



Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа программной инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Разработка алгоритма детектирования и распознавания объектов на основе данных шумометрии

по направлению 02.03.02 - Фундаментальная информатика и информационные технологии
по образовательной программе 02.03.02_02 - Информатика и компьютерные науки

Студент
Гр. 5130202/10201

Хакимуллина А.М.

Руководитель
Старший преподаватель

Прокофьев О. В.

Актуальность работы

Работа относится к задачам обработки акустических сигналов, поступающих от шумомеров, опускаемых в скважину. По измерениям строится спектральная панель, отражающая распределение шума по глубине и частоте. Эти данные важны для диагностики состояния скважины и дальнейших исследований.

Автоматизация обработки шумометрических данных необходима из-за большого объёма измерений, собираемых в реальных условиях. Разработка алгоритма автоматического детектирования и распознавания объектов с последующей генерацией отчётов позволяет ускорить анализ, снизить нагрузку на специалистов и повысить точность. Визуальный интерфейс делает работу с системой доступной и удобной для инженеров.

Анализ предметной области

Существующие методы обработки детектирования объектов в целом не демонстрируют высокой эффективности при работе с шумометрическими данными, поскольку объекты на таких панелях, как правило, не имеют чётких границ, часто вытянуты по частотной оси, обладают нестабильным уровнем фона и лишены ярко выраженных центров.

В предложенном алгоритме были адаптированы и переосмыслены отдельные подходы, использовавшиеся в других задачах обработки изображений, включая:

- медианную и гауссову фильтрацию,
- пороговую бинаризацию,
- морфологические операции,
- адаптивный подбор параметров в зависимости от структуры сигнала.

Дополнительно был реализован анализ производной частотного профиля контуров. Метод опирается на идею, аналогичную применению оператора Собеля для выделения резких переходов.

Цель и задачи

Цель — автоматизация процесса анализа данных шумометрии для уменьшения трудоемкости и повышения точности результатов.

Задачи, которые решались в ходе исследования:

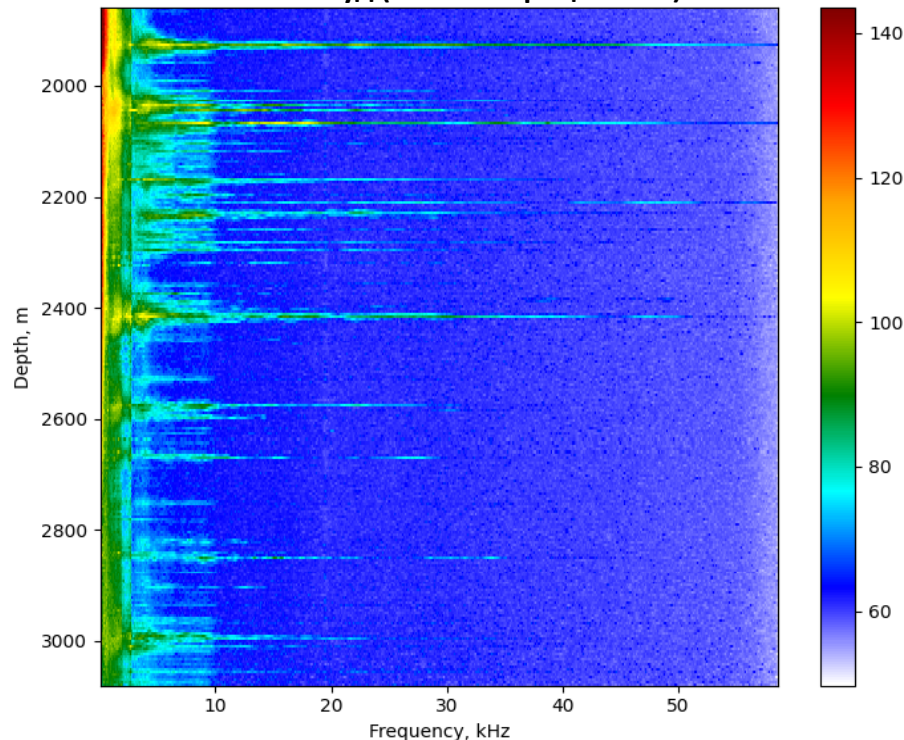
1. Анализ существующих методов детектирования объектов.
2. Разработка и реализация алгоритма детектирования и распознавания объектов по данным шумометрии.
3. Разработка графического интерфейса для визуализации и экспертной корректировки результатов.
4. Апробация программного комплекса на реальных данных.

Описание алгоритма

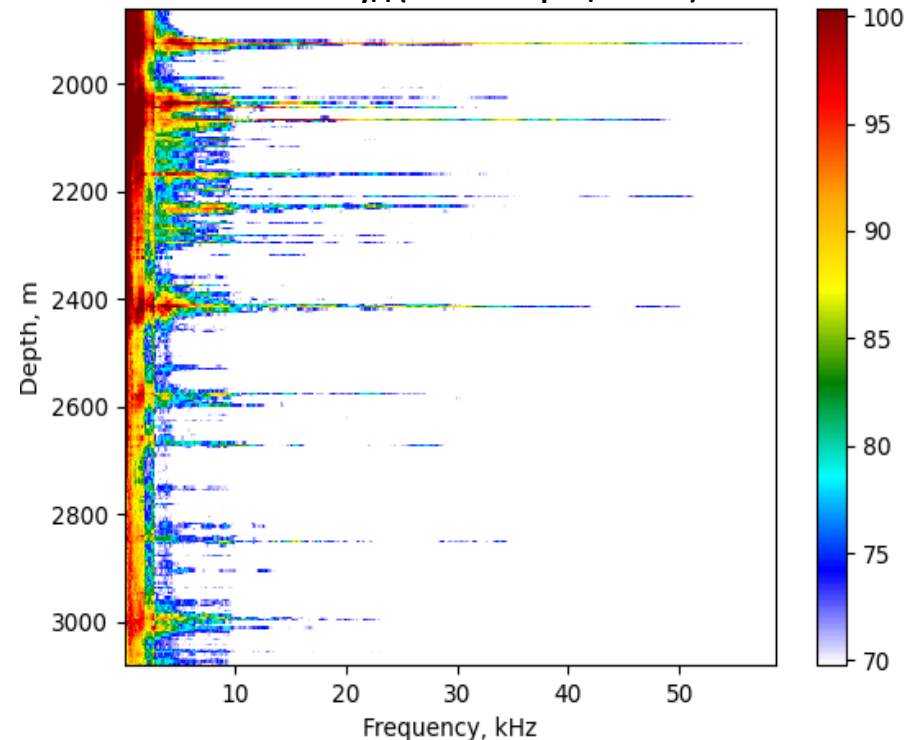
Этап 1. Инициализация параметров

Из входного LAS-файла с шумометрическими данными извлекаются глубинные координаты, значения амплитуд и тип канала (LF или HF). Параметры фильтрации инициализируются на основе характеристик входного сигнала и доступны на всех этапах обработки.

Спектральная панель в полном диапазоне амплитуд (0–100-й процентиль)



Спектральная панель в информативном диапазоне амплитуд (85–99-й процентиль)



Для визуализации используется диапазон амплитуд от 85-го до 99-го процентиля.

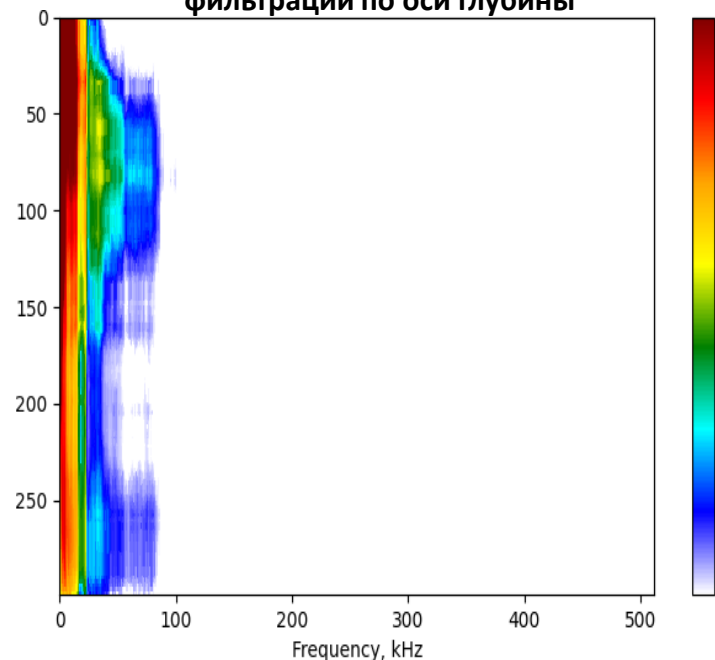
Описание алгоритма

Этап 2. Предварительная обработка данных

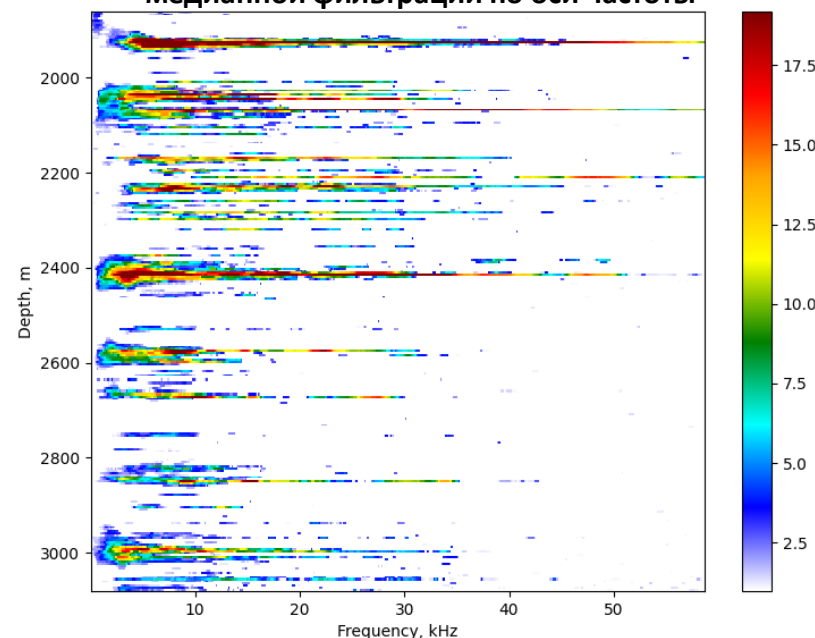
Исходная спектральная панель дополняется сверху и снизу отзеркаленными строками и сглаживается медианным фильтром по глубине. Это позволяет подавить высокочастотные шумы и подготовить данные к удалению фоновой составляющей.

Затем полученный сглаженный сигнал вычитается из исходных данных и сглаживается медианным фильтром по оси частоты. Ранее добавленные строки удаляются. Дополнительно производится сглаживание с использованием фильтра Гаусса.

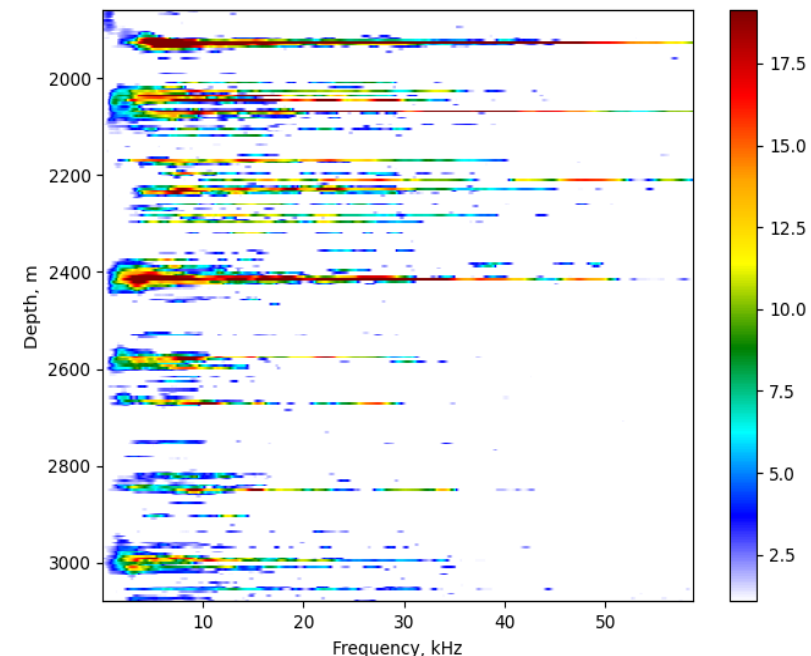
Спектральная панель после медианной фильтрации по оси глубины



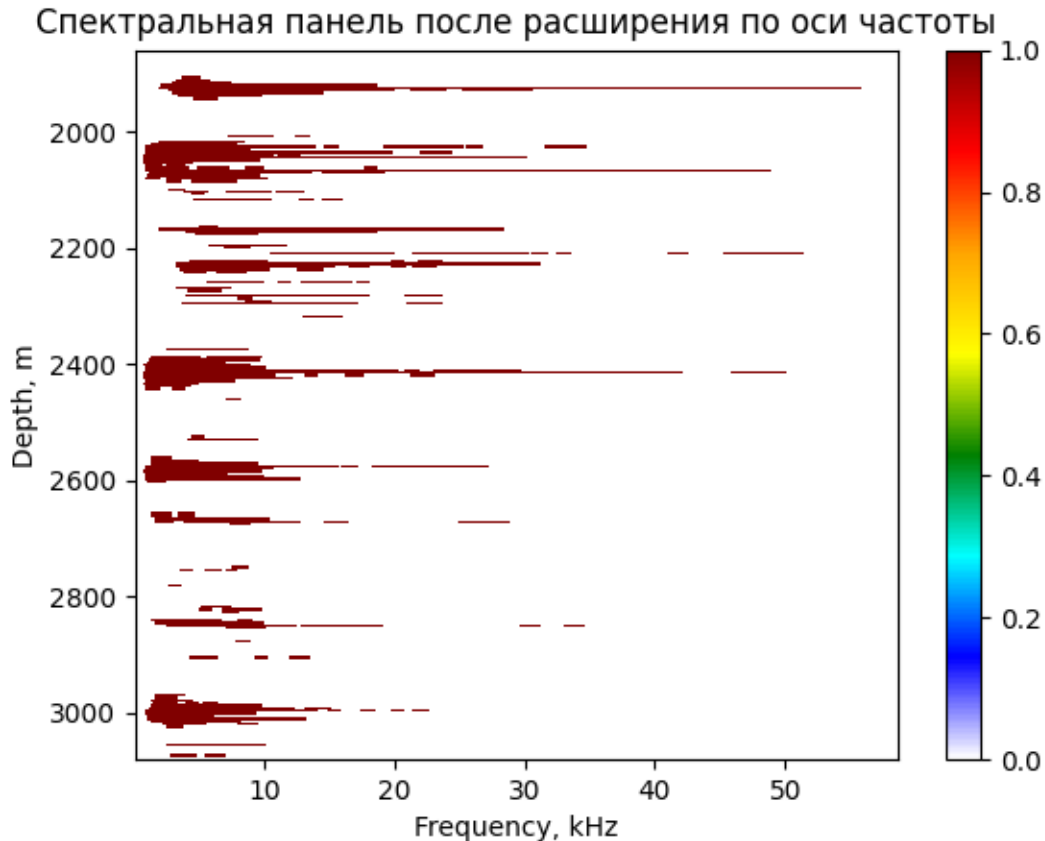
Спектральная панель после вычитания и медианной фильтрации по оси частоты



Спектральная панель после гауссова сглаживания



Описание алгоритма



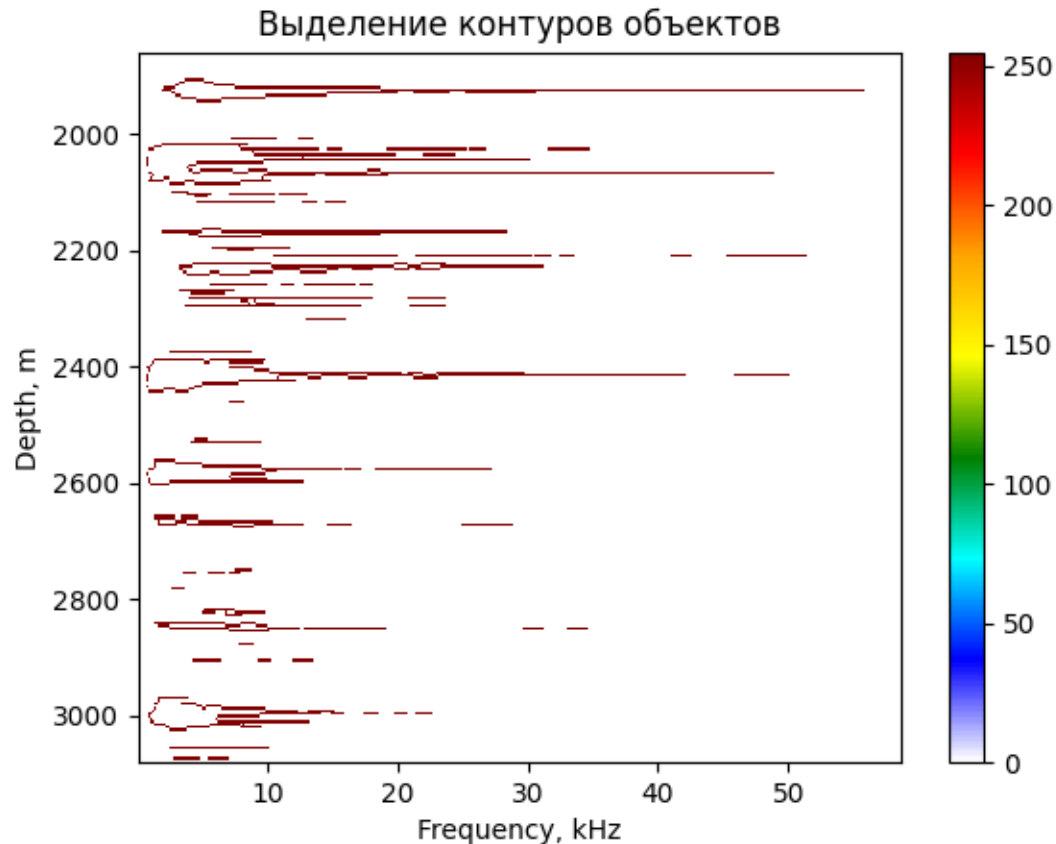
Этап 2. Предварительная обработка данных

Бинаризация осуществляется с адаптивным порогом: на основе исходных данных обнуляются те элементы, амплитуда которых в исходной панели ниже 86-го процентиля. Также обнуляются элементы, амплитуда которых меньше 4.

Затем применяются морфологические операции: эрозия устраняет малые шумы, дилатация по оси частоты помогает объединить фрагменты одного объекта.

На выходе формируется бинарная маска, готовая к извлечению контуров.

Описание алгоритма



Этап 3. Выделение контуров и формирование объектов

Из бинаризованного спектрального изображения извлекаются замкнутые области — контуры потенциальных объектов, с помощью функции `cv2.findContours`.

Анализ частотного профиля каждого контура: извлекаются локальные максимумы и минимумы, позволяющие сегментировать сложные объекты.

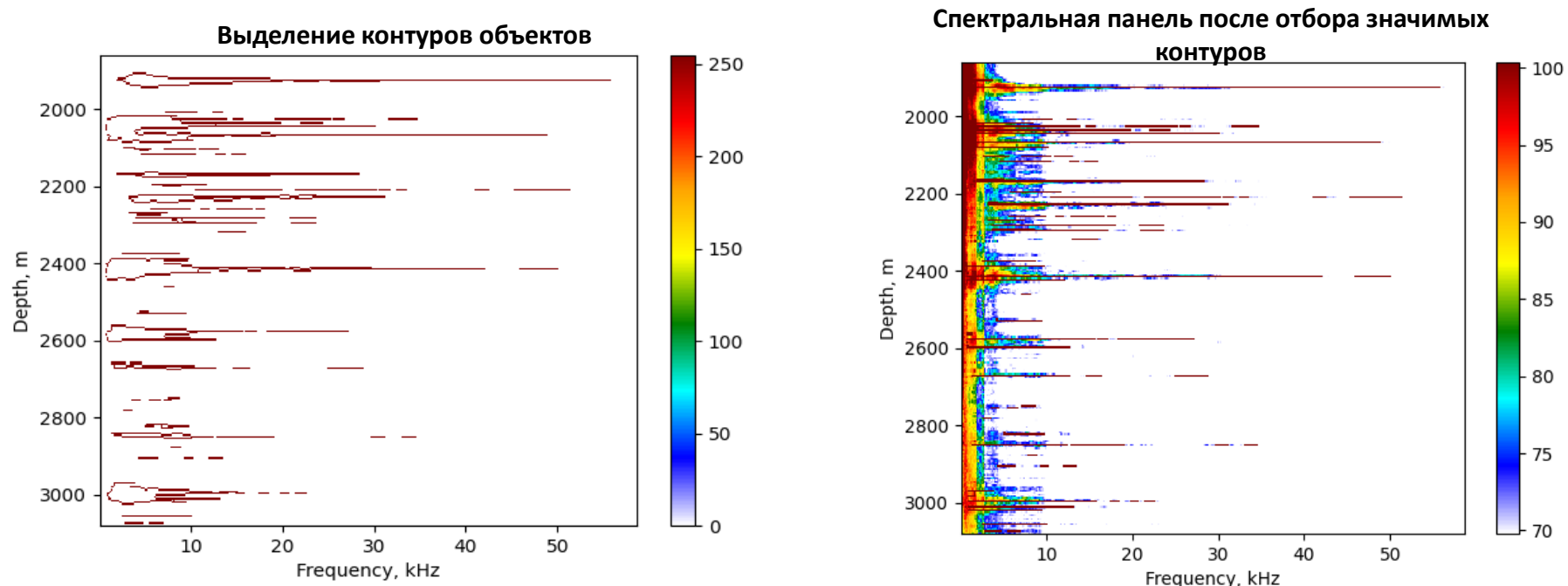
Анализируются участки с нулевой производной — так называемые плато, фиксирующие стабильную частотную характеристику объекта.

Описание алгоритма

Этап 3. Выделение контуров и формирование объектов

Определяется изолированность каждого пика: если расстояние до одного из соседних минимумов оказывается меньше $\frac{1}{4}$ частотной координаты пика, такой пик считается частью более сложной структуры и объединяется с соседними пиками в группу. В противном случае пик считается изолированным и выделяется как отдельный объект.

Каждому отобранному участку сопоставляется ограничивающий прямоугольник, фиксирующий координаты объекта в пространстве "частота – глубина".



Описание алгоритма

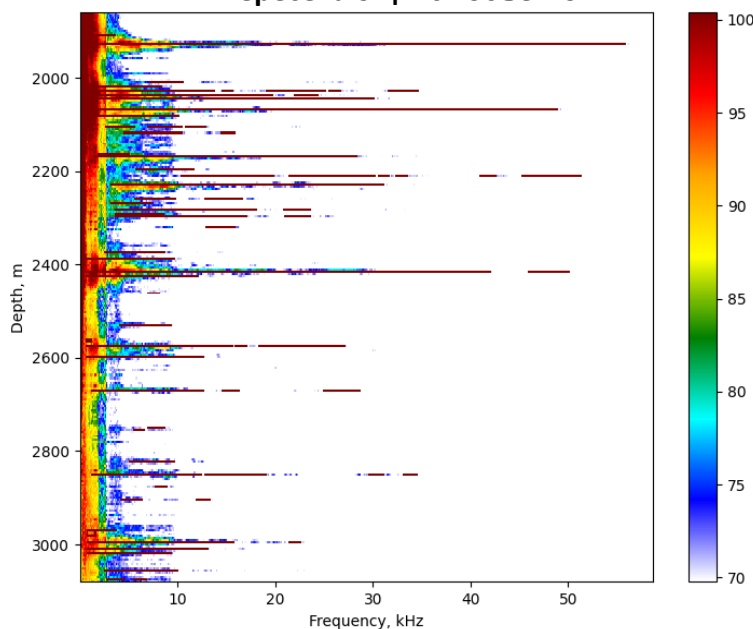
Этап 4. Агрегация объектов на основе анализа структуры и фильтрация

Удаляются объекты с малой площадью или низкой средней амплитудой сигнала, используются пороги 10 пикселей и 40-ой перцентиль соответственно.

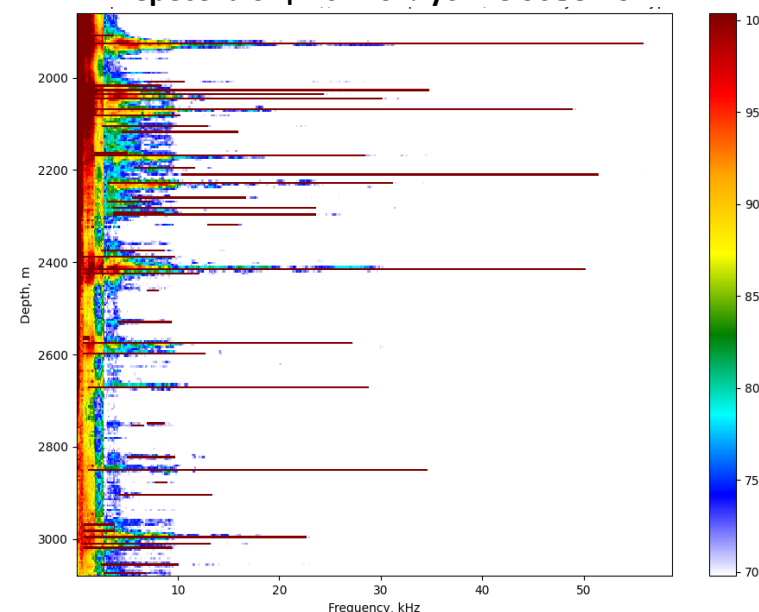
Исключаются пересекающиеся объекты: если два прямоугольника накладываются друг на друга по обеим координатам — частоте и глубине — прямоугольник с меньшей площадью удаляется.

При обнаружении взаимных пересечений по глубине реализуется объединение таких фрагментов в единый объект, охватывающий все входящие участки.

Спектральная панель после удаления
пересекающихся объектов



Спектральная панель после объединения
пересекающихся по глубине объектов



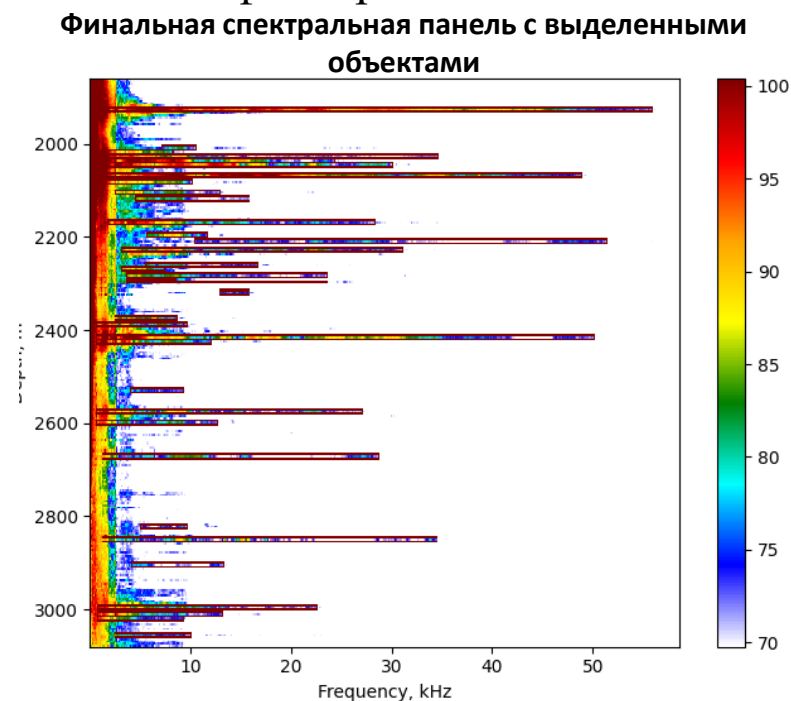
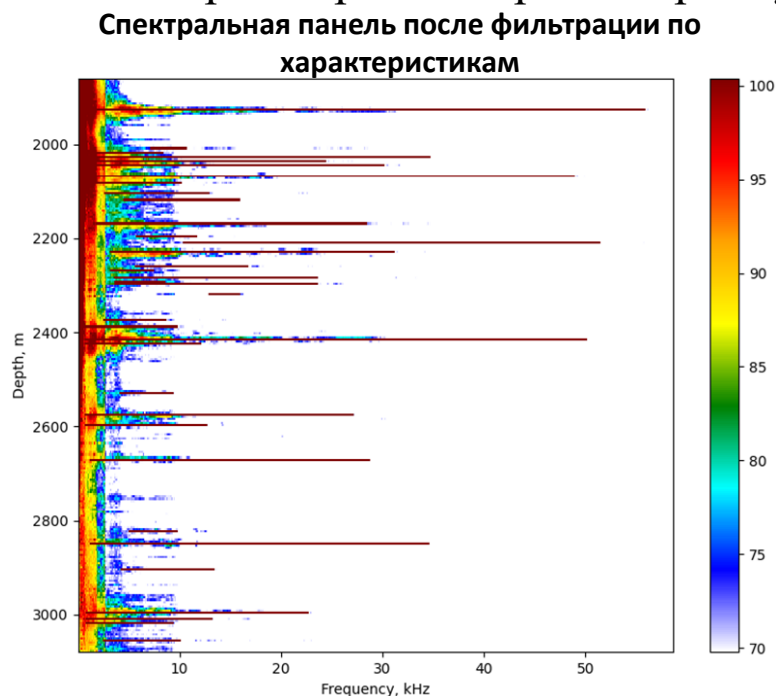
Описание алгоритма

Этап 4. Агрегация объектов на основе анализа структуры и фильтрация

Затем выполняется финальная фильтрация по характеристикам объекта:

- частотный диапазон;
- ширина объекта по частоте;
- площадь;
- средняя амплитуда сигнала.

Завершается этап расширением границ прямоугольников на фиксированное количество пикселей.



Описание алгоритма

Этап 5. Классификация объектов

Для каждого объекта рассчитываются:

- Частотная протяжённость: $\Delta f = f_{\max} - f_{\min}$;
- Глубинная протяжённость: $\Delta d = d_{\max} - d_{\min}$.

Применяются эвристические правила классификации:

1. Если $\Delta f > \Delta d$ и $f_{\min} > 0$, то поток по пласту (reservoir);
2. Если $\Delta f < \Delta d$ и $f_{\min} > 1$, то заколонная циркуляция (chanelling);
3. Иначе:
 - если $f_{\max} > 10$, то поток по пласту (reservoir);
 - если $f_{\max} \leq 10$ то буровая колонна (borhole).

Пример содержания Excel-файла

	Кровля, м	Подошва, м	Частотный диапазон, кГц	Амплитуда, дБ	Характеристика типа шума
1	3601	3609	0.1-58.5	101	Поток по пласту
2	3623	3627	0.2-58.6	111	Поток по пласту
3	3827	3831	0.3-57.7	99	Поток по пласту
4	3841	3845	0.3-58.6	104	Поток по пласту
5	4069	4073	0.1-58.6	107	Поток по пласту
6	4081	4085	0.1-58.6	104	Поток по пласту
7	4195	4200	0.1-56.2	101	Поток по пласту
8	4209	4213	0.2-57.3	99	Поток по пласту

Этап 6. Экспорт результатов анализа

Реализованы функции для сохранения результатов обработки и классификации объектов в форматы Excel и LAS.

В результирующую таблицу включаются основные характеристики обнаруженных объектов: глубина залегания, частотный диапазон, амплитуда сигнала, а также классификация типа шума.

В файле формата LAS включается логическая разметка по глубине: каждому уровню сопоставляется значение 1, если на нём обнаружен объект, или 0 в противном случае.

Новизна

Научно-техническая новизна:

- Адаптивная многоступенчатая фильтрация с учётом частотно-глубинной структуры;
- Сегментация и агрегация контуров.
- Анализ производной частотного профиля для локализации границ объектов;

Новизна реализации:

- Модифицированная функция поиска пиков с обработкой граничных значений;
- Выделение участков с постоянной частотной характеристикой;
- Автоматическое определение типа канала (LF/HF) и настройка параметров без участия пользователя;
- Обработка пересекающихся объектов: устранение перекрытий и агрегация по глубине;
- Комплексная фильтрация объектов по геометрическим, спектральным и амплитудным признакам.

Дополнительно реализован графический интерфейс для визуальной верификации и ручной корректировки результатов.

Исходный частотный профиль контура

```
> 00 = {intc: ()} np.int32(423)
> 01 = {intc: ()} np.int32(422)
> 02 = {intc: ()} np.int32(421)
> 03 = {intc: ()} np.int32(420)
> 04 = {intc: ()} np.int32(421)
> 05 = {intc: ()} np.int32(422)
> 06 = {intc: ()} np.int32(423)
> 07 = {intc: ()} np.int32(424)
> 08 = {intc: ()} np.int32(425)
> 09 = {intc: ()} np.int32(426)
> 10 = {intc: ()} np.int32(427)
> 11 = {intc: ()} np.int32(428)
> 12 = {intc: ()} np.int32(429)
> 13 = {intc: ()} np.int32(430)
> 14 = {intc: ()} np.int32(431)
> 15 = {intc: ()} np.int32(432)
> 16 = {intc: ()} np.int32(433)
> 17 = {intc: ()} np.int32(434)
> 18 = {intc: ()} np.int32(435)
> 19 = {intc: ()} np.int32(436)
> 20 = {intc: ()} np.int32(437)
> 21 = {intc: ()} np.int32(438)
> 22 = {intc: ()} np.int32(439)
> 23 = {intc: ()} np.int32(440)
> 24 = {intc: ()} np.int32(441)
> 25 = {intc: ()} np.int32(442)
> 26 = {intc: ()} np.int32(443)
> 27 = {intc: ()} np.int32(444)
> 28 = {intc: ()} np.int32(443)
> 29 = {intc: ()} np.int32(442)
> 30 = {intc: ()} np.int32(441)
> 31 = {intc: ()} np.int32(440)
```

Пики, найденные стандартной функцией

```
peaks = {list: 72} [[27], [29 56], [376]]
> 00 = {ndarray: (1,)} [27] ...View as
```

Пики, найденные модифицированной функцией

```
peaks = {list: 72} [[0 27], [0 29 56]]
> 00 = {ndarray: (2,)} [0 27] ...View as
```

Архитектура программной системы

Система имеет модульную архитектуру и включает:

1. functions.py — алгоритмы обработки: фильтрация, контуры, классификация, отчёты;
2. start_program.py — точка входа: загрузка, запуск, последовательность вызовов;
3. constants.py — динамическая инициализация параметров по данным;
4. constants_store.py — хранение параметров;
5. main.py — интерфейс пользователя.

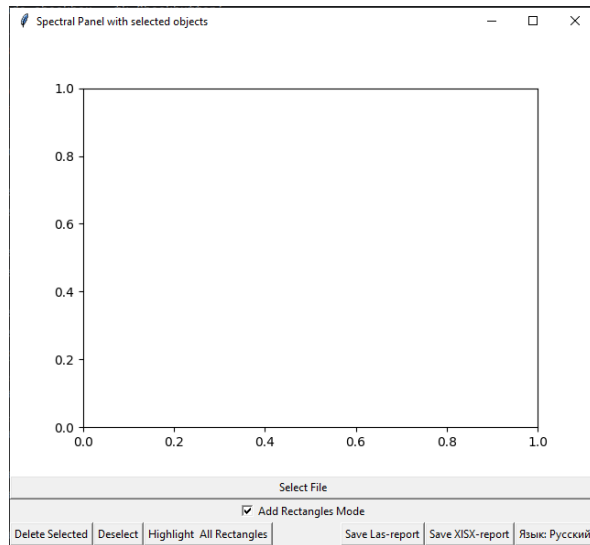
Используемые инструменты и библиотеки:

1. Язык программирования – Python.
2. Обработка данных:
 - NumPy — для работы с массивами и выполнения базовых математических операций;
 - SciPy — для медианной фильтрации и поиска локальных максимумов;
 - Pandas — для табличного представления данных и формирования отчётных файлов;
 - Lasio — для работы с LAS-файлами.
3. Обработка изображений:
 - OpenCV — морфологические операции, извлечение контуров;
 - Imutils — надстройка над OpenCV, упрощающая извлечение контуров.
4. Визуализация данных:
 - Matplotlib — визуализация спектральных панелей;
 - Tkinter — графический интерфейс.

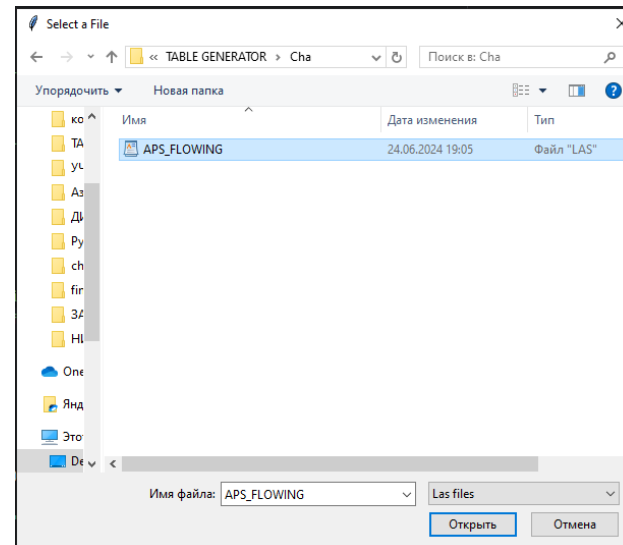
Функциональные возможности интерфейса

На первом этапе работы отображается начальное окно, включающее элементы управления. Далее осуществляется выбор файла с данными в формате LAS, после чего система автоматически строит спектральную панель и выполняет первичный анализ.

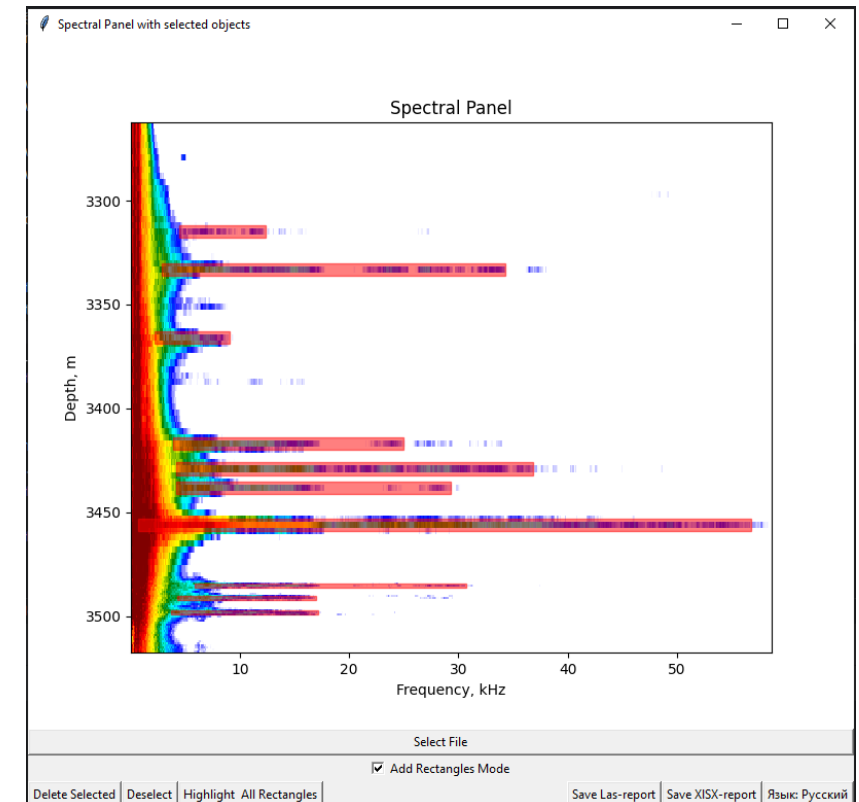
На панели визуализируются результаты детектирования: прямоугольные области, наложенные на спектр, соответствуют обнаруженным акустическим аномалиям. Это позволяет пользователю сразу получить предварительное представление о найденных сигналах и приступить к их анализу.



Начальное окно программы



Окно выбора файла



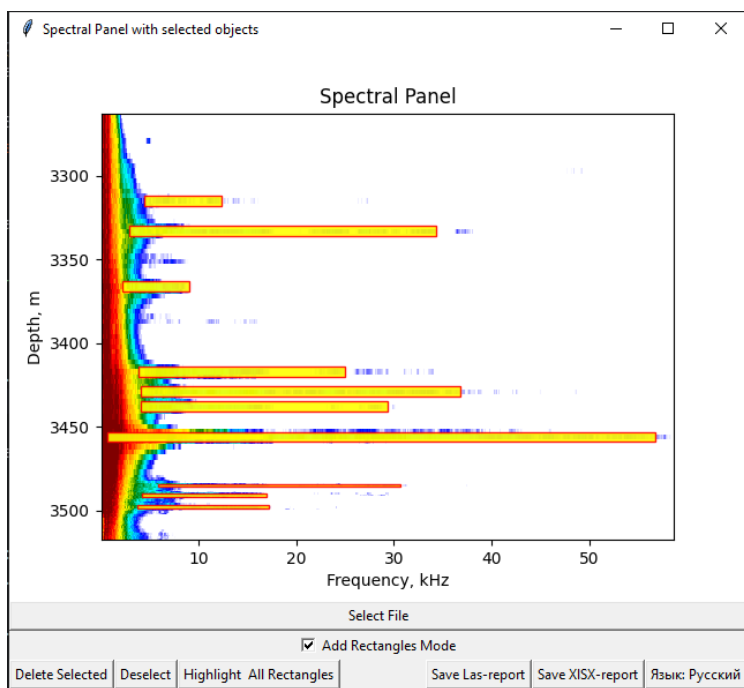
Автоматическое построение спектральной панели с выделенными объектами

Функциональные возможности интерфейса

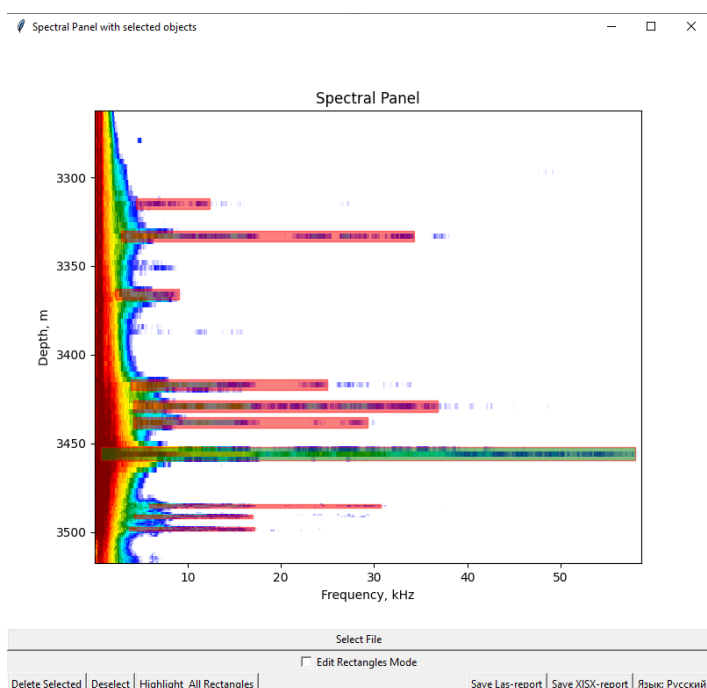
В режиме акцентирования пользователю удобно визуально оценить положение объектов — они отображаются ярким желтым цветом на фоне спектра.

В режиме редактирования пользователь может уточнять границы объектов, перемещать или масштабировать их. При необходимости пользователь может удалить ошибочно выделенные области или выбрать режим добавления, чтобы добавить новые.

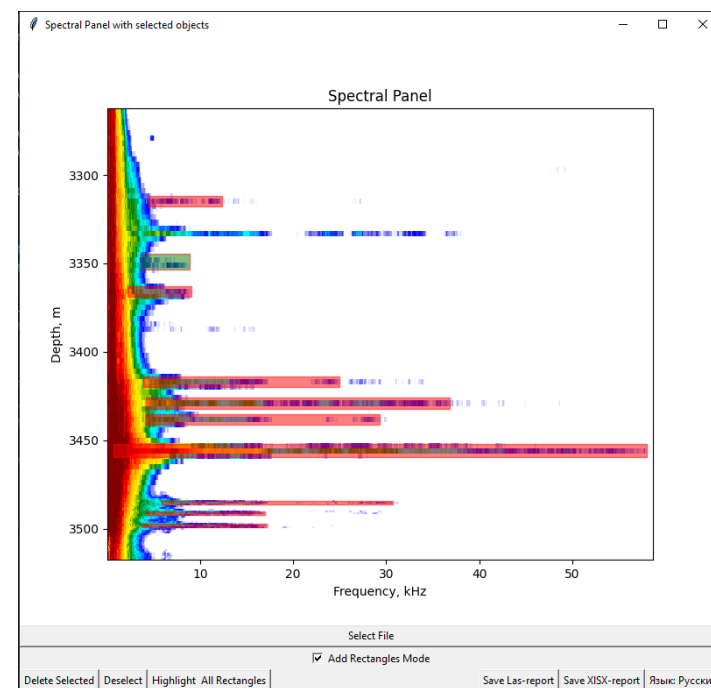
Дополнительно предусмотрена возможность выбора языка для Excel-отчёта: русский и английский.



Режим акцентированной визуализации объектов



Корректировка границ выделенного объекта



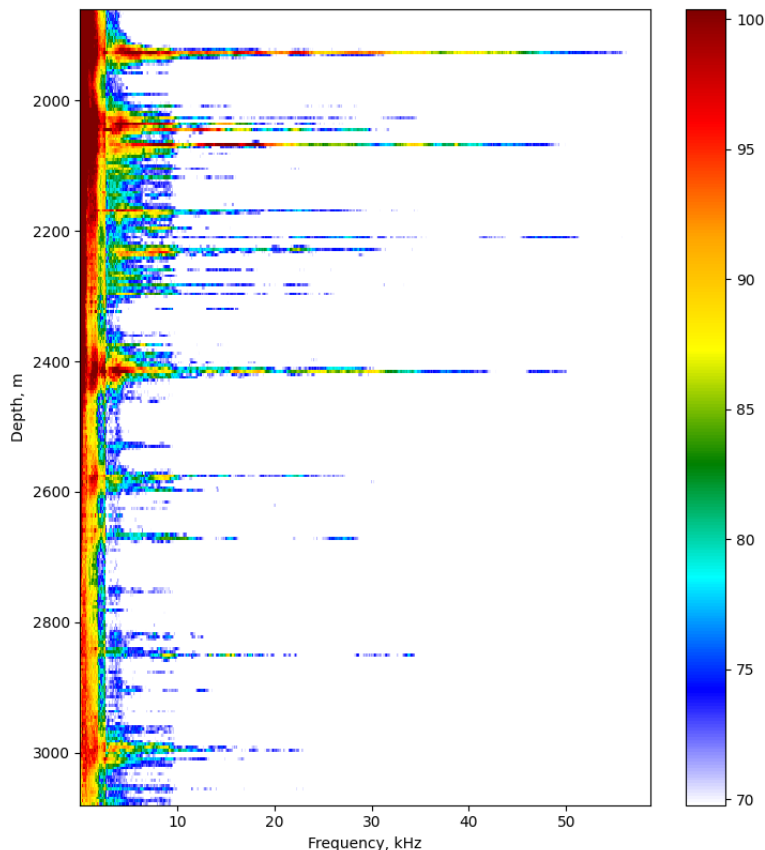
Добавление и удаление объектов

Пример работы алгоритма

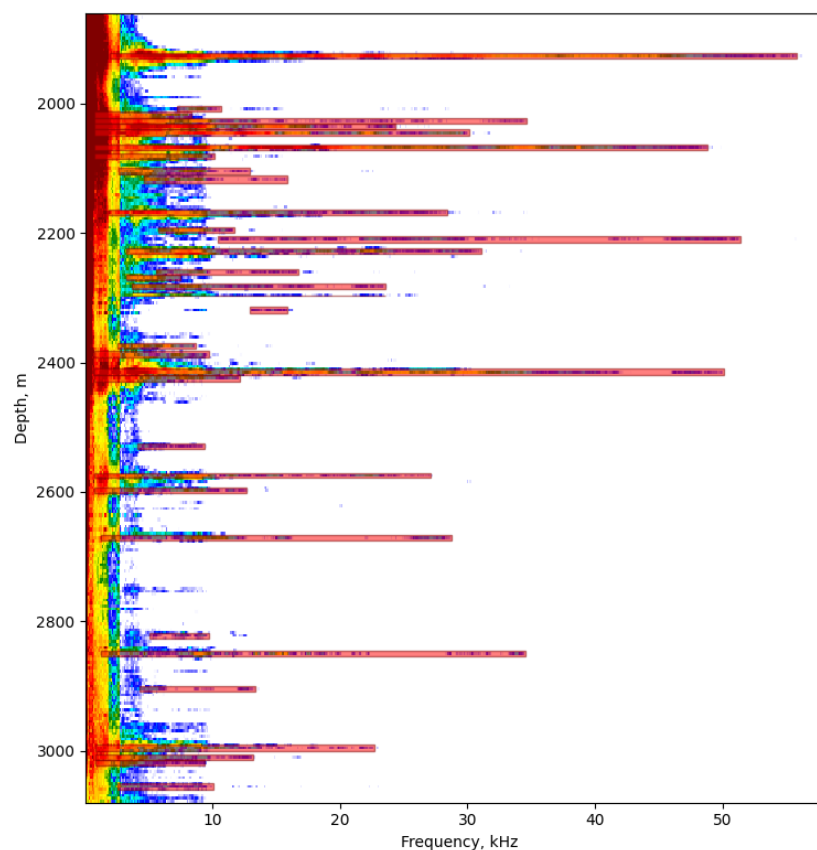
Скважина KHRС-47

Объём входных HF-данных — 265 значений по глубине, 512 по частоте. Обнаружено 35 объектов.

Исходная панель



Панель с выделенными объектами



Результирующая таблица (фрагмент)

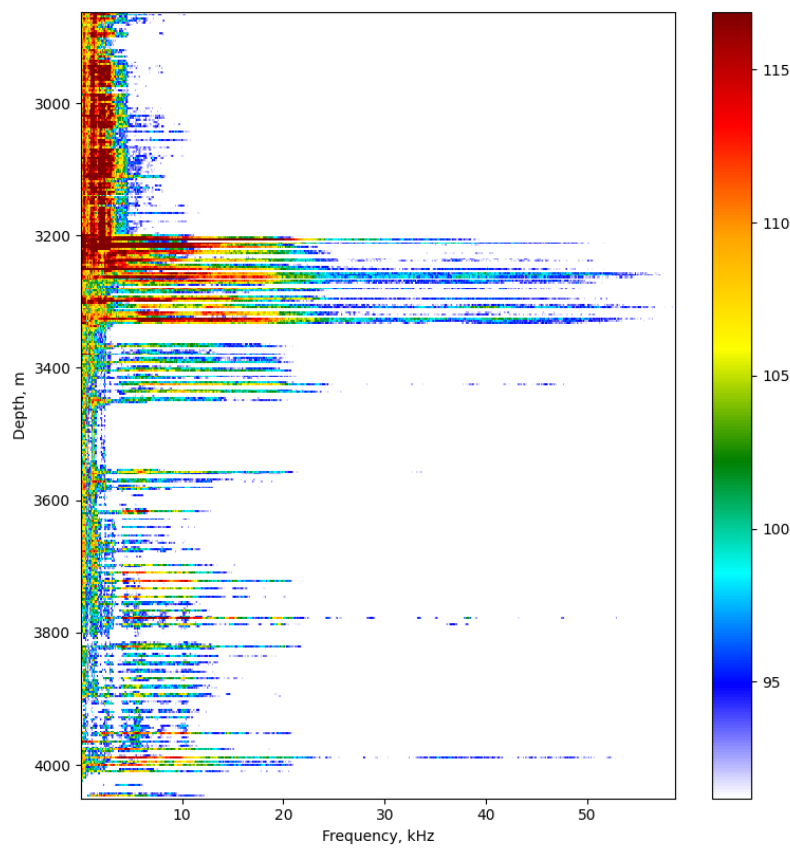
	Top, m	Bottom, m	Frequency range, kHz	Amplitude, dB	Flow type
1	1921	1931	1.9-55.8	100	Reservoir
2	2004	2013	7.2-10.6	82	Reservoir
3	2013	2022	0.7-8.4	108	Reservoir
4	2022	2031	0.7-34.7	108	Reservoir
5	2031	2040	0.7-24.4	109	Reservoir
6	2040	2050	0.7-30.1	111	Reservoir
7	2063	2071	0.7-48.9	106	Reservoir
8	2077	2086	0.7-10.2	106	Reservoir
9	2100	2109	2.6-12.9	90	Reservoir
10	2112	2123	4.6-15.9	85	Reservoir
11	2164	2173	1.8-28.4	98	Reservoir
12	2191	2201	5.7-11.7	90	Reservoir
13	2205	2214	10.4-51.4	78	Reservoir
14	2223	2232	3.2-31.1	95	Reservoir
15	2255	2264	5.6-16.7	82	Reservoir
16	2264	2273	3.2-7.4	88	Reservoir
17	2278	2287	3.7-23.6	85	Reservoir
18	2292	2292	3.7-8.6	82	Reservoir
19	2296	2296	3.7-23.6	89	Reservoir
20	2315	2324	12.9-15.9	77	Reservoir
21	2370	2379	2.5-8.7	90	Reservoir

Пример работы алгоритма

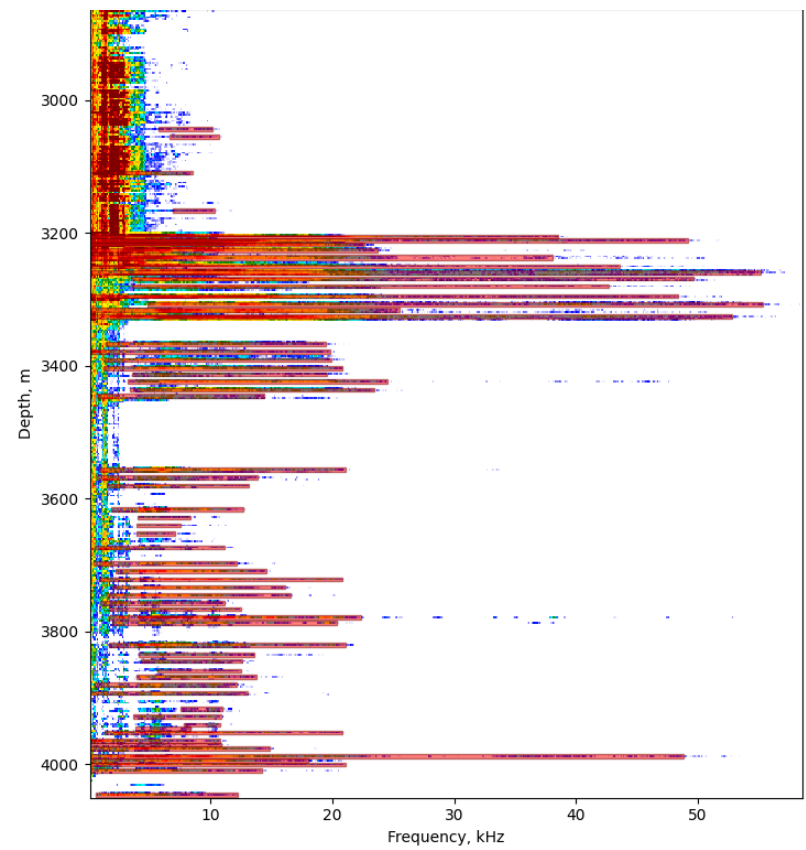
Скважина 8

Объем входных HF-данных — 396 значений по глубине, 512 по частоте. Обнаружено 62 объекта.

Исходная панель



Панель с выделенными объектами



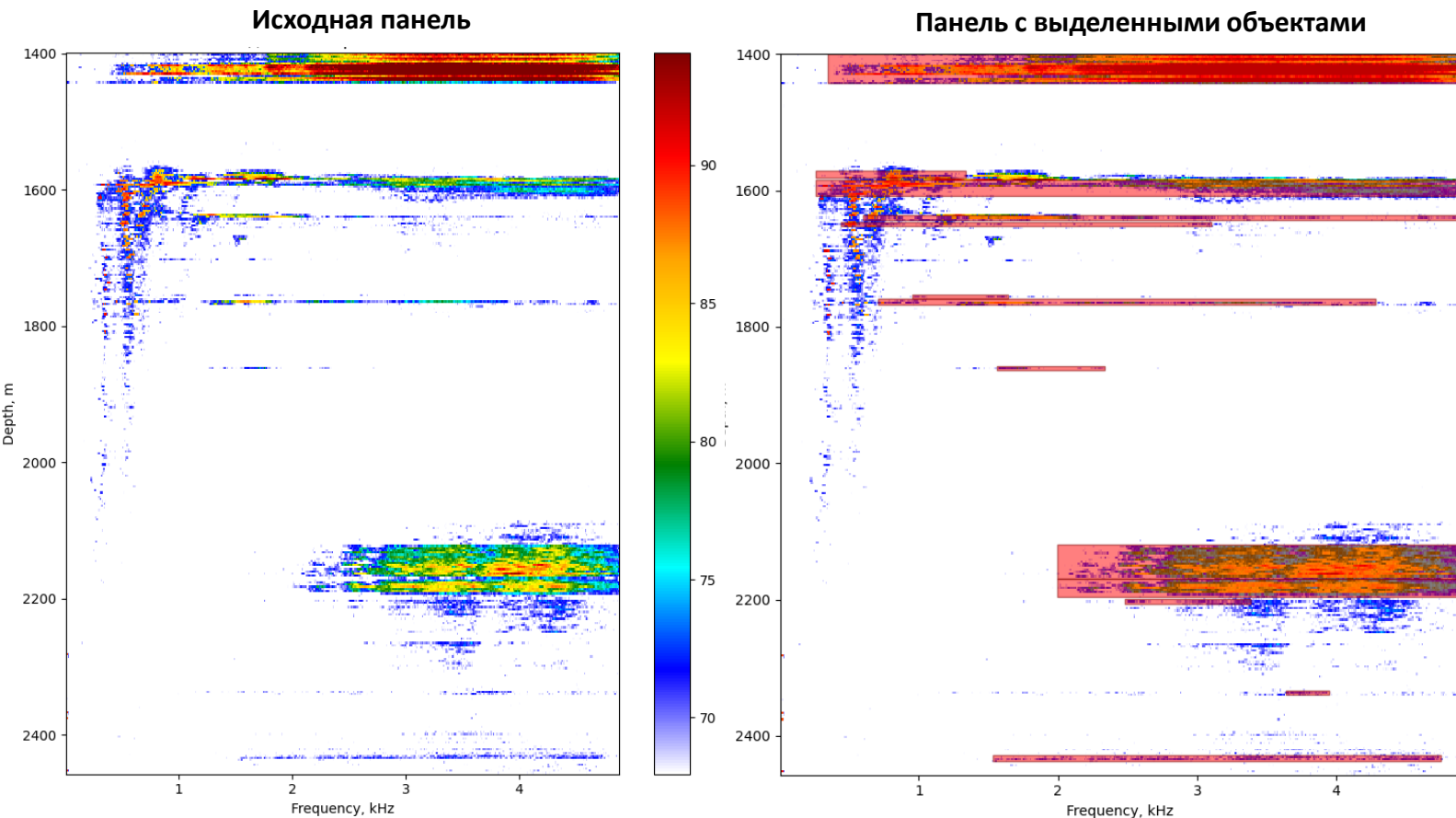
Результирующая таблица (фрагмент)

	Кровля, м	Подошва, м	Частотный диапазон, кГц	Амплитуда, дБ	Характеристика типа шума
1	3040	3047	5.7-10.2	98	Поток по пласту
2	3052	3059	6.6-10.6	98	Поток по пласту
3	3107	3113	3.0-8.5	116	Поток по пласту
4	3164	3169	6.9-10.3	97	Поток по пласту
5	3203	3209	0.1-38.6	132	Поток по пласту
6	3209	3215	0.1-49.2	128	Поток по пласту
7	3215	3221	0.1-22.7	133	Поток по пласту
8	3224	3230	0.1-23.7	126	Поток по пласту
9	3232	3241	0.1-38.1	121	Поток по пласту
10	3248	3253	0.1-43.6	131	Поток по пласту
11	3256	3263	0.1-55.2	120	Поток по пласту
12	3266	3272	3.4-49.7	115	Поток по пласту
13	3278	3284	3.5-42.7	113	Поток по пласту
14	3293	3298	0.1-48.4	124	Поток по пласту
15	3305	3311	4.8-55.4	111	Поток по пласту
16	3313	3319	0.2-25.5	116	Поток по пласту
17	3322	3329	0.2-52.9	124	Поток по пласту
18	3364	3371	1.4-19.5	109	Поток по пласту
19	3377	3382	0.1-19.8	114	Поток по пласту

Пример работы алгоритма

Скважина Dafiq-35H1

Объём входных LF-данных — 338 значений по глубине, 512 по частоте. Обнаружено 13 объектов.



Результирующая таблица

	Top, m	Bottom, m	Frequency range, kHz	Amplitude, dB	Flow type
1	1400	1443	0.3-4.9	104	Reservoir
2	1572	1581	0.3-1.3	89	Reservoir
3	1584	1609	0.3-4.9	92	Reservoir
4	1637	1643	0.6-4.9	87	Reservoir
5	1646	1652	0.4-3.1	88	Reservoir
6	1752	1758	1.0-1.6	71	Reservoir
7	1758	1767	0.7-4.3	85	Reservoir
8	1858	1864	1.6-2.3	73	Reservoir
9	2119	2169	2.0-4.9	89	Reservoir
10	2169	2196	2.0-4.9	87	Reservoir
11	2199	2206	2.5-3.4	73	Reservoir
12	2333	2340	3.6-3.9	72	Reservoir
13	2428	2436	1.5-4.7	72	Reservoir

Заключение

В результате выполнения работы:

- разработан алгоритм детектирования и распознавания объектов, учитывающий особенности шумометрических данных;
- реализован программный комплекс с интуитивно понятным интерфейсом;
- проведена успешная апробация на реальных акустических данных, подтвердившая эффективность подхода.

Разработанный алгоритм уже применяется в инженерной практике для ускорения и повышения точности анализа шумометрических данных и интегрирован в текущие производственные процессы.

Анализ предметной области

Среди промышленных закрытых решений для обработки шумометрических данных, можно выделить Sonic Scanner (Schlumberger), XBAT (Halliburton) и Borehole Acoustic Imager (Weatherford). Они обладают высокой стоимостью, их алгоритмы, как правило, не раскрываются, что затрудняет анализ и адаптацию.

Также существуют открытые исследовательские решения по детектированию объектов в условиях шума, однако их прямое применение к спектральным данным шумометрии ограничено по ряду причин:

- 1. Метод детектирования объектов на астрономических изображениях:** эффективно разделяет близко расположенные яркие объекты, но не учитывает вытянутую форму объектов и отсутствие чётких центров, характерные для шумометрии. Используются: медианная фильтрация, бинаризация, гауссово сглаживание, вычитание фона.
- 2. Алгоритм подавления фоновых помех на инфракрасных изображениях на основе адаптивной морфологической фильтрации:** эффективно подавляет фоновые структуры, но ориентирован на точечные объекты и требует адаптации к частотно-глубинной структуре. Может применяться только для предварительной обработки, так как отсутствует этап сегментации. Используются: морфологические операции, идея адаптивной фильтрации.
- 3. Метод адаптивной фильтрации для подавления шума в задачах детектирования объектов:** эффективно подавляет фоновые структуры, сохраняя границы объектов, однако не включает механизмов выделения или агрегации объектов и применяется преимущественно на этапе фильтрации. Используются: адаптивная настройка параметров фильтрации.

Анализ предметной области

4. Бинаризация изображений для обнаружения трещин в бетонных конструкциях: включает локальную бинаризацию, морфологическую обработку и фильтрацию по геометрическим признакам, но рассчитан на контрастные дефекты и не учитывает спектральную структуру данных. Используются: бинаризация с адаптивным порогом, морфологические операции, фильтрация по геометрическим характеристикам.

5. Алгоритм поиска вложенных структур с использованием нормальных векторов и числа обвода: обеспечивает точную локализацию вложенных объектов (например отверстий), но требует предварительной бинаризации и наличия замкнутых контуров. Несмотря на различие в методах извлечения контуров, концепция использования замкнутых областей для идентификации объектов была учтена при разработке предлагаемого алгоритма. Используются: идея извлечения замкнутых контуров объектов.

6. Усовершенствованный алгоритм акустического изображений, объединяющий детектирование объектов и бимформинг для акустической камеры: повышает точность локализации объектов в акустической камере, однако ориентирован на пространственно-временные данные и не применим напрямую к двумерным спектральным панелям. Используются: выделение по амплитудному признаку, адаптивная фильтрация.

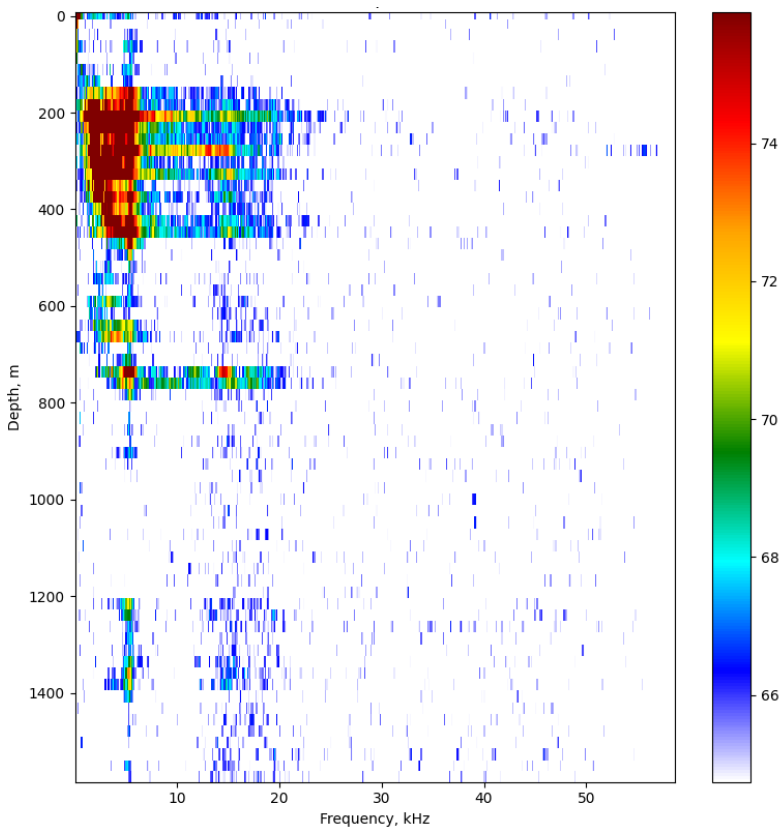
7. Визуальный метод обнаружения низкочастотной вибрации в загрязненной среде: обеспечивает устойчивое обнаружение структур на сложном фоне, но требует нейросетевой модели и временной компоненты сигнала. Несмотря на то, что оператор Собеля не использовался в предложенном алгоритме, идея градиентного анализа легла в основу применения производной частотного профиля контуров для выделения границ объектов. Используются: подход к анализу резких переходов через производную.

Пример работы алгоритма

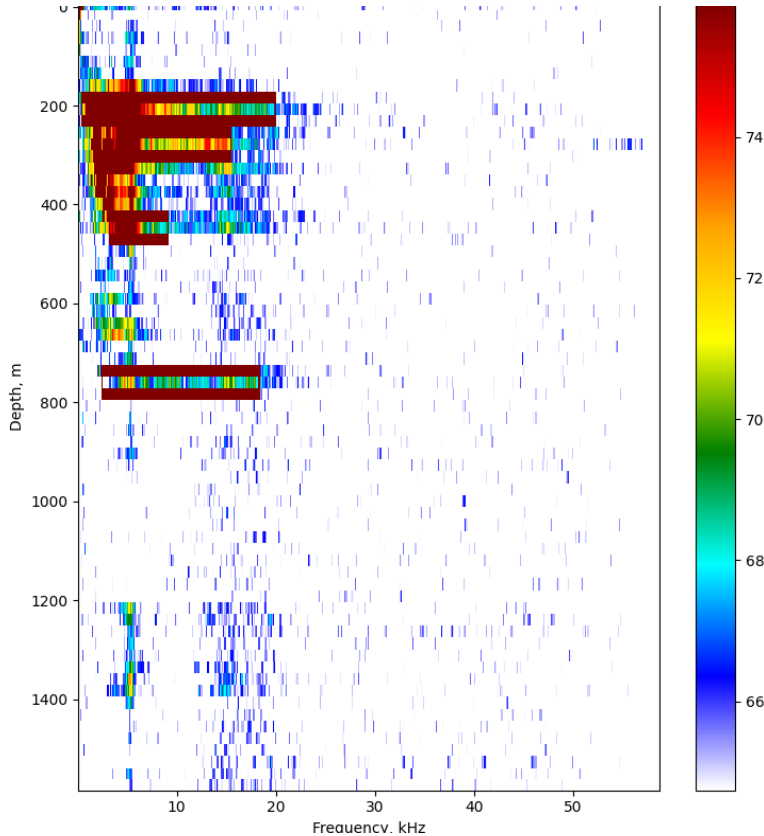
Скважина Aristocrat

Объём входных HF-данных — 67 значений по глубине, 512 по частоте. Обнаружено 4 объекта.

Исходная панель



Панель с выделенными объектами



Результирующая таблица

	Кровля, м	Подошва, м	Частотный диапазон, кГц	Амплитуда, дБ	Характеристика типа шума
1	183	231	0.5-20.0	92	Поток по пласту
2	255	303	4.2-15.4	81	Поток по пласту
3	423	471	3.2-9.2	83	Поток по пласту
4	735	783	2.5-18.3	77	Поток по пласту