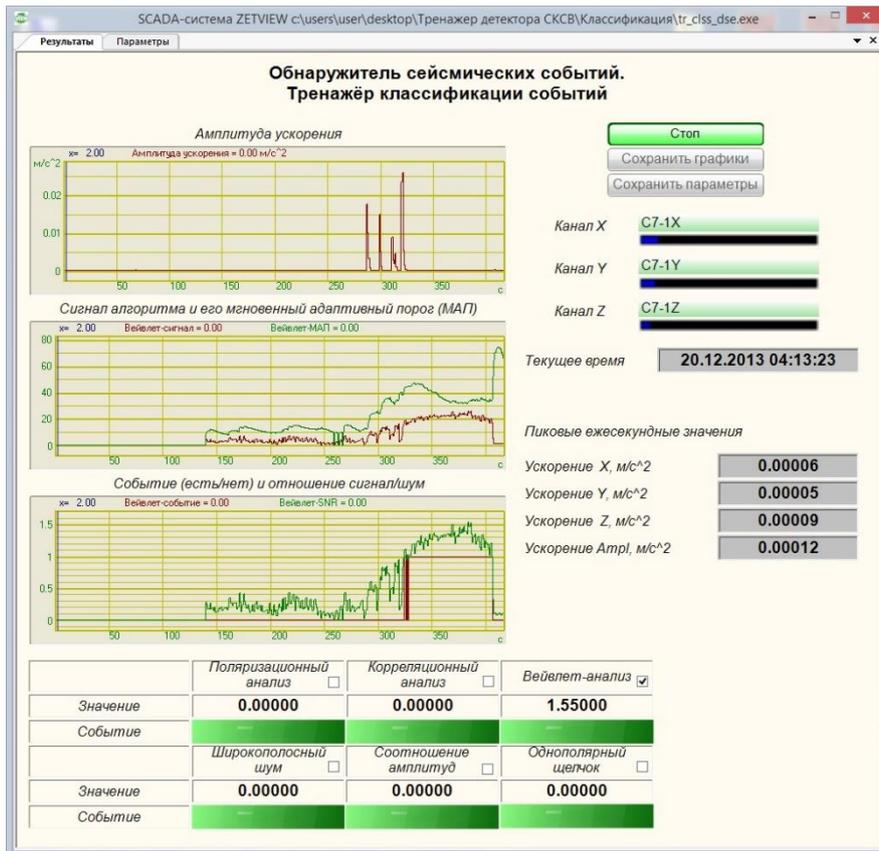


Рисунок Б.37. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

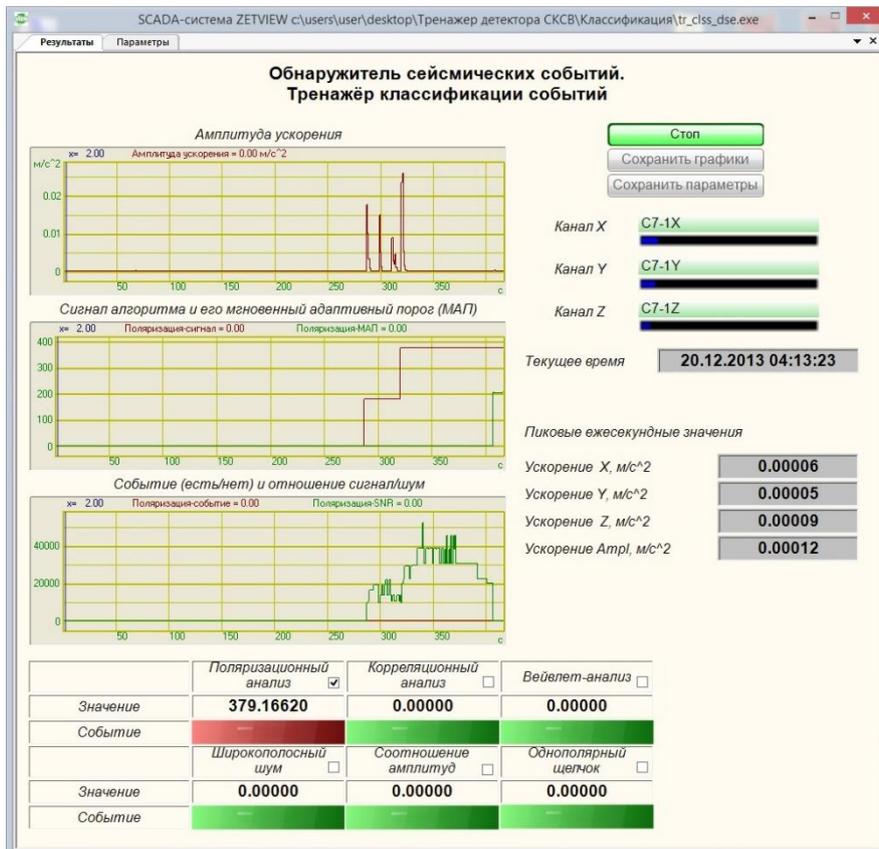


Рисунок Б.38. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

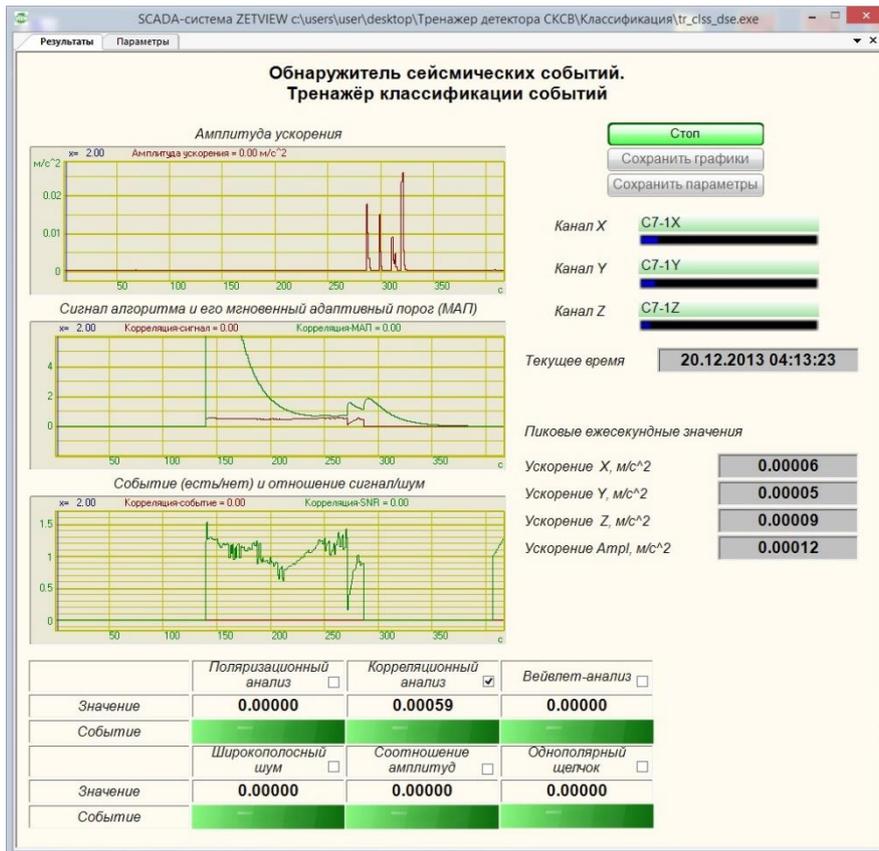


Рисунок Б.39. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

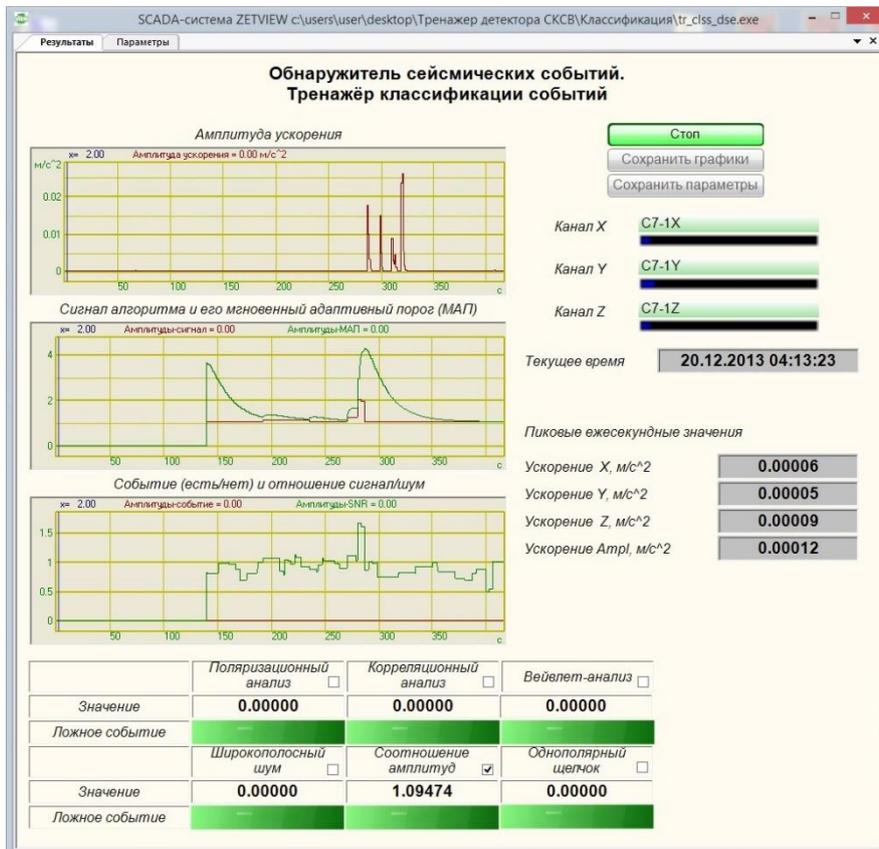


Рисунок Б.40. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

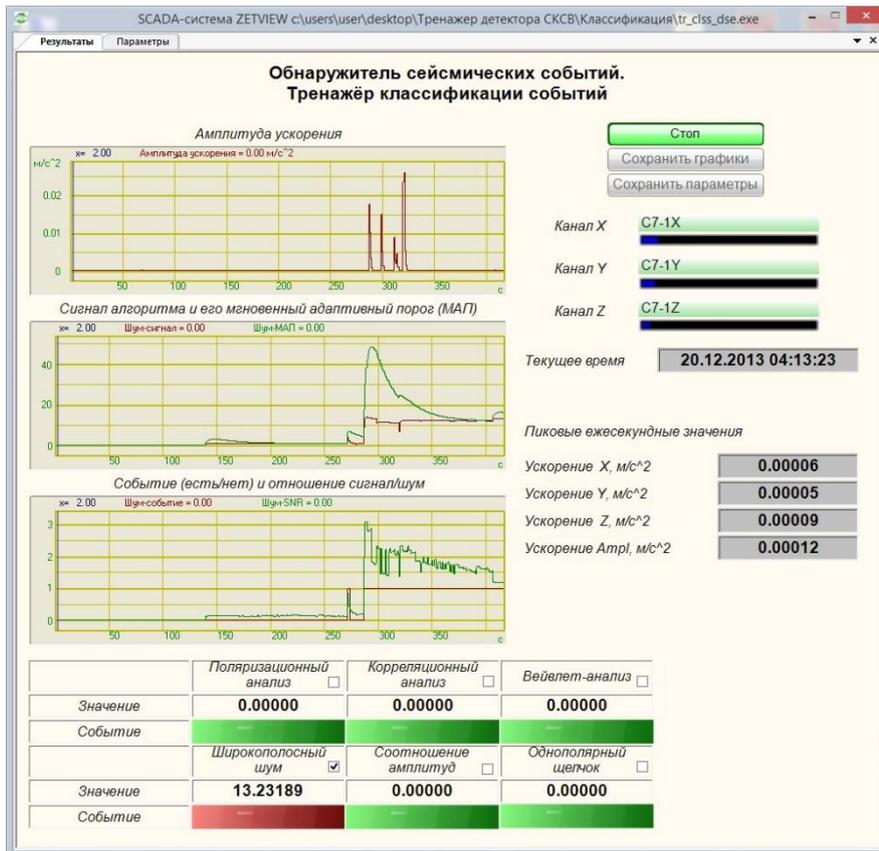


Рисунок Б.41. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

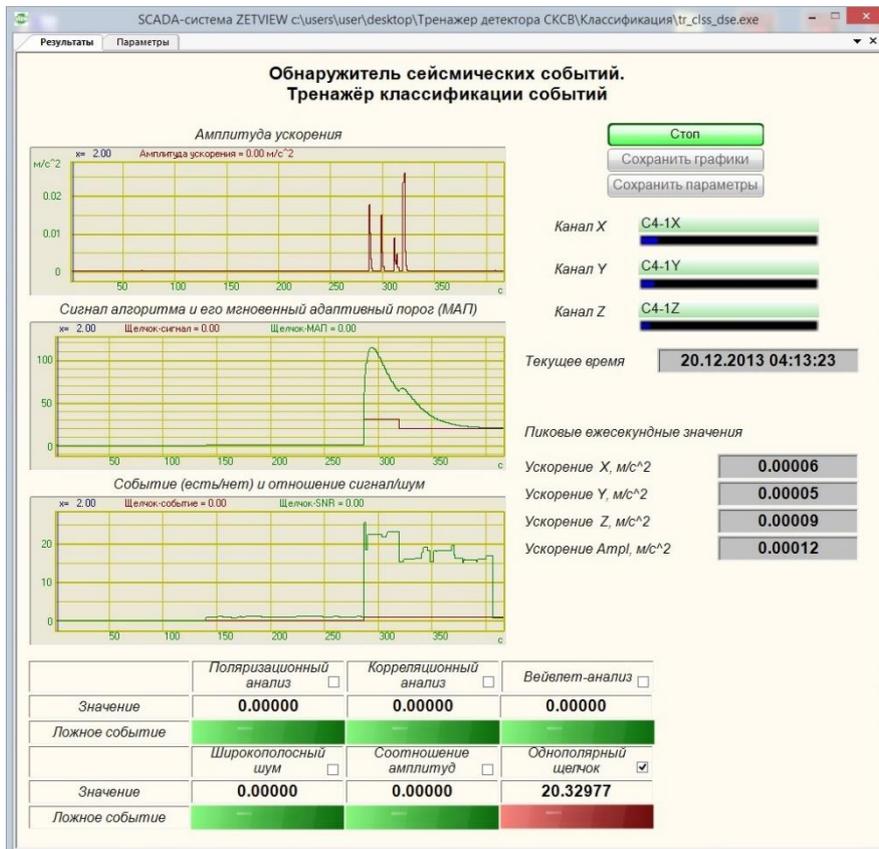


Рисунок Б.42. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что наиболее четко с хорошим соотношением сигнал/шум отработал алгоритм классификации ложных событий «Однополярный щелчок». Также стоит отметить, что алгоритм «Вейвлет-анализ» классифицировал событие как землетрясение, однако видно, что в данном алгоритме следует чуть увеличить порог срабатывания. Кроме того, алгоритм «Корреляционный анализ» квалифицировал событие как несейсмическое с достаточно высокой степенью вероятности.

Пример 7.

Ложное событие вида шум. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.43.

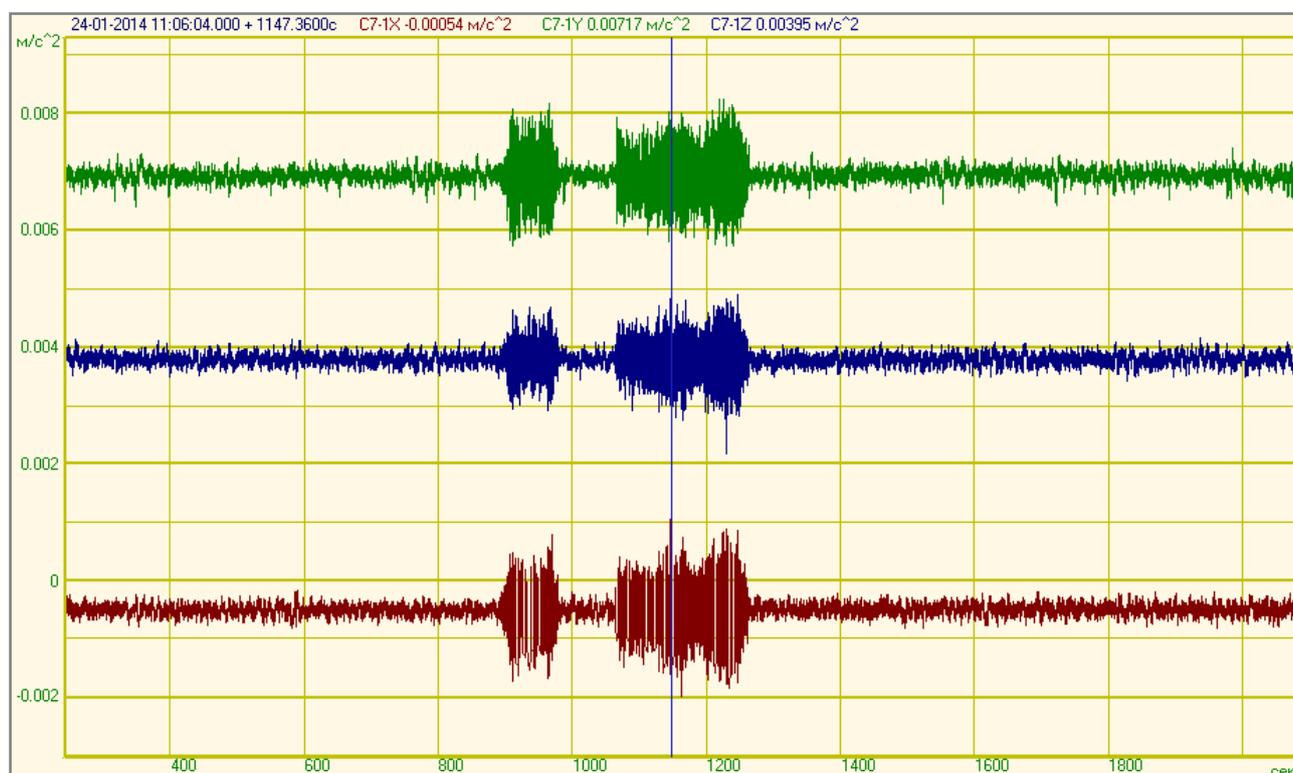


Рисунок Б.43. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.44...Б.49.

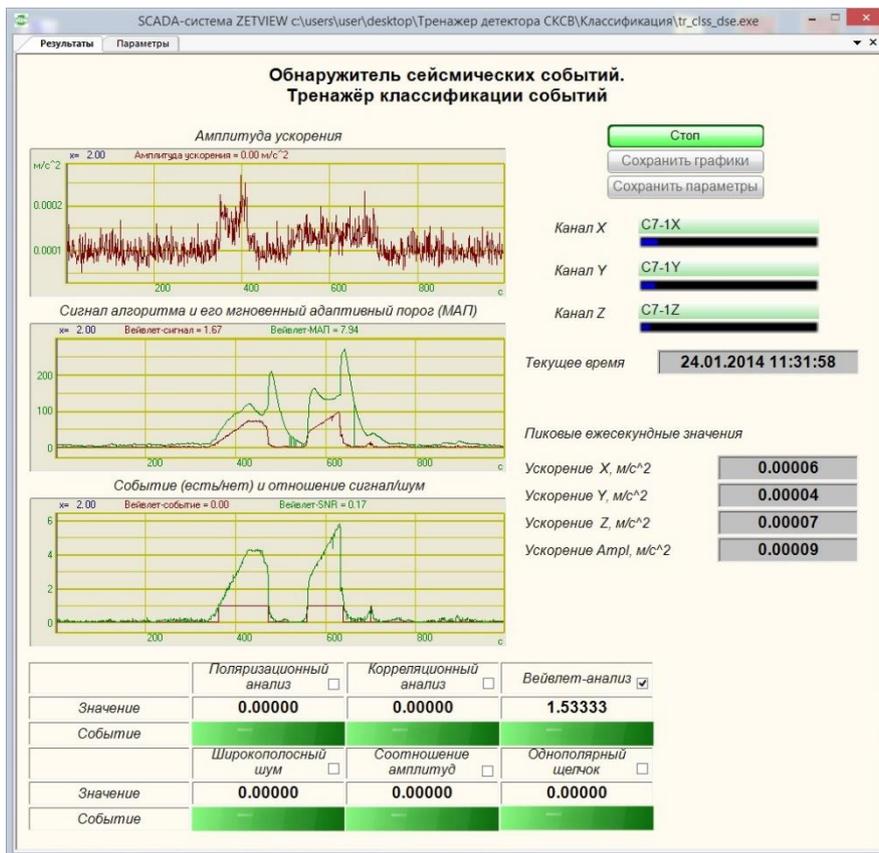


Рисунок Б.44. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

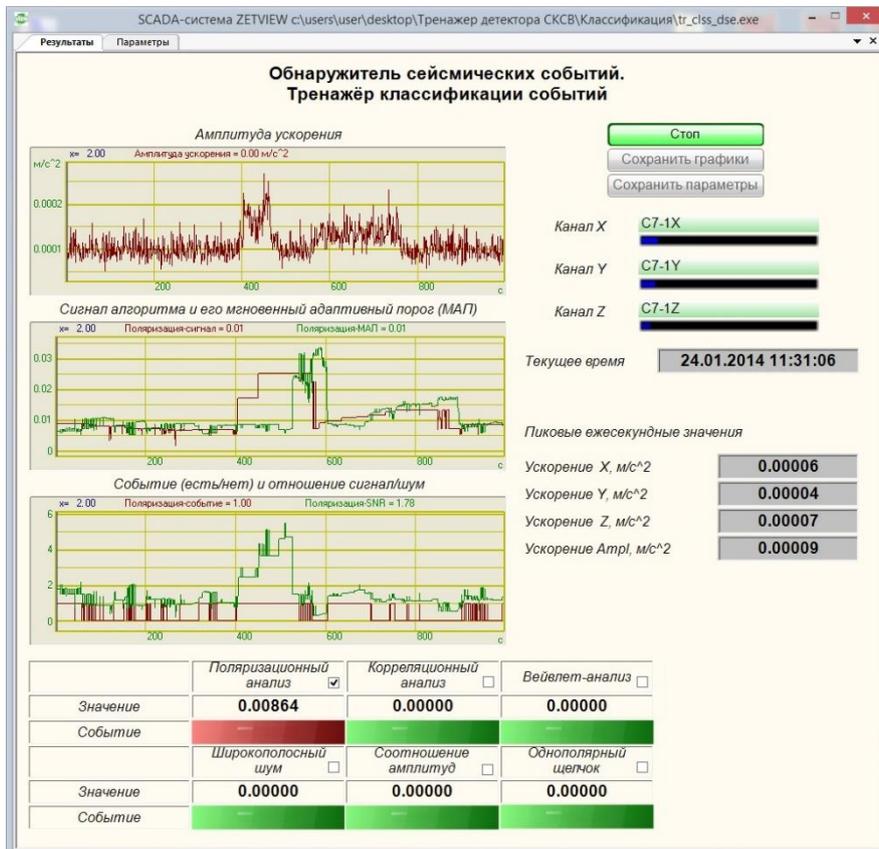


Рисунок Б.45. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

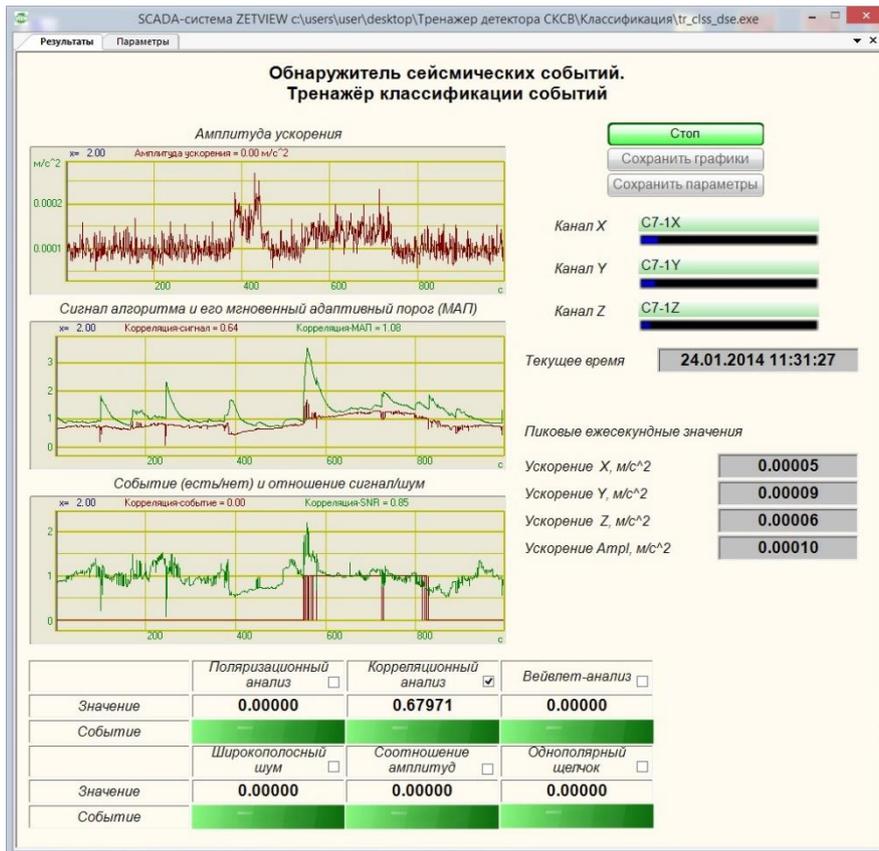


Рисунок Б.46. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

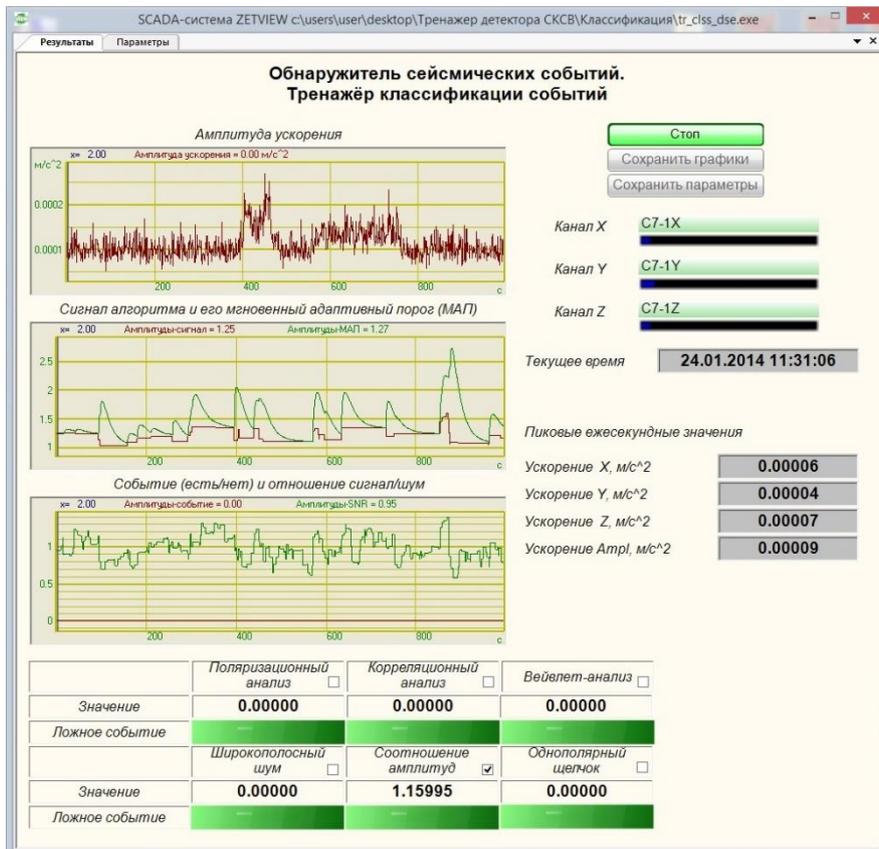


Рисунок Б.47. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

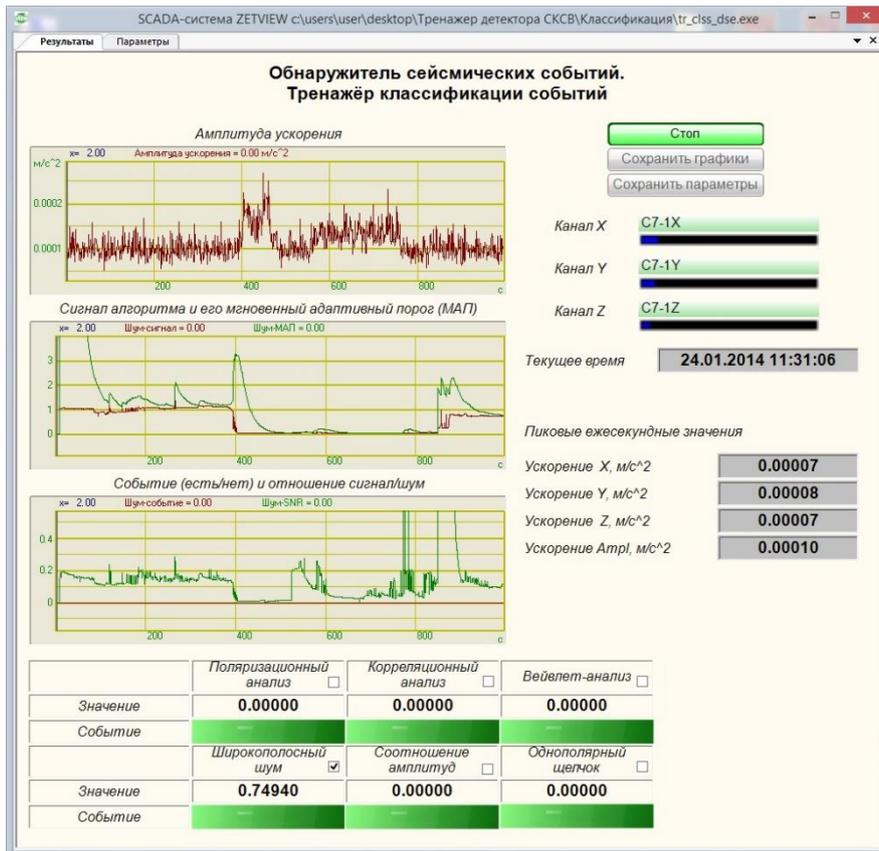


Рисунок Б.48. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

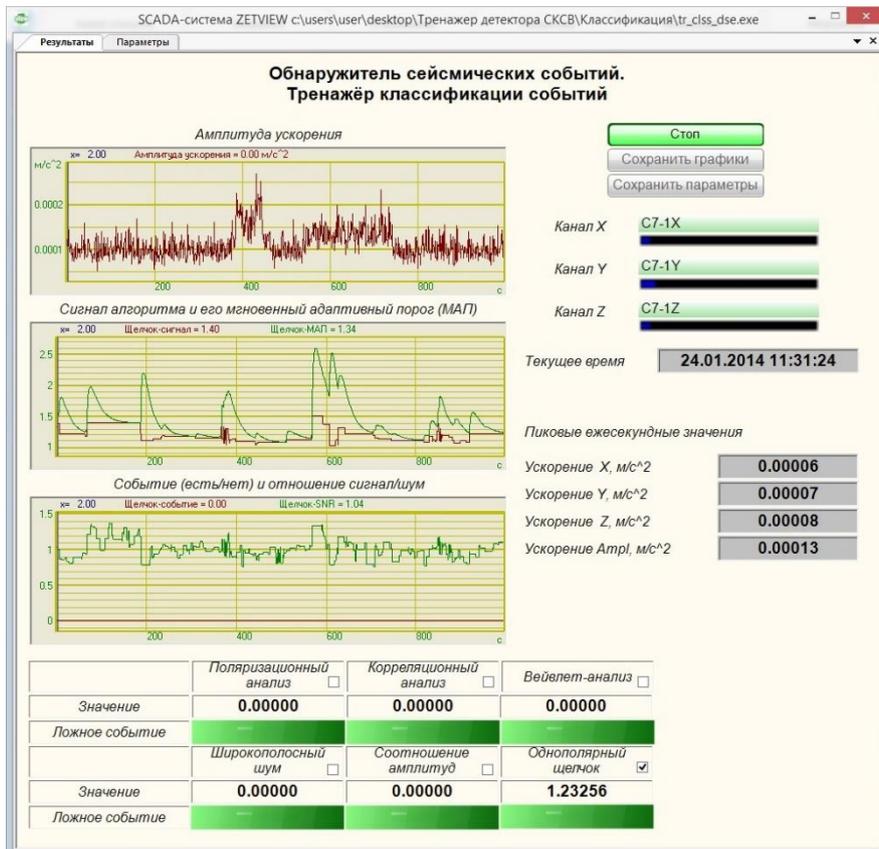


Рисунок Б.49. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что событие сейсмической природы классифицируется алгоритмами как землетрясение, но с малым соотношением сигнал/шум. Для отсеивания событий такой природы необходимо ставить амплитудные детекторы, поскольку событие с небольшой энергетикой, либо отсеивать на уровне детектирования.

Пример 8.

Ложное событие вида синхронных провалов. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.50.

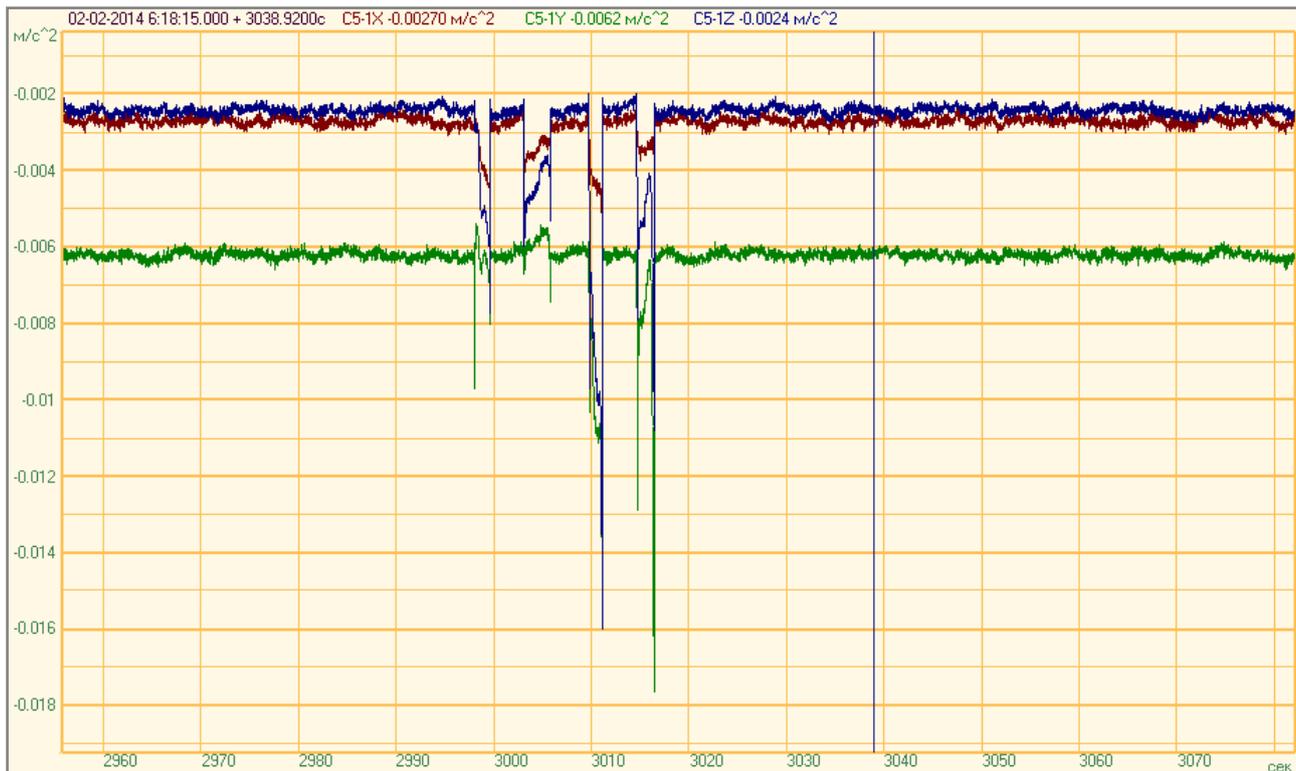


Рисунок Б.50. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.51...Б.56.

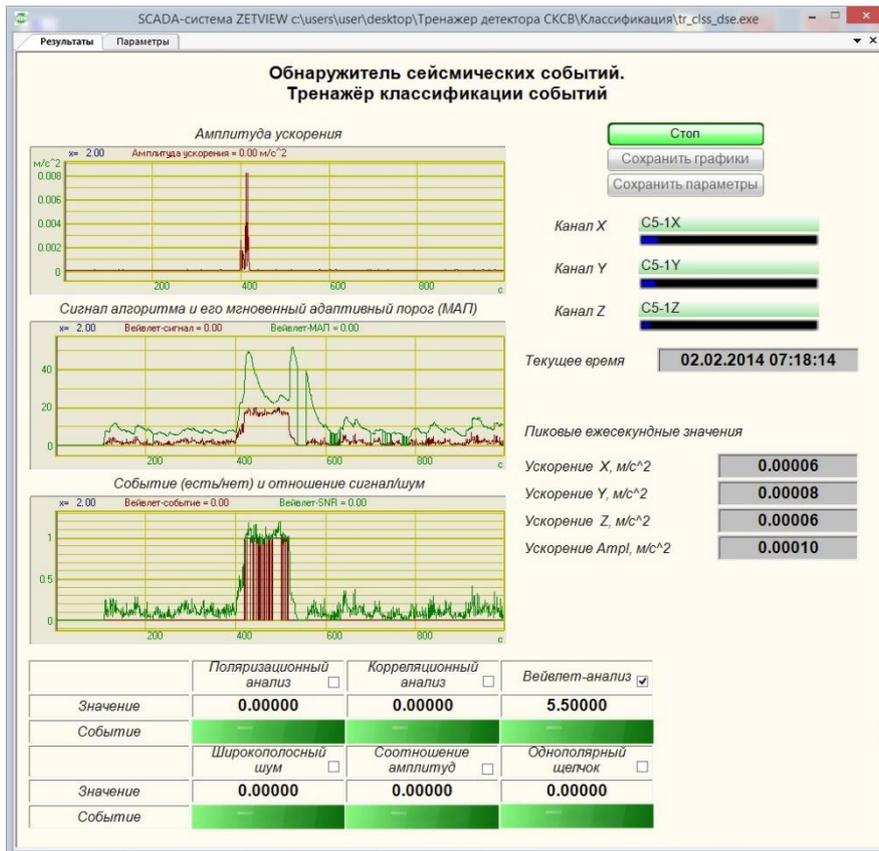


Рисунок Б.51. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

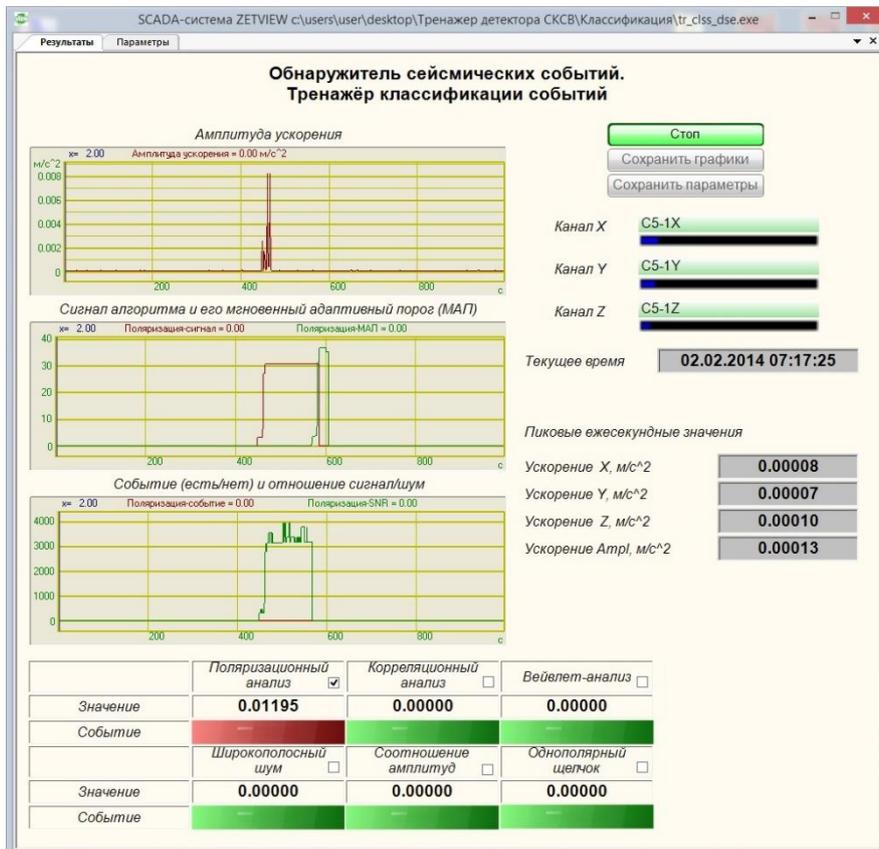


Рисунок Б.52. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

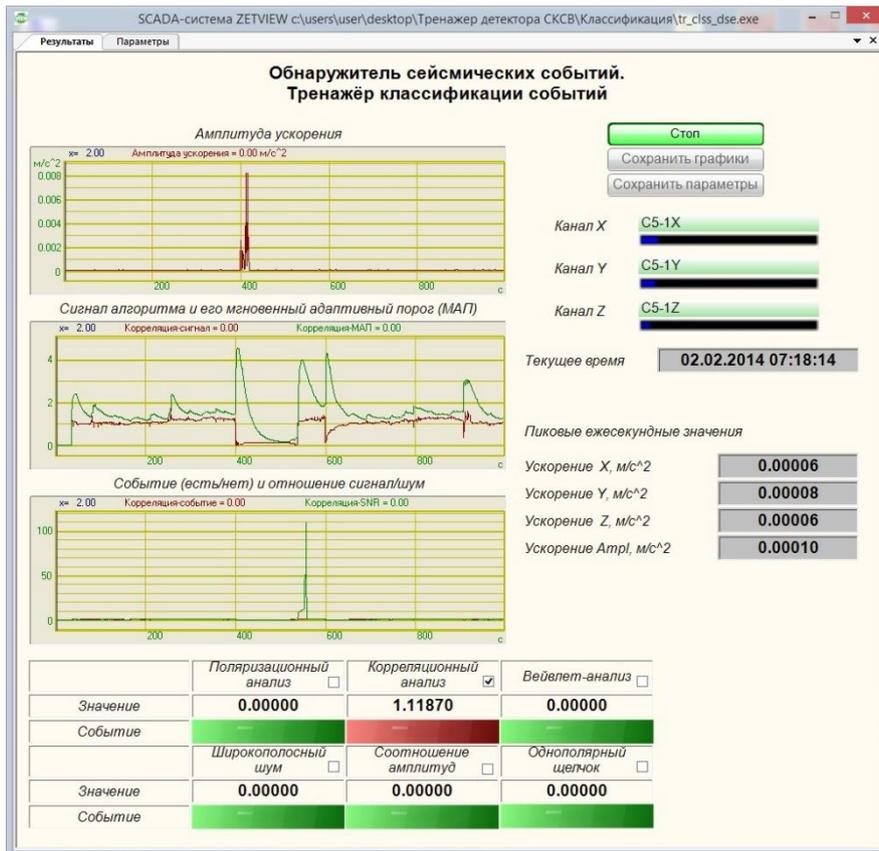


Рисунок Б.53. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

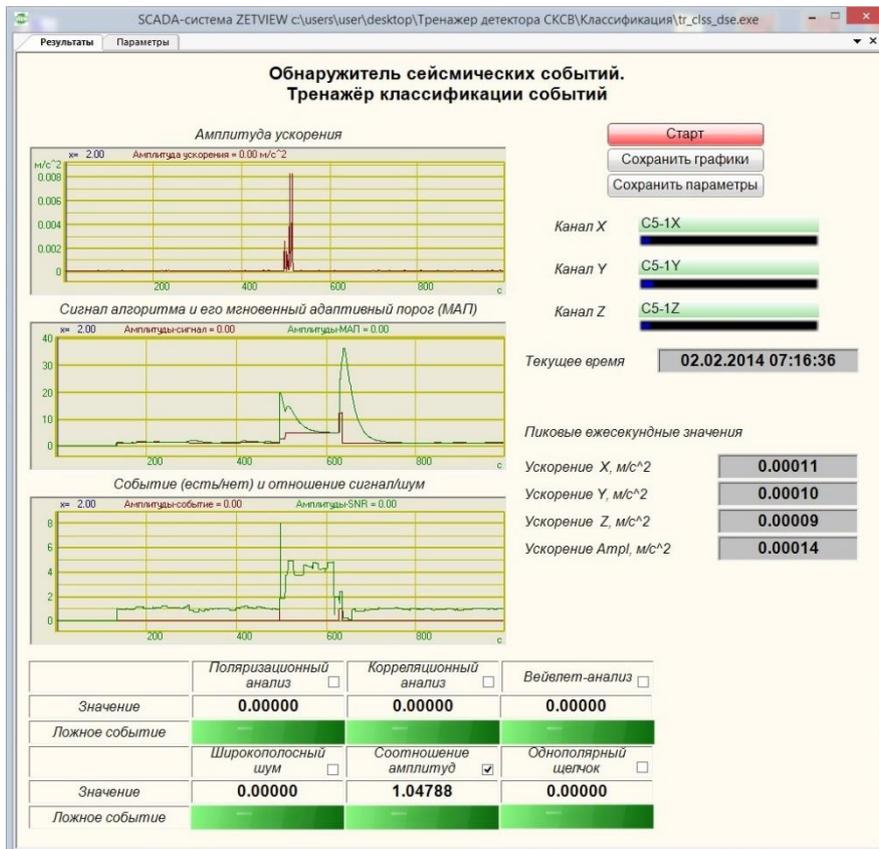


Рисунок Б.54. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

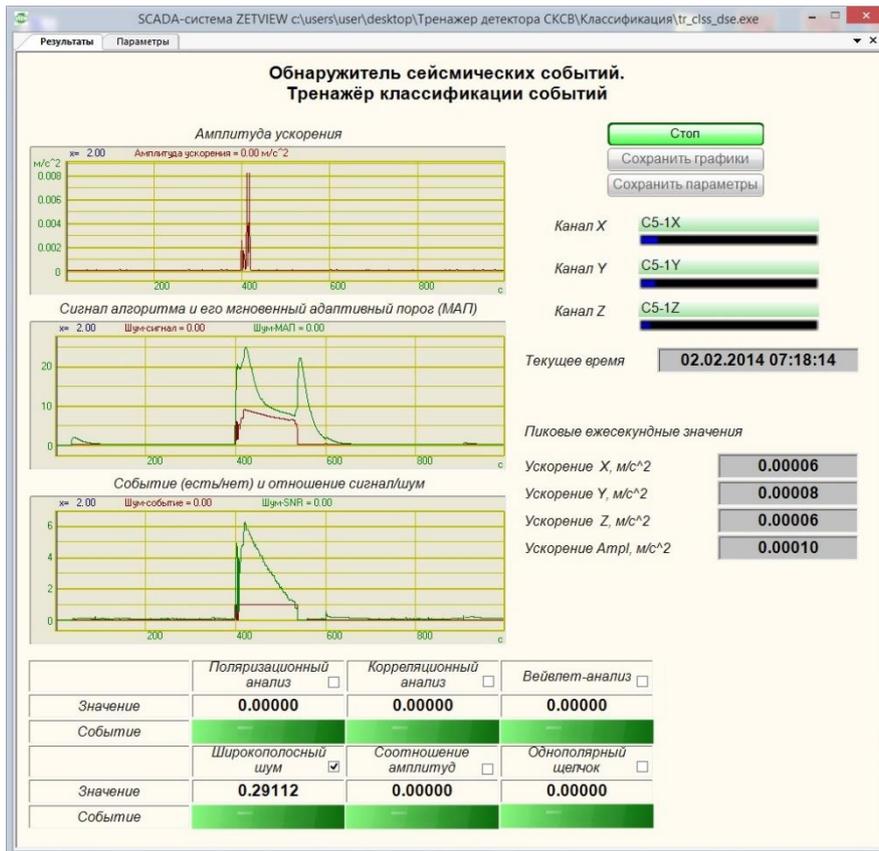


Рисунок Б.55. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

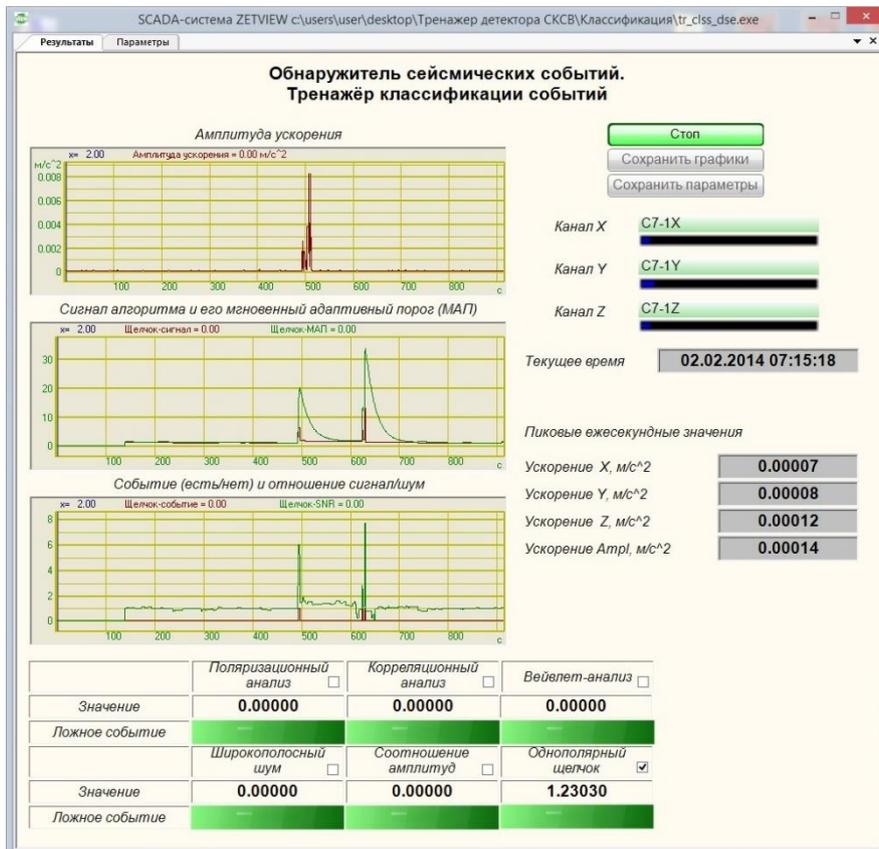


Рисунок Б.56. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что из алгоритмов классификации сейсмических событий («Вейвлет-анализ», «Поляризационный анализ», «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум») алгоритмы «Поляризационный анализ» и «Широкополосный шум» определили в сигнале сейсмическое событие, а алгоритм «Вейвлет-анализ» отработал на грани. Алгоритмы классификации ложных событий («Соотношение амплитуд» и «Однополярный щелчок») ложного события не выявили, при этом соотношение сигнал/шум достаточно невысокое. В данном случае необходимо избавляться от ложного сигнала на этапе детектирования, а также следует изменить пороги срабатывания алгоритмов классификации.

Пример 9.

Ложное событие вида широкополосный шум. Акселерограммы трехкомпонентного сигнала представлены на рисунке Б.57.

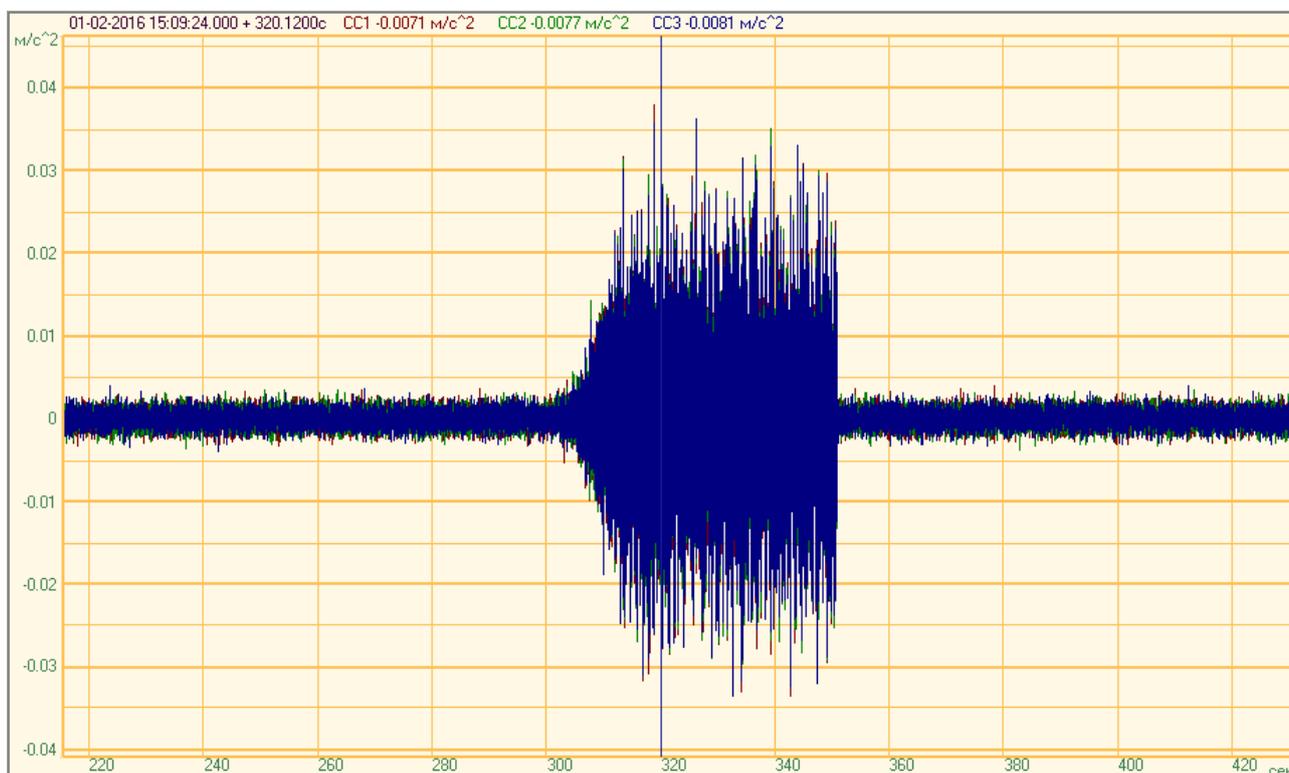


Рисунок Б.57. – Акселерограммы сигналов

Результаты обработки представлены на рисунках Б.58...Б.63

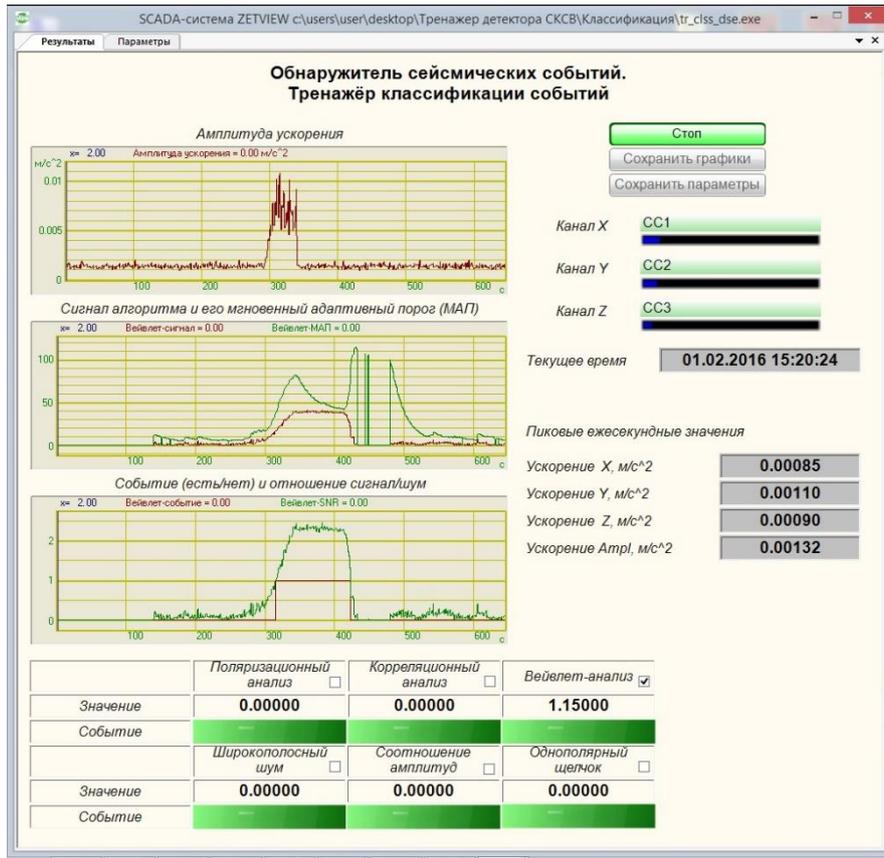


Рисунок Б.58. – Результат работы алгоритма классификации «Вейвлет-анализ»

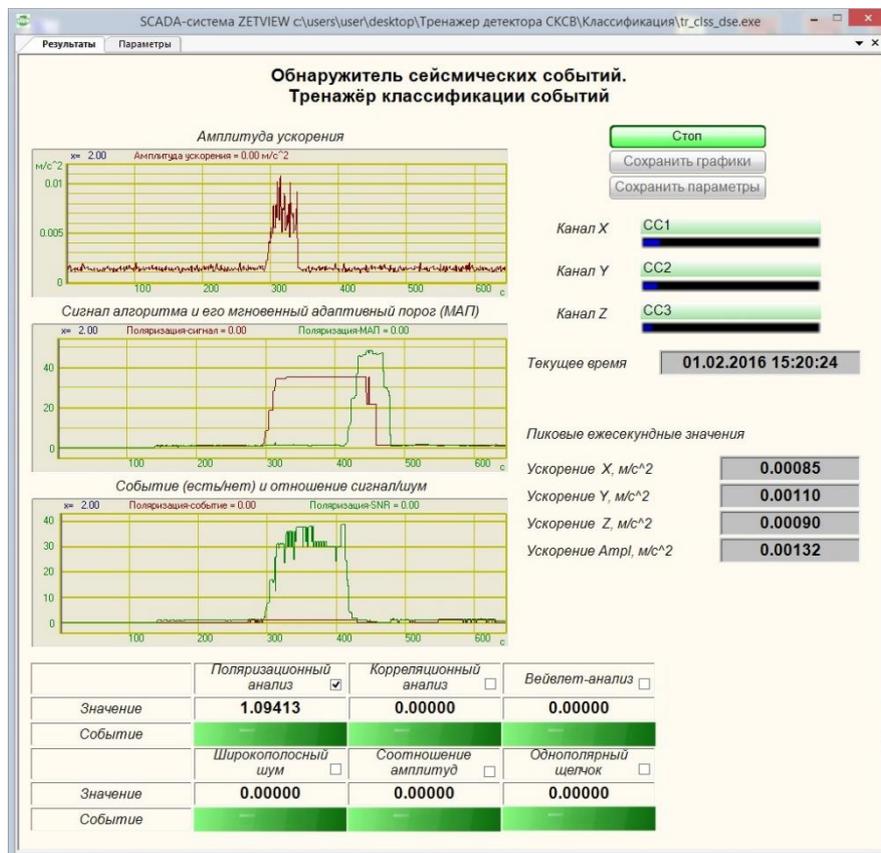


Рисунок Б.59. – Результат работы алгоритма классификации «Поляризационный анализ»

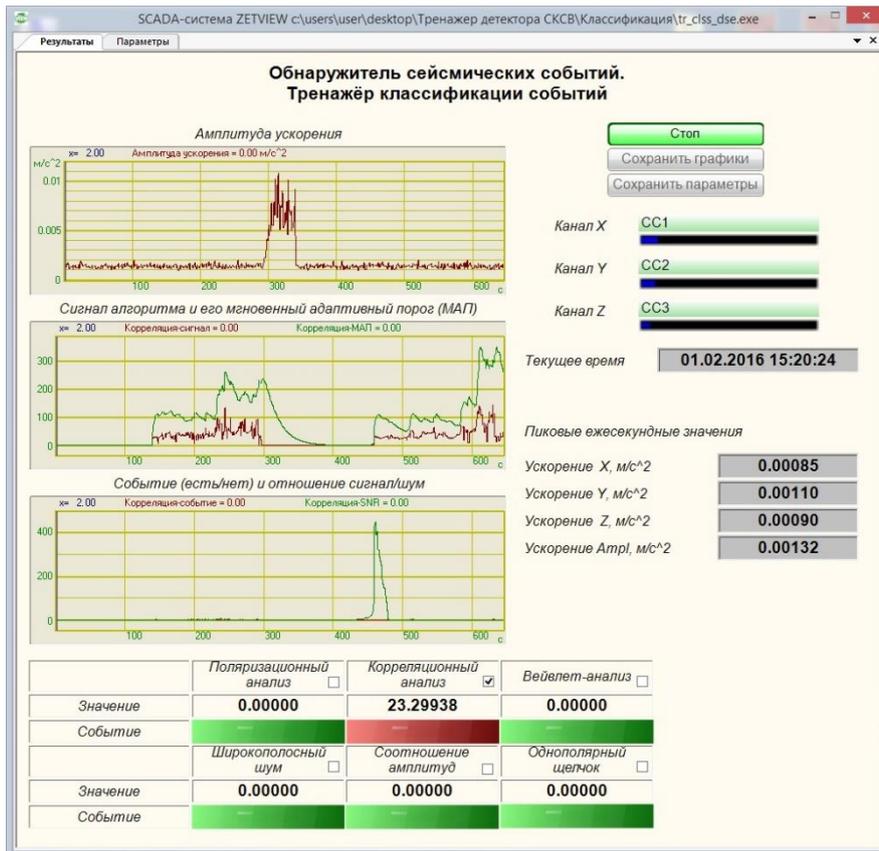


Рисунок Б.60. – Результат работы алгоритма классификации «Корреляционный анализ»

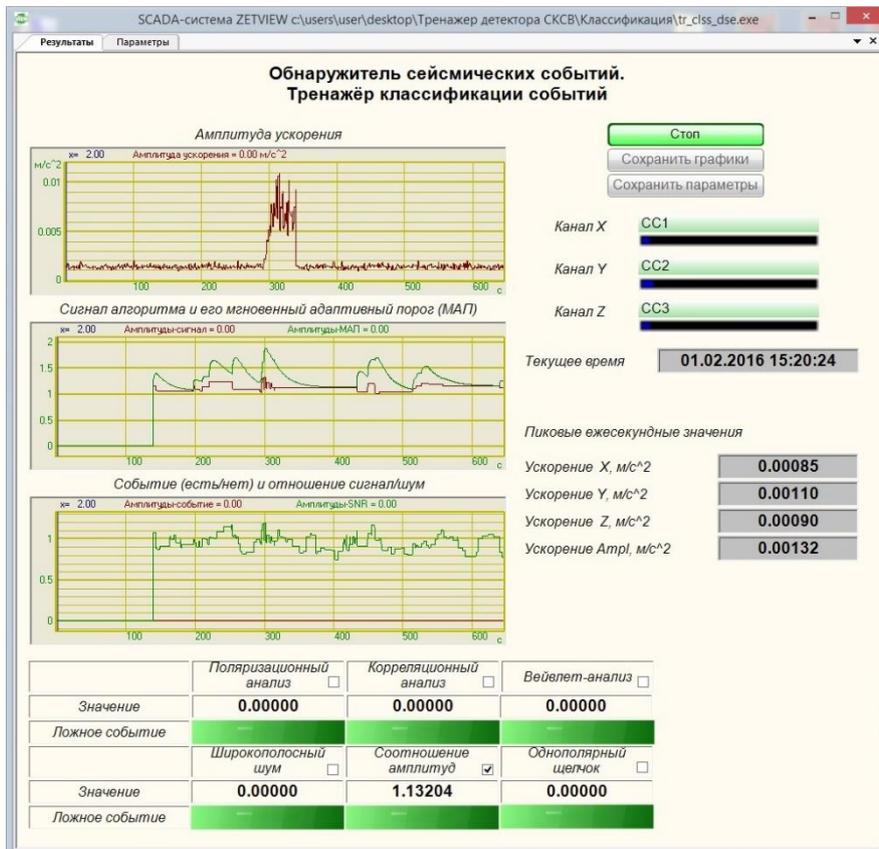


Рисунок Б.61. – Результат работы алгоритма классификации «Соотношение амплитуд»

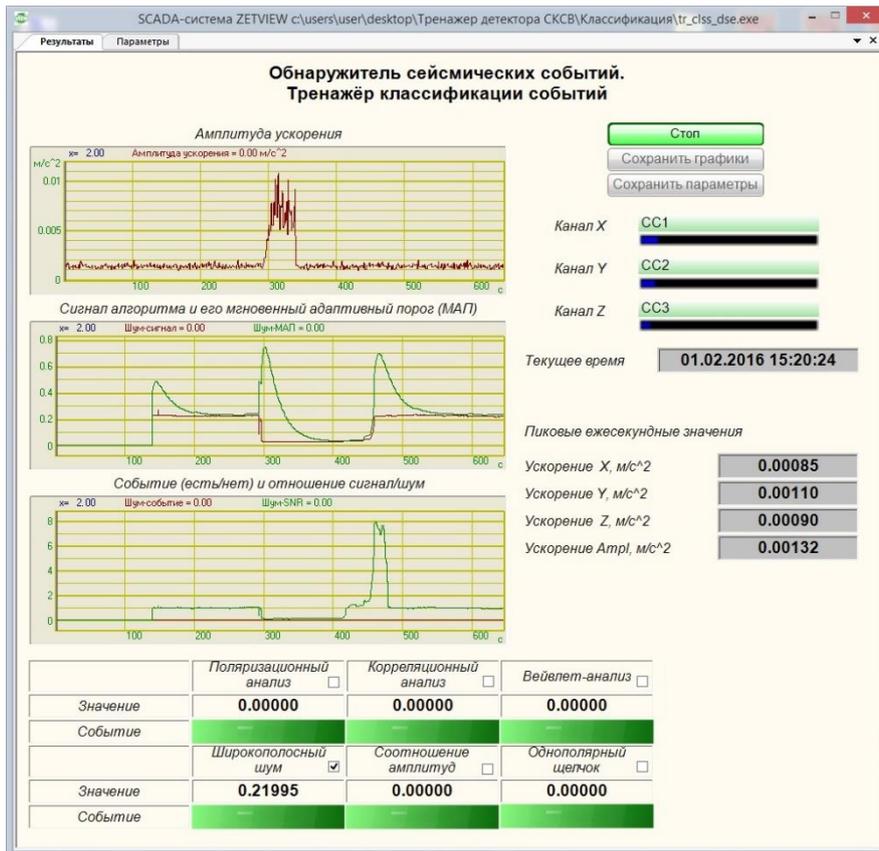


Рисунок Б.62. – Результат работы алгоритма классификации «Широкополосный шум»

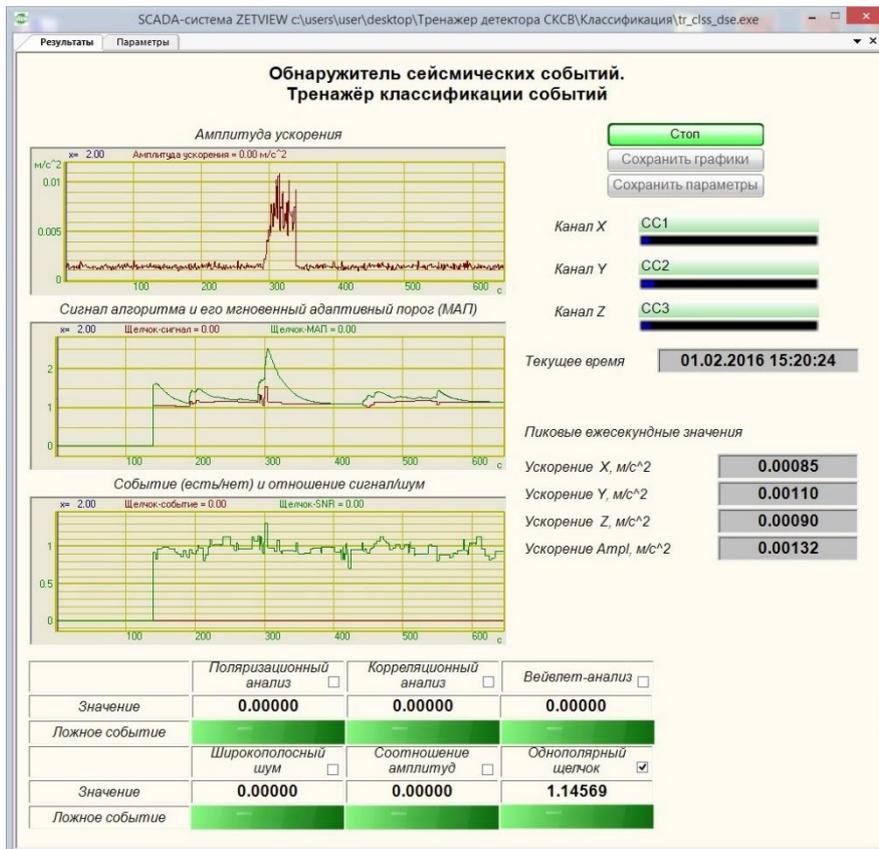


Рисунок Б.63. – Результат работы алгоритма классификации «Однополярный щелчок»

По рисункам видно, что событие сейсмической природы классифицируется практически всеми алгоритмами как землетрясение, при этом алгоритмы классификации «Корреляционный анализ» и «Широкополосный шум» классифицируют событие как несейсмическое. В данном случае необходимо более точно подобрать частотный диапазон полезного сигнала.