

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ



РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

ВЕРСИЯ ОТ 18.03.2020

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|-----------|
| О ПРОГРАММЕ | 7 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 7 |
| НАЗНАЧЕНИЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММЫ | 12 |
| ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ФОРМАТЫ ДАННЫХ | 19 |
| СКОМПИЛИРОВАННЫЙ ФАЙЛ СПРАВКИ | 19 |
| ПРОГРАММНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И УСТАНОВКА..... | 20 |
| ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПРОГРАММОЙ..... | 21 |
| ВКЛАДКИ И ИНФОРМАЦИОННАЯ ПАНЕЛЬ..... | 21 |
| УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРОМ ВКЛАДOK..... | 22 |
| ЗАГОЛОВОК ОКНА ПРОГРАММЫ | 22 |
| СТРОКА МЕНЮ..... | 23 |
| СТРОКА СООБЩЕНИЙ..... | 23 |
| ВСПЛЫВАЮЩИЕ ПОДСКАЗКИ | 23 |
| ИНДИКАТОР ВЫПОЛНЕНИЯ..... | 23 |
| ИНДИКАТОР ОЖИДАНИЯ | 23 |
| КОНФИГУРАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ 2D | 24 |
| КОНФИГУРАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ РАБОТЫ В РЕЖИМЕ 3D | 26 |
| СНИМОК ЭКРАНА | 30 |
| ОТКРЫТИЕ ДИРЕКТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ФАЙЛА В ПРОВОДНИКЕ WINDOWS | 30 |
| НАЧАЛО РАБОТЫ С ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМ ПРОФИЛЕМ | 30 |
| ЗАГРУЗКА ФАЙЛА ПРОФИЛЯ | 30 |
| НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ ОТОБРАЖЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ..... | 33 |
| <i>Панель Size.....</i> | <i>33</i> |
| <i>Панель Navigator.....</i> | <i>33</i> |
| <i>Панель Adjusting Image.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Панель AGC.....</i> | <i>35</i> |
| УСТАНОВКА НОЛЯ ШКАЛЫ ГЛУБИНЫ | 36 |
| НАСТРОЙКА ШКАЛ И РЕЖИМОВ УКАЗАТЕЛЯ МЫШИ | 36 |
| РЕДАКТИРОВАНИЕ ДАННЫХ ПРОФИЛЯ..... | 37 |
| ОБРЕЗКА ПРОФИЛЯ | 38 |
| РАЗБИВКА ПРОФИЛЯ НА ФРАГМЕНТЫ | 39 |
| ДОБАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ | 39 |
| РЕВЕРСИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ..... | 39 |
| СОХРАНЕНИЕ ПРОФИЛЯ..... | 40 |
| ТАБЛИЦА ОБЪЁМА РАБОТ | 40 |
| ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ВОЛНЫ ВРУЧНУЮ | 41 |
| ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ | 42 |
| ЧАСТОТНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ | 42 |
| МЕДИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ..... | 45 |
| СГЛАЖИВАНИЕ | 45 |
| ВЫДЕЛЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛОВ..... | 46 |
| ВЫЧИТАНИЕ СРЕДНЕГО | 47 |
| УДАЛЕНИЕ ТРЕНДА | 48 |
| ПОВЫШЕНИЕ ДЕТАЛИЗАЦИИ..... | 48 |
| ВЕЙВЛЕТ-ДЕКОМПОЗИЦИЯ СИГНАЛОВ И ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШЕНИЯ ПО ГЛУБИНЕ | 48 |
| РЕСЕМПЛИНГ..... | 49 |
| УДАЛЕНИЕ ПОМЕХ ПРИ ПОМОЩИ РАЗЛОЖЕНИЯ СИГНАЛОВ НА КОМПОНЕНТЫ | 49 |
| УДАЛЕНИЕ ПОМЕХ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ФИЛЬТРОМ И ЗАМЕНА ТРАСС ПРОФИЛЯ | 52 |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

| | |
|--|-----------|
| <i>Пространственная фильтрация</i> | 52 |
| <i>Замена трасс профиля</i> | 54 |
| В-ДЕТЕКТОР | 55 |
| НАВИГАЦИЯ ПО ИСТОРИИ ОБРАБОТКИ | 56 |
| СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ИСТОРИИ ОБРАБОТКИ | 56 |
| ОБРАБОТКА В ПАКЕТНОМ РЕЖИМЕ | 57 |
| УДАЛЕНИЕ ИСТОРИИ ОБРАБОТКИ | 57 |
| ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ В БЛОЧНОМ РЕЖИМЕ | 58 |
| МЬЮТИНГ | 58 |
| КОРРЕКТИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОРАДАРНЫХ ТРАСС ПО ВЕРТИКАЛИ | 59 |
| КОРРЕКТИРОВКА ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОРАДАРНЫХ ТРАСС ПО ГОРИЗОНТАЛИ | 59 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ | 61 |
| ИДЕЯ МЕТОДА | 61 |
| ТЕРМИНОЛОГИЯ | 61 |
| <i>Локальный объект</i> | 61 |
| <i>Дифрагированное отражение</i> | 61 |
| <i>Поле обратного рассеяния</i> | 61 |
| <i>Вероятность наличия поля обратного рассеяния</i> | 62 |
| <i>Точка анализа поля</i> | 62 |
| <i>Наиболее значимые атрибуты</i> | 62 |
| <i>Ошибки анализа поля обратного рассеяния</i> | 62 |
| <i>Корректирующая функция</i> | 62 |
| <i>Гистограммы наиболее значимых атрибутов</i> | 64 |
| <i>Ограничение диапазонов значимых атрибутов</i> | 64 |
| <i>Опорные точки разреза</i> | 64 |
| ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА | 64 |
| ПАРАМЕТРЫ ЗАПИСИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ | 66 |
| ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ | 66 |
| АНАЛИЗ BSEF И СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА | 68 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ПОЛЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ | 69 |
| ПЕРЕЧЕНЬ АТТРИБУТОВ РАЗРЕЗА | 69 |
| ЗАГРУЗКА ФАЙЛА С РЕЗУЛЬТАТАМИ АНАЛИЗА BSEF | 70 |
| <i>Загрузка файла профиля</i> | 70 |
| <i>Пункт меню Display CF and Parameters of Section</i> | 70 |
| ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ АНАЛИЗА | 70 |
| ОГРАНИЧЕНИЕ ДИАПАЗОНА ЗНАЧИМЫХ АТТРИБУТОВ | 72 |
| НАСТРОЙКИ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ | 73 |
| ПОСТРОЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ | 74 |
| ПОСТРОЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ | 75 |
| <i>Наиболее часто применяемые графики КФ, построенные вручную</i> | 75 |
| ПАРАМЕТРЫ ПОСТРОЕНИЯ РАЗРЕЗА | 77 |
| <i>Панель Section</i> | 77 |
| <i>Панель Settings for Attribute "Permittivity"</i> | 78 |
| <i>Панель Settings for All Attributes</i> | 79 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА | 80 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА В ПАКЕТНОМ РЕЖИМЕ | 81 |
| ПАРАМЕТРЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАЗРЕЗА | 82 |
| ПАНЕЛЬ POST PROCESSING | 82 |
| НАЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА НА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ПРОФИЛЬ | 83 |
| ПРЯМОУГОЛЬНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ | 85 |
| ОКРУГЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ АТТРИБУТА | 86 |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

| | |
|--|------------|
| ИНВЕРТИРОВАНИЕ ДАННЫХ..... | 86 |
| ДИАПАЗОН ОТОБРАЖЕНИЯ АТРИБУТА | 87 |
| НАСТРОЙКА ОСЕЙ И УКАЗАТЕЛЯ МЫШИ | 88 |
| КОНТУРНЫЙ ГРАФИК С ЗАЛИВКОЙ | 88 |
| УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОВОЙ СХЕМОЙ РАЗРЕЗА | 89 |
| ВЫБОР ГОТОВОЙ ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ | 89 |
| ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОЙ ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ | 89 |
| РЕДАКТИРОВАНИЕ ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ | 90 |
| <i>Назначение цвета элементами управления</i> | <i>90</i> |
| <i>Назначение цвета при помощи мыши</i> | <i>91</i> |
| РЕДАКТИРОВАНИЕ ОТМЕТОК ЦВЕТОВОЙ ШКАЛЫ | 92 |
| УСТАНОВКА ПОРОГОВ ОТОБРАЖЕНИЯ РАЗРЕЗА | 92 |
| НАВИГАЦИЯ ПО ШАГАМ РЕДАКТИРОВАНИЯ ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ | 93 |
| СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ЦВЕТОВОЙ СХЕМЫ | 93 |
| СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ..... | 94 |
| СОХРАНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ГРАФИЧЕСКОМ ФОРМАТЕ | 94 |
| СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ РАЗРЕЗА В ФОРМАТ XZD | 97 |
| СОХРАНЕНИЕ В ФОРМАТ EFD | 97 |
| СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ПАРАМЕТРОВ ПОСТРОЕНИЯ РАЗРЕЗА..... | 97 |
| ЭКСПОРТ ДАННЫХ В ТАБЛИЦУ ФОРМАТА TXT..... | 98 |
| ЭКСПОРТ ДАННЫХ В СЕТОЧНЫЙ ФОРМАТ GRD (SURFER)..... | 98 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА С ПОПРАВКОЙ ЗА РЕЛЬЕФ | 101 |
| КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ | 102 |
| ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТРИБУТОВ | 104 |
| ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ГРАНИЦЫ СЛОЁВ | 108 |
| ПРИНЦИП ФОРМИРОВАНИЯ СЛОЁВ | 108 |
| ПАНЕЛЬ BOUNDARIES OF LAYERS..... | 109 |
| СОЗДАНИЕ ГРАНИЦЫ ПО УЗЛОВЫМ ТОЧКАМ | 112 |
| СОЗДАНИЕ ГРАНИЦЫ В НЕПРЕРЫВНОМ РЕЖИМЕ (РИСОВАНИЕ МЫШЬЮ) | 113 |
| СОЗДАНИЕ ГРАНИЦЫ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ | 113 |
| РЕДАКТИРОВАНИЕ ГРАНИЦЫ..... | 114 |
| <i>Добавление узловых точек линии границы</i> | <i>114</i> |
| <i>Разделение границы на две части</i> | <i>114</i> |
| <i>Обрезка границы</i> | <i>115</i> |
| <i>Объединение двух границ.....</i> | <i>115</i> |
| <i>Удаление узловых точек.....</i> | <i>116</i> |
| ПОЛЕ ВВОДА УСЛОВИЙ ПОСТРОЕНИЯ РАЗРЕЗА ДЛЯ ГРАНИЦЫ СЛОЯ | 116 |
| ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА С УЧЁТОМ ГРАНИЦ СЛОЁВ..... | 119 |
| ЛОКАЛЬНАЯ КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ФУНКЦИЯ ДЛЯ СЛОЯ | 120 |
| СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ГРАНИЦ СЛОЁВ | 123 |
| СОХРАНЕНИЕ ДАННЫХ ПО СЛОЯМ В ТАБЛИЦУ..... | 124 |
| ТРЕХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ..... | 126 |
| СОЗДАНИЕ 3D СБОРКИ РАЗРЕЗОВ ПО КООРДИНАТАМ XY | 126 |
| СОЗДАНИЕ 3D СБОРКИ РАЗРЕЗОВ ПО КООРДИНАТАМ XYZ..... | 130 |
| <i>Создание таблицы координат XYZ вручную.....</i> | <i>131</i> |
| <i>Автоматизированное создание таблицы координат XYZ</i> | <i>131</i> |
| <i>Сборка разрезов по координатам XYZ.....</i> | <i>132</i> |
| ЗАГРУЗКА 3D СБОРКИ | 133 |
| ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ 3D СБОРКИ..... | 133 |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

| | |
|---|------------|
| Вкладки X-Y, X-Z и Y-Z | 133 |
| Вкладка Cube | 134 |
| Изменение положения ортогональных сечений при помощи мыши | 134 |
| ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В РЕЖИМЕ 3D | 134 |
| Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis..... | 134 |
| Панель Cube Components Display | 137 |
| Панель Rounding | 137 |
| Панель Smoothing | 138 |
| Панель Axes Labels, Grid and Limits | 138 |
| Панель Axis Ratio | 139 |
| Панель Cube View | 140 |
| Панель Cube Cut and Alpha | 141 |
| Панель Light Source | 143 |
| Панель Visible Range | 143 |
| Панель Isosurface | 144 |
| Панель Cut Area | 147 |
| Панель Contours on 2D Views..... | 148 |
| Панель Settings of Colormap | 150 |
| Панель Attribute Features | 150 |
| Панель User Section | 151 |
| ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОЕ СЕЧЕНИЕ | 152 |
| Создание пользовательского сечения | 152 |
| Изменение положения узловой точки..... | 155 |
| Сохранение и загрузка данных пользовательского сечения | 156 |
| ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ | 156 |
| ВРАЩЕНИЕ ОСЕЙ 3D СБОРКИ МЫШЬЮ НА ВКЛАДКЕ CUBE | 156 |
| ТАБЛИЦА ОБЪЁМОВ | 157 |
| СОХРАНЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ 3D СБОРКИ..... | 158 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОХРАНЕНИЕ СЕРИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ СЕЧЕНИЙ 3D СБОРКИ | 159 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОХРАНЕНИЕ СЕЧЕНИЙ В МЕСТОПОЛОЖЕНИИ ПРОФИЛЕЙ | 159 |
| ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТТРИБУТА 3D СБОРКИ | 159 |
| ПСЕВДОКАРОТАЖ..... | 161 |
| ДЕФЕКТОСКОПИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА | 163 |
| Дефектоскопия - порядок действий пользователя | 165 |
| Создание таблицы по результатам дефектоскопии | 168 |
| СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ | 170 |
| СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ | 173 |
| СОЗДАНИЕ, СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ФАЙЛА СТАТИСТИКИ | 173 |
| ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ | 175 |
| ПОРОГОВАЯ ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ..... | 177 |
| ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНЕЛИ ВЫБОРА СЛОЁВ..... | 180 |
| ЭКСПОРТ СВОДНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ | 182 |
| ЭКСПОРТ СТАТИСТИКИ В ТЕКСТОВЫЙ ФОРМАТ | 182 |
| СОХРАНЕНИЕ ГРАФИКА..... | 183 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | 185 |
| ТИПОВАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ РАЗРЕЗА ИССЛЕДУЕМОЙ СРЕДЫ | 185 |
| ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК НА ОПИСАНИЕ ПАНЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ | 186 |
| <i>Левая группа вкладок.....</i> | <i>186</i> |
| <i>Нижняя группа вкладок в режиме 2D.....</i> | <i>186</i> |
| <i>Нижняя группа вкладок в режиме 3D.....</i> | <i>187</i> |
| СТАТЬЯ "ОБРАБОТКА ГЕОРАДАРНЫХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ", ЖУРНАЛ "ГЕОФИЗИКА" №4 за 2010 г..... | 188 |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

| | |
|---|-----|
| СВИДЕТЕЛЬСТВО О ГОСУДАРСТВЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ ПРОГРАММЫ | 196 |
|---|-----|

О программе

Введение

Метод георадиолокации, характеризующийся высокой плотностью наблюдений и детализацией результата имеет такую особенность, как сильную зависимость глубинности георадарного исследования от поглощающих свойств подповерхностной среды. Аппаратная часть георадаров на сегодняшний день, в целом, достигла известного совершенства и на протяжении ряда лет не претерпевает заметных улучшений. Расширение возможностей георадиолокации происходит в программной области – совершенствуются уже существующие алгоритмы обработки сигналов, и разрабатываются новые технологии анализа и преобразования георадиолокационной информации. Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ является такой разработкой.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ – это современный программный комплекс для автоматизированной обработки результатов георадарного профилирования. В состав ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ входят как стандартные опции обработки георадарных данных, реализованные во многих сторонних приложениях, так и разработанные специально для ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ алгоритмы и методы, повышающие информативность и глубинность георадиолокационных исследований. Ниже даны краткие характеристики методов, разработанных специально для программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ.

Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния BSEF

Условно, поле обратного рассеяния BSEF (back-scattering electromagnetic field) представляет собой массив сигналов, возникающих в ходе отражения от локальных неоднородностей, линейные размеры которых, в плоскости георадарного профиля, сопоставимы с длиной волны излученных импульсов георадара. Любую среду (за редким исключением) можно представить как набор локальных неоднородностей, которые относительно равномерно распределены по плоскости разреза.

В ходе автоматизированного анализа измеряются кинематические и динамические характеристики сигналов, из которых состоит поле обратного рассеяния. В результате анализа имеется массив точек измерения, координаты которых известны. Каждая точка обладает набором атрибутов волнового поля или исследуемой среды, рассчитанные в процессе анализа или по результатам этого анализа. При помощи интерполяции значений формируется разрез того или иного атрибута. Таким образом, происходит переход от волновой структуры полевой записи к более привычным и понятным величинам – характеристикам исследуемой среды.

Развёрнуто идея метода рассматривается в <Статья “Обработка георадарных данных в автоматическом режиме”, журнал “ГЕОФИЗИКА” №4 за 2010 г>. Загрузить статью в формате PDF можно [по этой ссылке](#).

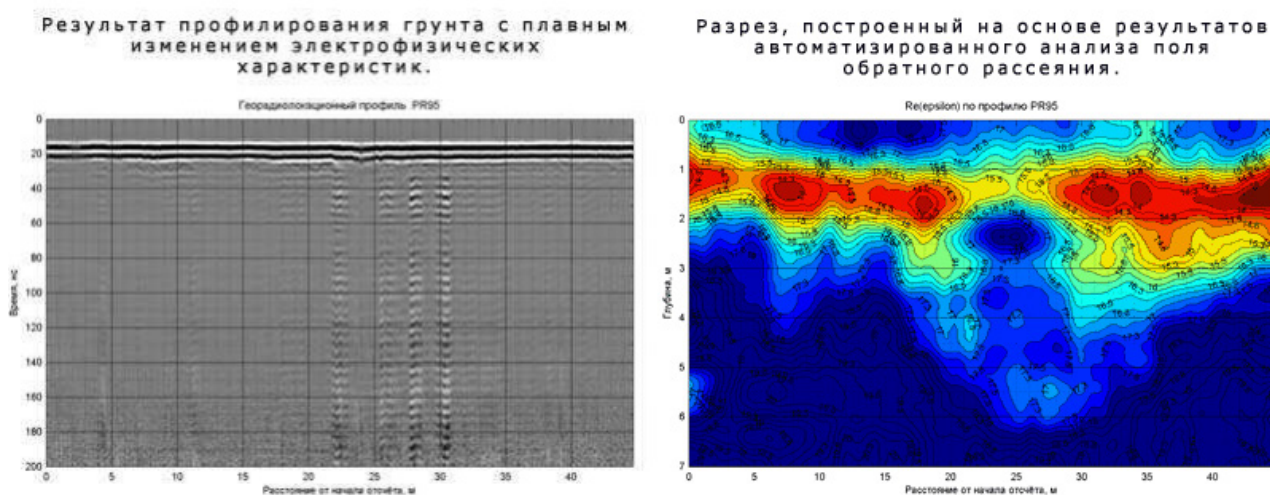
Несомненный интерес для исследователя может представлять анализ изменения атрибута разреза внутри слоя. А также иметь возможность исследовать подповерхностные среды, электрофизические характеристики которых изменяются плавно, без резких скачков, формирующих отражающие границы. Радарограммы, полученные в ходе исследования таких подповерхностных сред, не могут иметь характерных осей синфазностей сигналов, которые интерпретируются как отражения от границ слоёв.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунке ниже слева, в качестве примера, представлен результат георадарного профилирования подповерхностной среды с плавным изменением электрофизических характеристик, а справа - разрез диэлектрической проницаемости по этому профилю, созданный программным комплексом ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ:



Очевидно, что разрез атрибута, представленный справа более информативен, чем волновая картина георадиолокационного профиля, показанная слева.

Использование метода автоматизированного анализа BSEF имеет следующие преимущества:

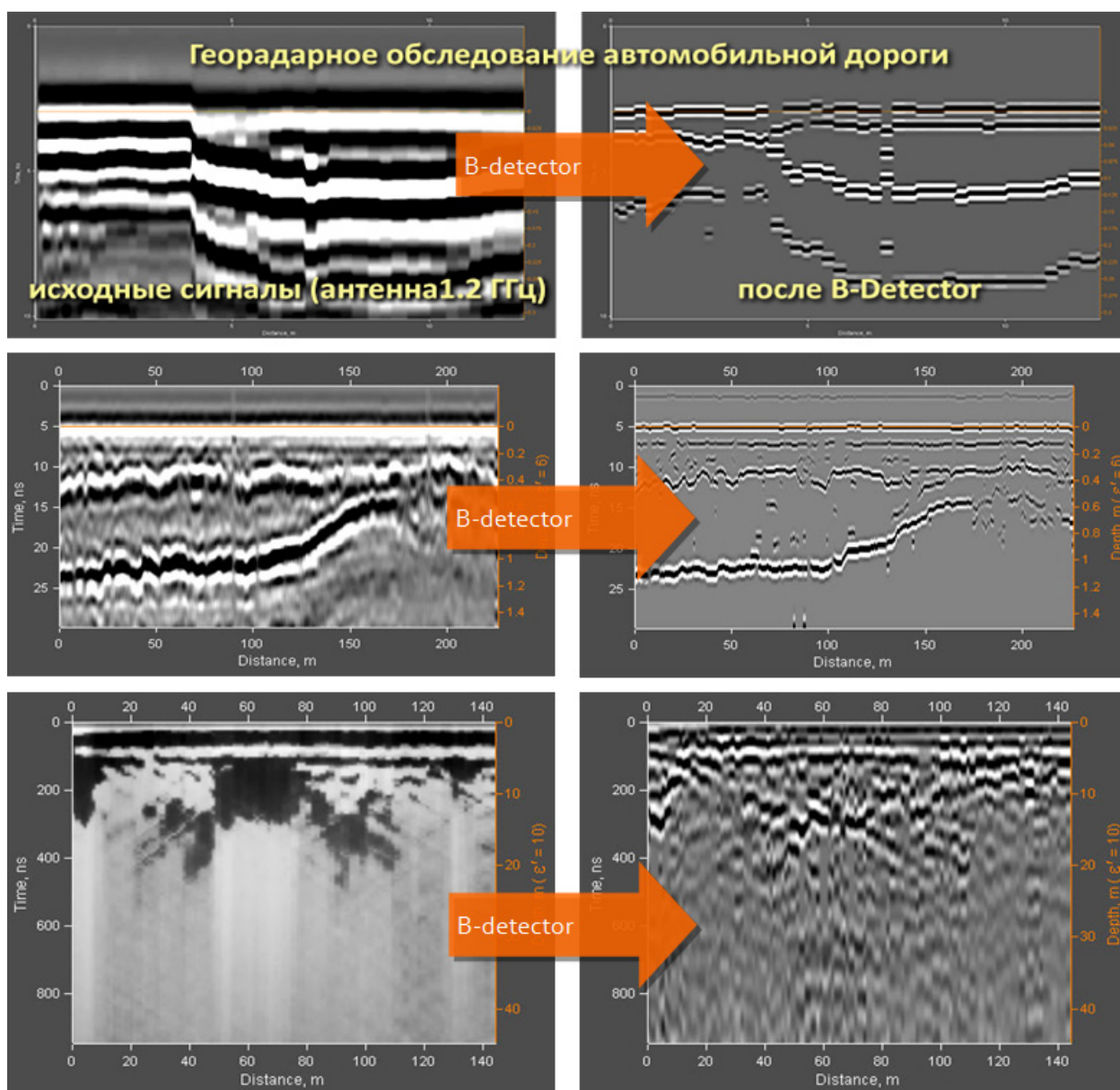
- Увеличивается глубинность георадиолокационных исследований – алгоритм обработки данных имеет высокую помехоустойчивость и удовлетворительно работает и в шумовой области радарограммы;
- Повышается информативность исследований – фиксируются границы разреза там, где нет достаточного скачка диэлектрической проницаемости для формирования характерных, для границ раздела сред, осей синфазности сигналов. Также наглядно прослеживается изменение диэлектрической проницаемости, или другого атрибута разреза, внутри слоя;
- Значительно возрастает скорость обработки полевого материала, что немаловажно при постоянно увеличивающихся объёмах георадарных работ, особенно в дорожной и железнодорожной отраслях;
- Расширяются области применения георадара;
- Сводится к минимуму влияние так называемого «человеческого фактора»;
- Предоставляются более широкие возможности для исследования сложно построенных сред.

Метод B-Detector

Метод B-Detector (Boundaries Detector) предназначен для выделения границ раздела сред на волновой картине георадарного профиля, подавления помех и повышения вертикального разрешения георадарных данных. На рисунке ниже слева показаны исходные данные, справа – результат обработки методом B-Detector:

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Основные преимущества метода B-Detector:

- Эффективно улучшает вертикальное разрешение сигналов радарограммы;
- Повышает точность позиционирования границ слоёв;
- Выравнивает фазы отражений, что минимизирует ошибки автоматизированной пикировки границ;
- Расширяет области применения низкочастотных георадаров: в результате обработки данных от НЧ георадара методом B-Detector на выходе имеются данные с детализацией, как от ВЧ георадара, но с глубиной, как у НЧ георадара.

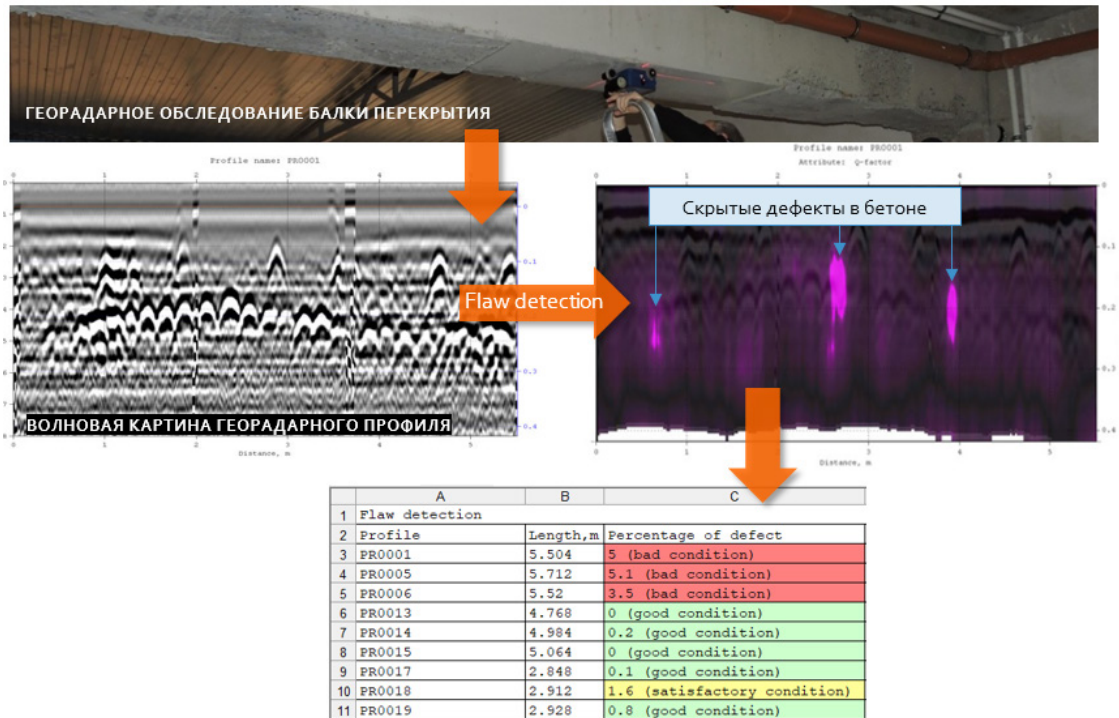
При помощи метода B-Detector можно решать широкий спектр исследовательских задач, требующих, при надлежащей глубине исследования, обеспечения высокого разрешения данных, точности позиционирования границ и скорости обработки полевого материала. Особенно эффективно применение метода B-Detector в дорожных и железнодорожных областях, где традиционно большой объём георадиолокационных работ.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

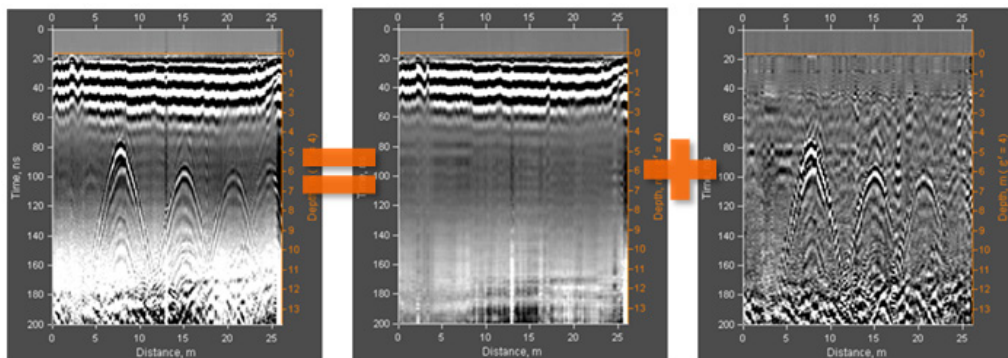
Дефектоскопия (Flaw detection)

Обнаружение скрытых дефектов в бетонных строительных конструкциях или в слоях дорожного покрытия. Выявление разуплотнений в грунте. Обнаружение выполняется на основе анализа атрибута Q-factor, который является результатом автоматизированного анализа BSEF. Основываясь на данных обнаружения для набора георадарных профилей, программа формирует дефектную ведомость в формате MS EXCEL, где в качестве дополнительной информации о состоянии объектов применяется цветовая индикация – красный, жёлтый и зелёный цвета для отображения плохого, удовлетворительного и хорошего состояний материала исследуемой конструкции.



Разложение сигналов на компоненты (Signal decomposition in components)

Разложение сигналов георадарного профиля на компоненты с целью выделения или подавления однотипных волн. Если из результата разложения георадарного профиля исключить уровни, содержащие информацию о каком-либо типе волн (например, о помехе воздушного отражения), после чего восстановить сигналы, то этот тип волн уже не будет присутствовать на восстановленном георадарном профиле.



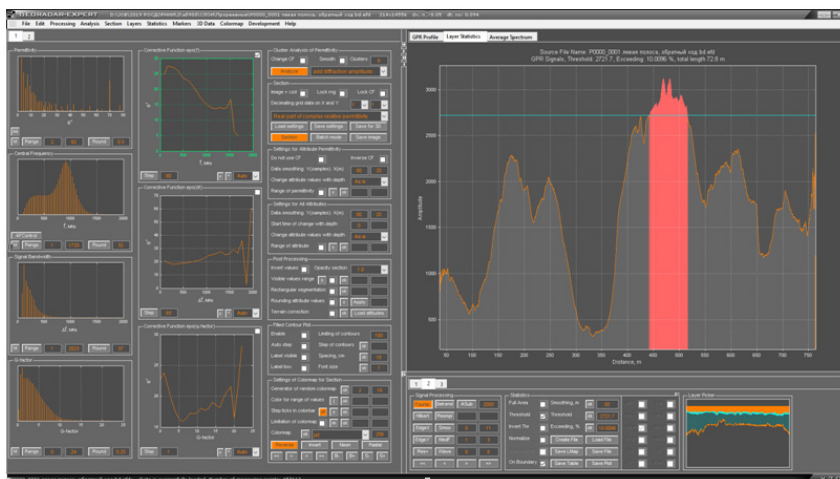
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Модуль статистического анализа Statistics

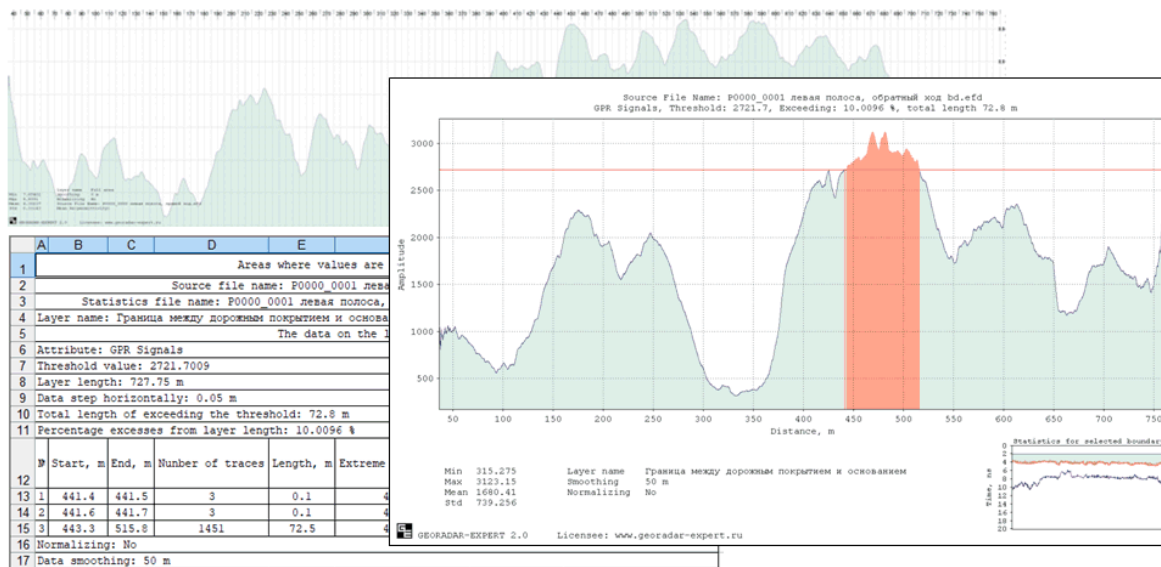
При помощи данного модуля можно получить характеристику исследуемой среды по 12 различным показателям описательной статистики. Источником статистики могут быть георадарные профили, разрезы, созданные на основе результатов автоматизированного анализа BSEF и сечения 3D сборки. Если на источник статистики нанесены пользовательские слои, то анализируется каждый слой. Пользователь может задавать порог, и значения выше или ниже этого порога будут выделяться на статистических графиках, а информация о положении областей нарушения порога сводится в электронную таблицу MS EXCEL.

Удобный навигатор по слоям позволяет выбирать слои или границы слоёв, для которых должна отображаться статистика, назначать имена слоям, выбирать статистические показатели и управлять визуализацией статистических данных. На рисунке ниже показано рабочее окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с активной вкладкой статистики, где синяя линия – пользовательский порог. Нарушение порога на графике отображается красным цветом. На навигаторе, который расположен в правом нижнем углу окна, выбранный слой показан оранжевым цветом.



При помощи статистических графиков и таблиц можно эффективно и быстро сформировать данные дефектоскопии протяженных объектов по методу нарушения заданного порога. Также можно сравнивать различные участки объекта исследования на основе сравнения статистических характеристик этих участков.

Статистическая информация рассчитывается один раз и запоминается в специализированном файле данных. В этом же файле можно сохранить настройки визуализации статистических данных.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Назначение и возможности программы

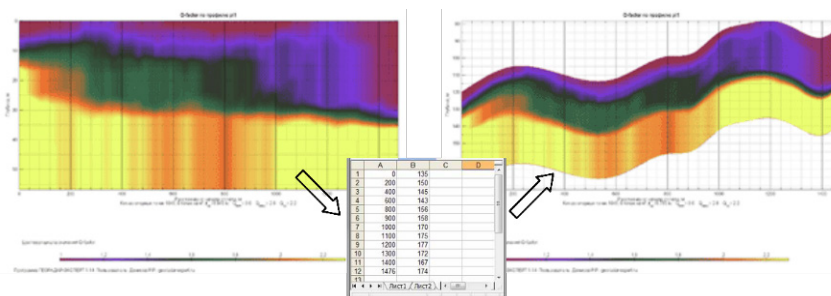
Программа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предназначена для автоматизированной обработки данных георадиолокационного профилирования с конечным результатом в виде разрезов электрофизических свойств исследуемой среды и атрибутов волнового поля.

В программе предусмотрена возможность построения разрезов следующих атрибутов:

- **Re(permittivity)** - действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Im(permittivity)** - мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Mod(permittivity)** - модуль комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Frequency** - центральная частота спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Signal bandwidth** - ширина спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Irregularity spectrum** - изрезанность спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Spectral flatness** - спектральная неравномерность сигналов дифрагированного отражения;
- **Q-factor** - отношение центральной частоты спектра сигналов к его ширине;
- **Loss tangent** - тангенс угла диэлектрических потерь;
- **Resistivity** - удельное сопротивление на центральной частоте зондирующего импульса;
- **Damping rate** - декремент затухания зондирующего импульса;
- **Radarogram signals** – амплитуды сигналов георадиолокационного профиля;
- **Diffraction amplitude** - модуль средней амплитуды дифрагированного отражения;
- **Envelope signals** - амплитуда огибающей сигналов;
- **Weight water content** - влажность весовая;
- **Volumetric water content** - влажность объёмная;
- **BSEF probability** - вероятность наличия поля обратного рассеяния;
- **Vertical resolution** – вертикальное разрешение георадиолокационного профиля.

Для экспресс-оценки параметров разреза в программе предусмотрен кластерный анализ атрибутов. Он позволяет пользователю быстро создать приближённую модель исследуемой среды и облегчить настройку параметров построения разреза.

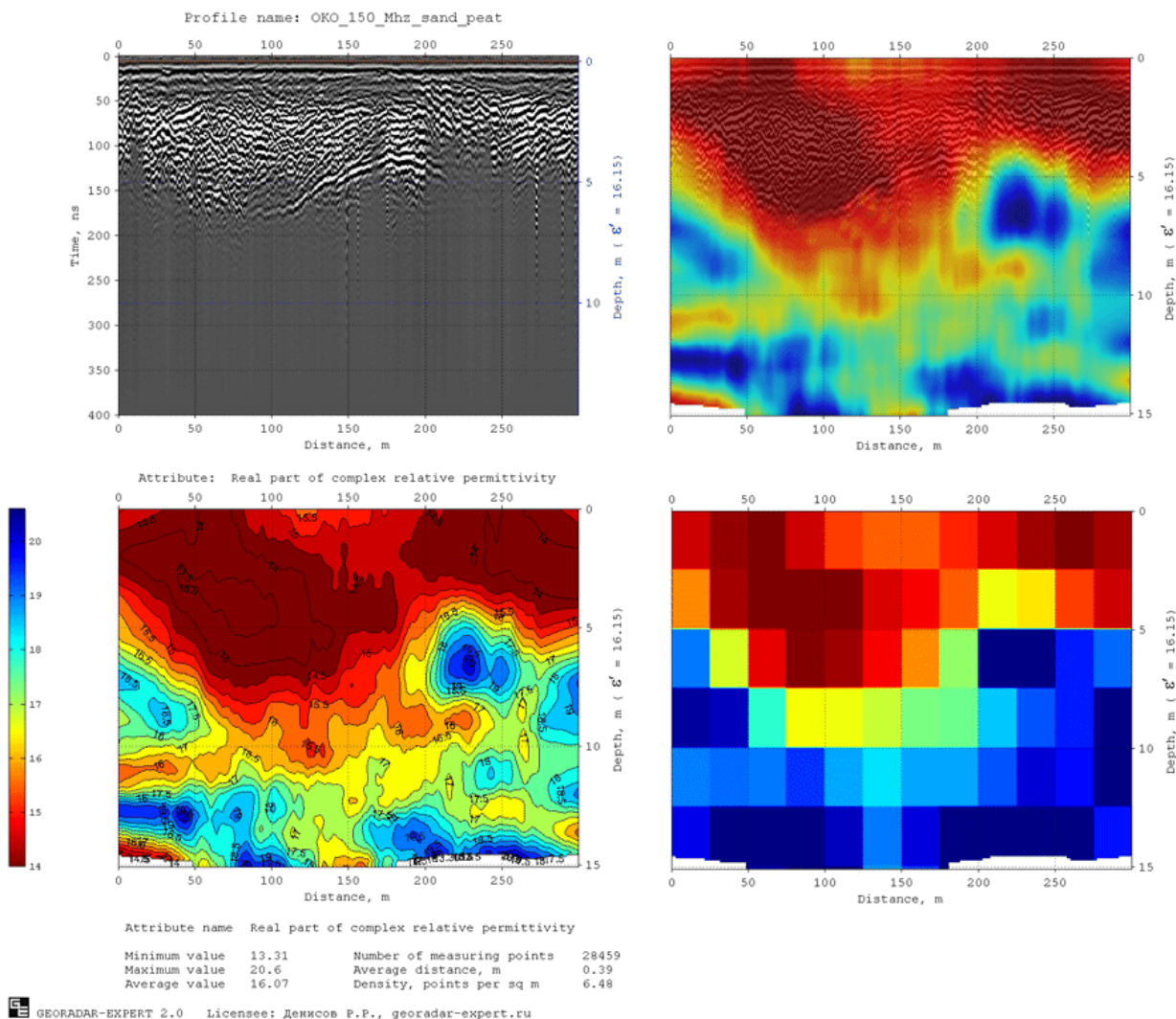
В ходе расчёта разреза, в программе реализована возможность вводить поправку за рельеф местности, загружая данные из файла электронных таблиц.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

К построенным программой разрезам можно применять различные варианты отображения – в виде плавных переходов, прямоугольной сегментации, в виде изолиний с залитыми цветом контурами. Предусмотрена возможность наложения разреза на волновую картину георадиолокационного профиля в режиме полупрозрачности.



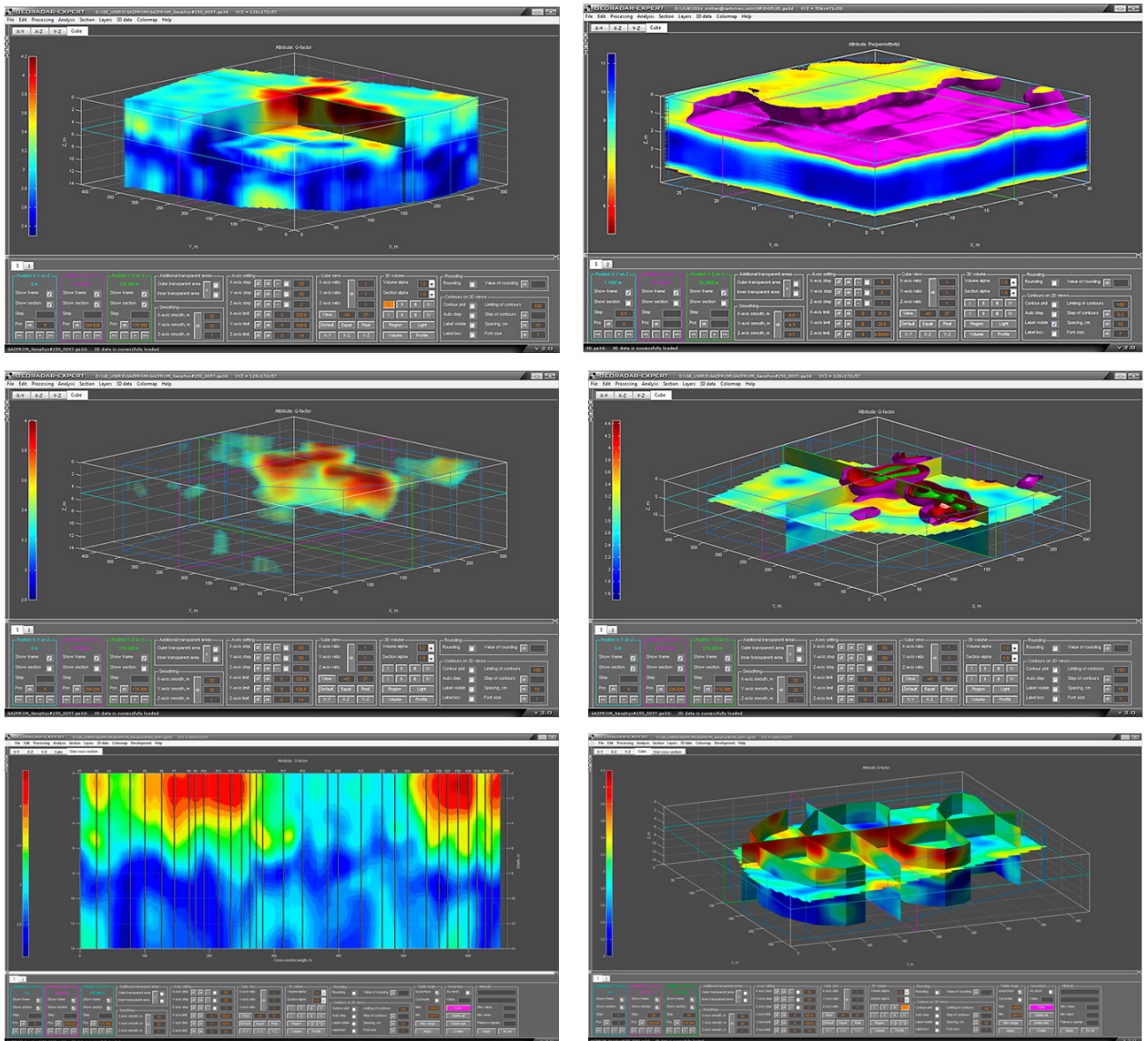
Параметры построения разреза можно сохранять в файл и загружать из файла. Разрез можно сохранять в графический файл (предусмотрена возможность задания масштабов изображения при сохранении) и в файл набора для построения 3D объёма.

Для работы с результатами площадного георадиолокационного исследования имеется возможность 3D визуализации параметров среды и атрибутов волнового поля для георадарных профилей неодинаковой длины и произвольной ориентации. В режиме 3D имеются следующие варианты отображения данных: сборка разрезов в пространстве, ортогональные сечения 3D сборки разрезов в пространстве и ортогональные сечения 3D сборки разрезов на двумерной плоскости. Предусмотрена возможность создания пользователем криволинейного вертикального сечения 3D сборки.

Для 3D сборки можно менять ориентацию в трёх плоскостях, вырезать сегменты объёма, управлять прозрачностью. Прозрачность можно изменять как для всего объёма, так и для некоторого заданного диапазона значений атрибута, что позволяет наблюдать форму той, или иной аномалии в пространстве:

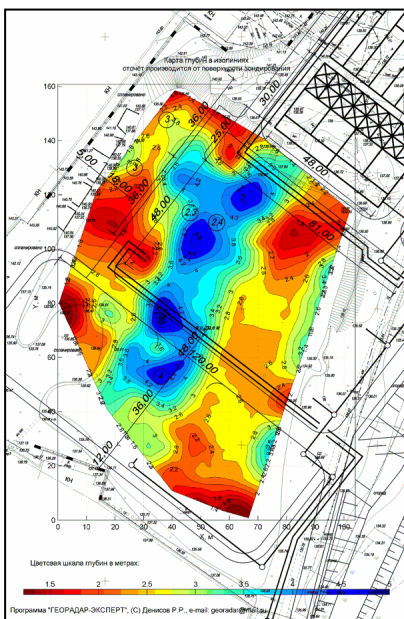
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



3D сборка может быть визуализирована в режиме плавных переходов значений атрибутов и в виде контурного графика с изолиниями с заданным шагом значений.

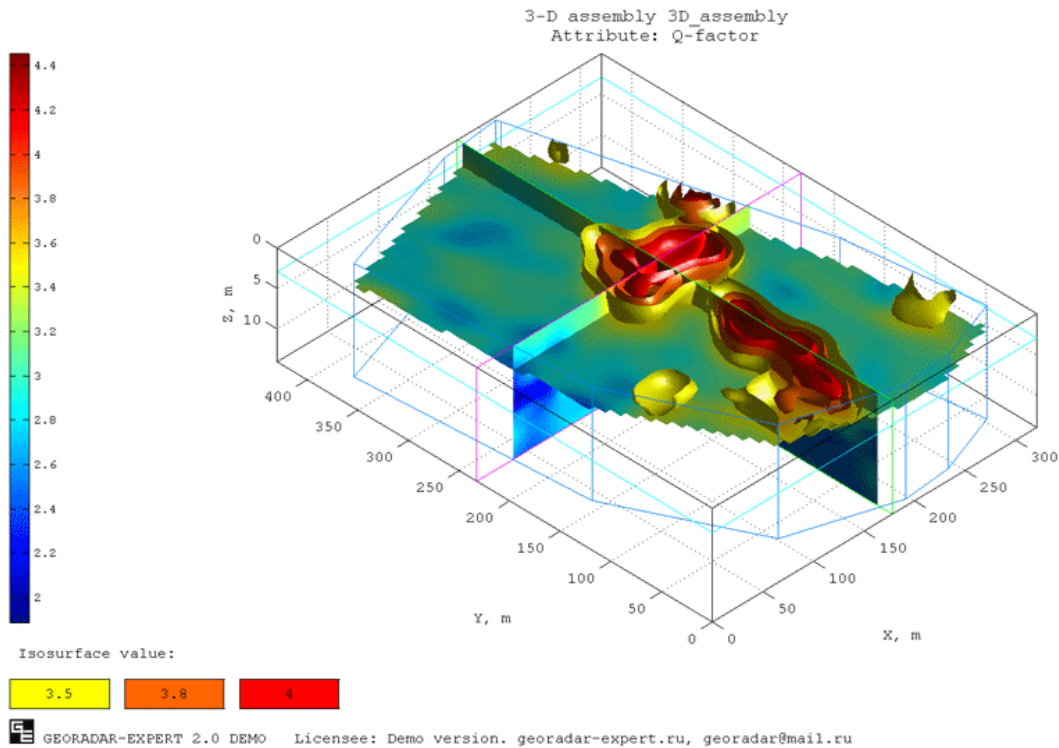
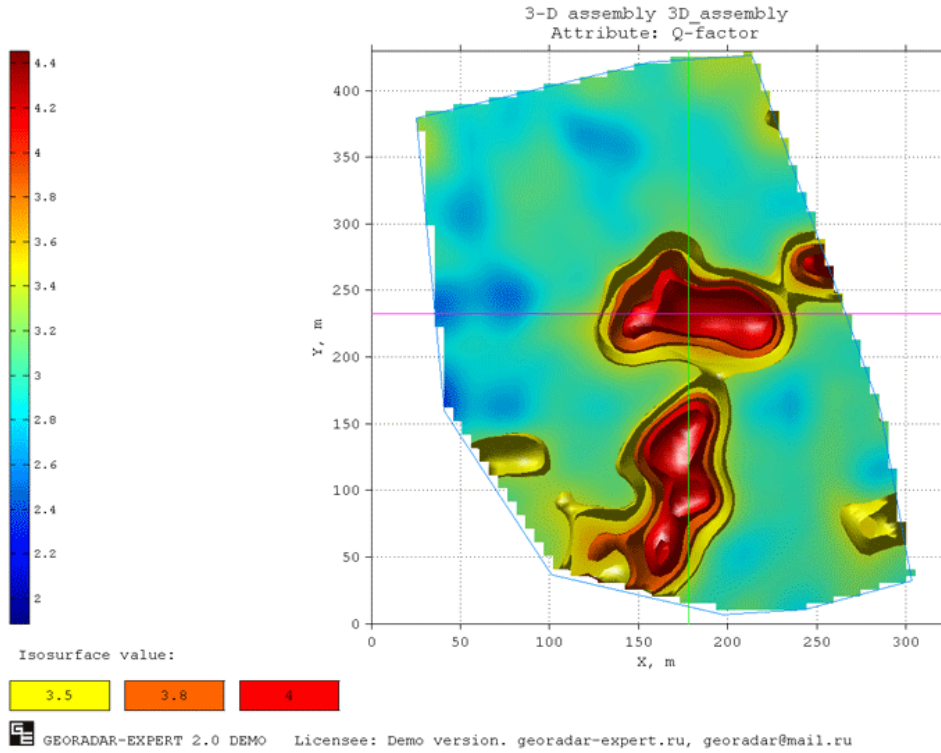
Для всех вариантов отображения данных в режиме 3D предусмотрена возможность сохранения изображения в графический формат с необходимой сопроводительной информацией.

Также предусмотрена возможность экспортировать сечения 3D сборки для последующей вставки в AutoCAD или аналогичную программу для создания чертежей.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если режим изолиний в 3D сборки применяется для двумерных сечений, то для трёхмерного вида можно применить режим отображения изоповерхностей, т.е. поверхностей, соединяющих одинаковые значения атрибута в объеме. На рисунках ниже представлены вид сверху и вид сбоку 3D сборки разрезов атрибута Q-factor с изоповерхностями значений 3.5, 3.8 и 4.

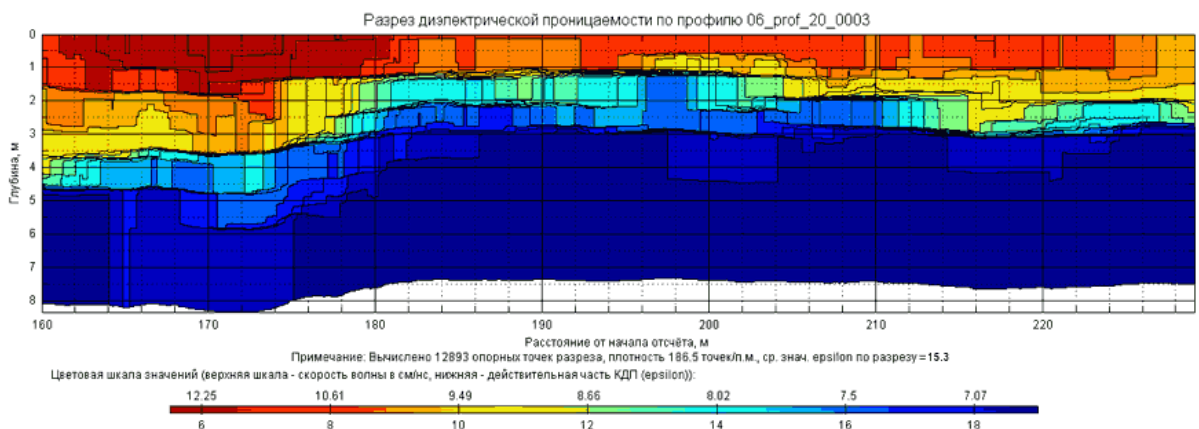
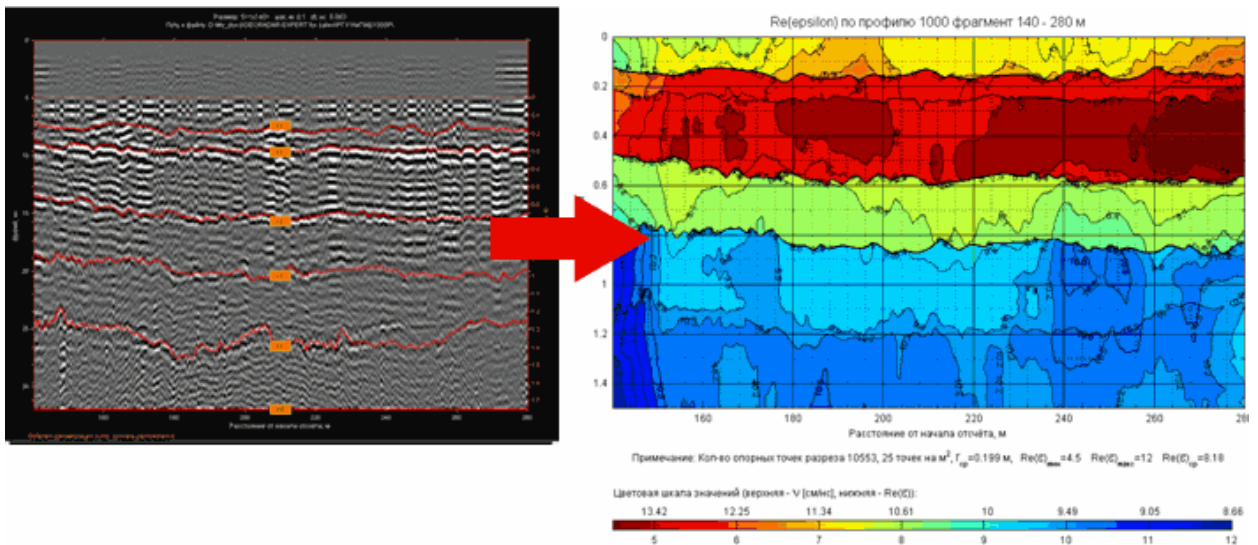


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Наряду с автоматизированным разделением исследуемой толщи на слои, в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрен режим нанесения границ слоёв на профиль вручную со следующими возможностями:

- Автоматический и ручной режимы пикировки границ;
- Назначение слою значений диэлектрической проницаемости и вручную как исходя из априорных данных о разрезе, так и опираясь на результаты анализа поля обратного рассеяния;
- Сохранение данных о положении границ слоёв в файл для последующей загрузки слоёв на профиль;
- Сохранение таблицы с информацией в формате электронных таблиц MS EXCEL по каждому слою по следующим пунктам: положение кровли слоя, подошвы слоя, толщина слоя – данные экспортируются с заданным пользователем шагом по профилю. Сохраняются в таблицу также средние значения по каждому из параметров слоя, а также площадь сечения слоя.



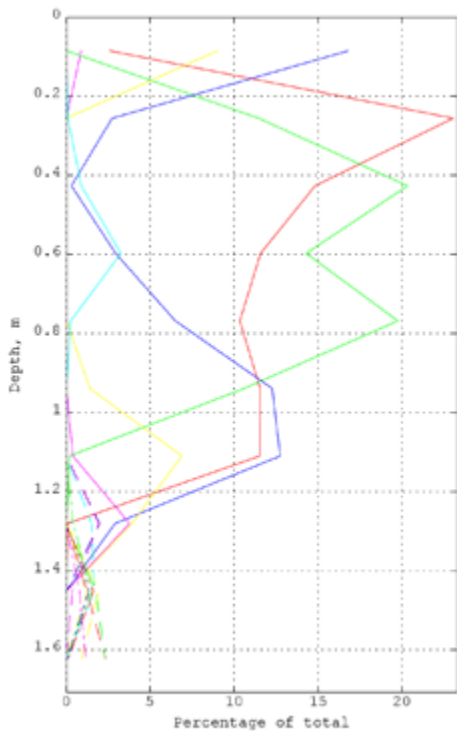
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Программа формирует графики и статистические данные пространственного распределения параметров для каждого значения атрибута разреза или 3D сборки:

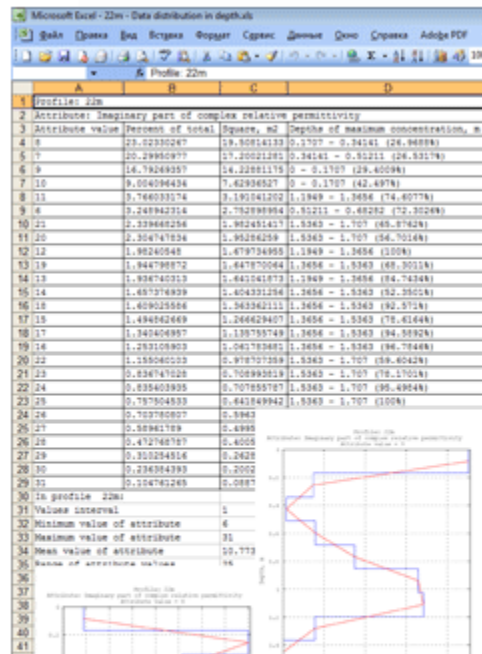
Profile: 22m
Attribute: Imaginary part of complex relative permittivity



Attribute values:

| | |
|----|------------|
| 8 | (23.023%) |
| 7 | (20.2995%) |
| 9 | (16.7927%) |
| 10 | (9.0041%) |
| 11 | (3.766%) |
| 6 | (3.2489%) |
| 21 | (2.3397%) |
| 20 | (2.3047%) |
| 12 | (1.9824%) |
| 19 | (1.9448%) |
| 13 | (1.9367%) |
| 14 | (1.6574%) |
| 18 | (1.609%) |
| 15 | (1.4949%) |
| 17 | (1.3404%) |
| 16 | (1.2531%) |
| 22 | (1.1551%) |

Minimum value of attribute: 6
Minimum value of attribute: 31
Mean value of attribute: 10.7738
Range of attribute values: 25



Для эффективного управления визуализации данных, в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализовано создание и редактирование уже созданных цветовых схем, возможность сохранения схем в файл и загрузка из файла в программу, управление яркостью, контрастностью, насыщенностью цвета, параметрами цветовой шкалы и порогами визуализации данных. Есть возможность автоматизированного создания цветовых схем на основе генератора случайных чисел. В программу встроены несколько десятков уже готовых цветовых схем для широкого спектра задач.

Наряду с перечисленными выше, в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ присутствуют все, ставшие уже традиционными в программах обработки георадиолокационных данных, опции цифровой обработки результатов георадарного профилирования, которые служат для подавления помех, выделения полезных сигналов, повышения детализации и разрешения радарограммы.

Помимо цифровой обработки, георадиолокационные профили можно обрезать, вырезать фрагменты внутри профиля, объединять несколько профилей в один, разбивать профиль на заданные фрагменты, изменять параметры профиля – длину, время регистрации трассы и т.д.

Для оптимизации длины георадиолокационных трасс и их количества в радарограмме, в программе предусмотрен ресемплинг сигналов, при помощи которого можно удалить избыточную информацию без потери качества данных, тем самым сократить размер файла профиля и время обработки, что немаловажно при больших объемах и малых сроках работ.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Программа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ поддерживает форматы данных георадаров большинства современных производителей (см. раздел <Поддерживаемые форматы данных>). Если программа не поддерживает какой-либо формат, данный формат может быть добавлен в программу по заявке пользователя.

Поддерживаемые форматы данных

Программа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ поддерживает следующие форматы данных георадиолокационного профилирования:

- **gpr, gpr2** – георадар ОКО (Россия);
- **sgy** – георадар ZOND (Латвия) и другие георадары, использующие этот формат;
- **dzt** – георадар GSSI SIR (США);
- **rd3** – георадар MÅLA RAMAC (Швеция);
- **dt** – георадар IDS Ris (Италия);
- **dt1** – георадар Pulse ЕККО (Канада);
- **gsf** – георадары Geoscanners АВ (Швеция);
- **??t** – георадар MÅLA (Швеция, ?? - это различные цифры в расширении файла);
- **txt** – георадар ЛОЗА (Россия) в текстовом формате с разделителем “;”, состоящим из трёх столбцов: № трассы, № точки трассы по глубине, амплитуда;

Если программа не поддерживает какой-либо формат, данный формат может быть добавлен в программу по заявке пользователя.

Следующие форматы файлов являются специализированными форматами программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ:

- **efd** - файл данных, содержащий матрицу сигналов георадиолокационного профиля, его параметры и результаты анализа поля обратного рассеяния (если таковой производился);
- **xzd** – файл данных разреза, используемый для формирования 3D сборки;
- **ge3d** – файл данных 3D сборки разрезов;
- **geprm** – файл настроек параметров построения разреза;
- **gescmap** – файл цветовой схемы разреза или 3D сборки;
- **gepro** – файл параметров обработки георадиолокационного профиля со всеми этапами обработки;
- **gelay** – файл данных пользовательских границ слоёв;
- **ge3ucs** – файл данных пользовательского сечения 3D сборки.

Скомпилированный файл справки

Чтобы открыть скомпилированный файл справки в формате **CHM** (Compiled Help Modules), следует щёлкнуть мышью пункт меню **User manual**, расположенный в группе меню **Help**. После того, как пользователь щёлкнет по данному пункту меню, программа отобразит информационную панель с предупреждением о том, что перед тем, как откроется окно скомпилированной справки, рабочее окно программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ будет свёрнуто. Если пользователь нажмёт кнопку отказа на информационной панели, программа отменит процесс открытия файла справки.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Программные требования и установка

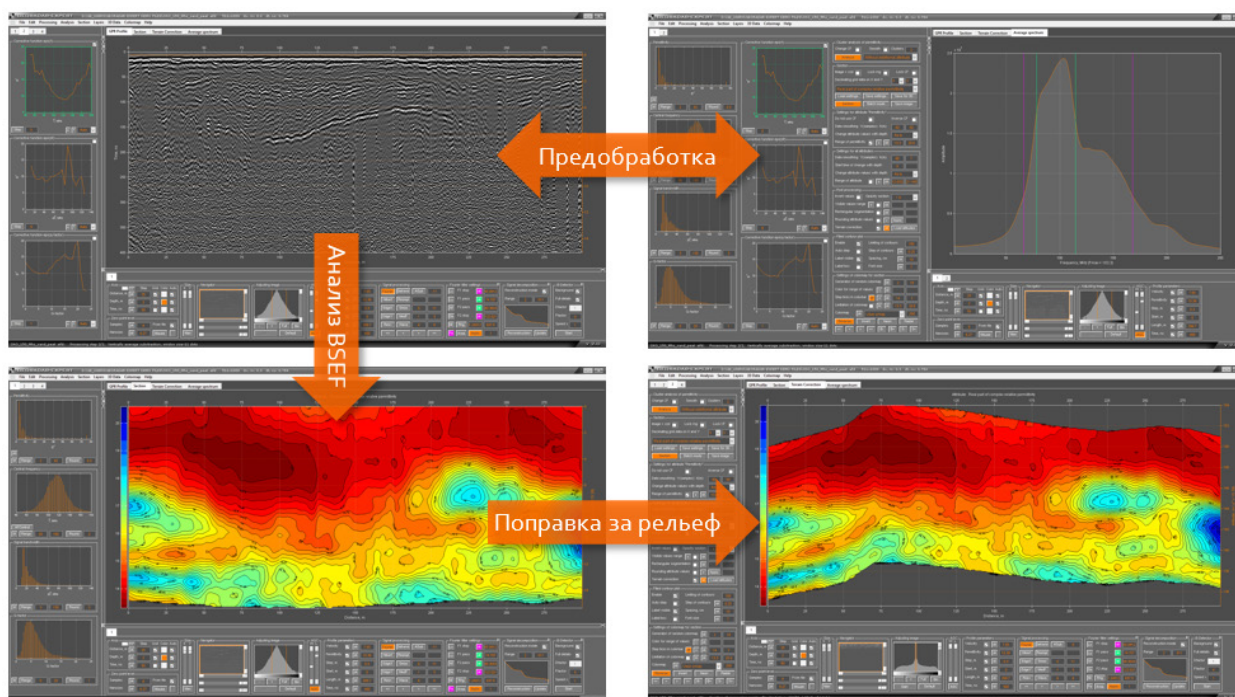
Программа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ работает на персональных компьютерах с процессором Intel Pentium или аналогичным ему с рабочей частотой не менее 1.5 ГГц под управлением операционной системы MS Windows XP и более поздних модификаций Windows. Для удовлетворительной работы программы в режиме 3D визуализации желательно иметь не менее 2 Гб системного ОЗУ и 512 Мб видео ОЗУ.

Программа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ инсталляции не требует, достаточно скопировать папку с дистрибутивом программы на жёсткий диск лицензионного компьютера. Программа запускается двойным щелчком левой кнопкой мыши по исполняемому файлу с расширением exe или по ярлыку, содержащему ссылку на исполняемый файл.

Более подробная инструкция по установке и регистрации программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предоставляется пользователю совместно с дистрибутивом программы.

Для формирования 3D сборки и возможности сохранения данных о положении слоёв и некоторых других данных в формате электронных таблиц необходимо наличие установленной на компьютере пользователя программы Microsoft Excel.

Внимание! Во избежание возможных ошибок отображения элементов интерфейса пользователя не рекомендуется использовать мониторы с разрешением более 120 точек на дюйм.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

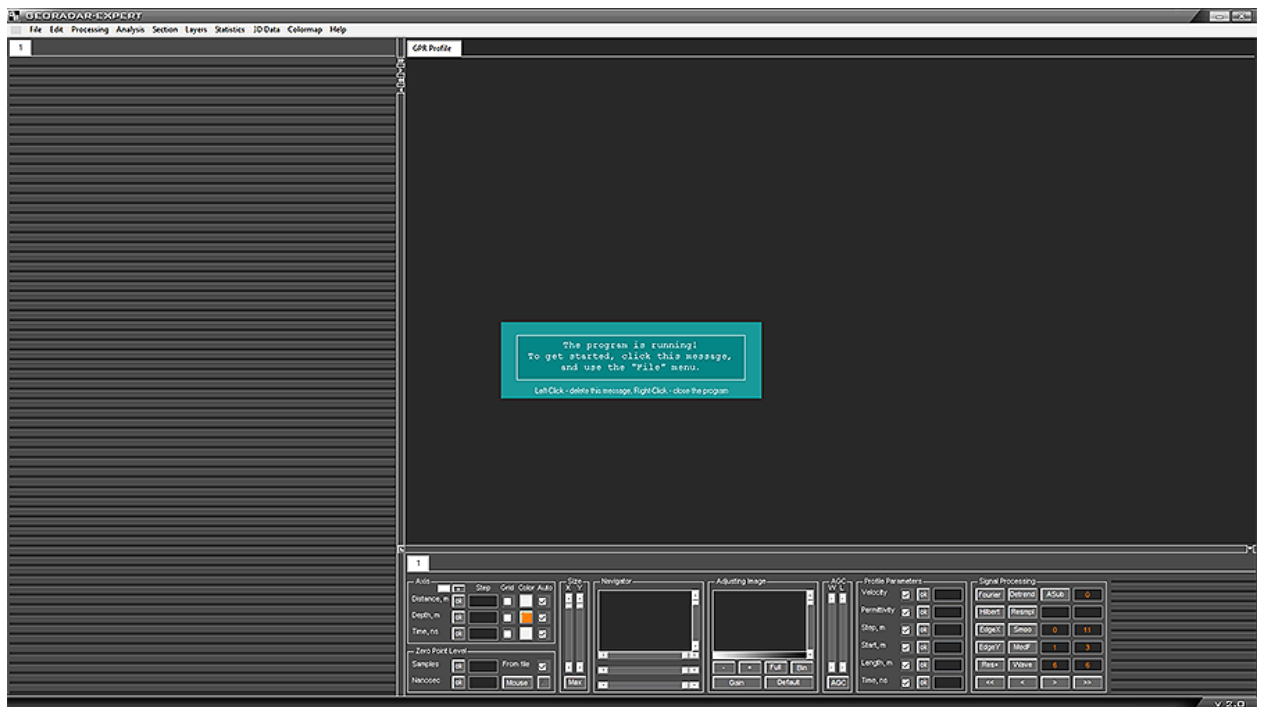
Интерфейс пользователя программой

Вкладки и информационная панель

На рисунке ниже показано рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ сразу после открытия. В центре окна отображается информационная панель, которая сообщает об успешной загрузке программы и возможности начинать работу. Когда информационная панель отображена в рабочем окне программы, элементы интерфейса программы заблокированы. Чтобы начать работу с программой, следует удалить сообщение, щелкнув по нему мышью.

Информационные панели отображаются, когда необходимо проинформировать пользователя о ходе выполнения вычислений или предоставить другую необходимую информацию. В одних случаях, удаление информационной панели происходит автоматически через несколько секунд. Например, при информировании об успешном сохранении файла. В других случаях, для удаления панели и разблокировки интерфейса программы, пользователю нужно щёлкнуть мышью по сообщению.

Рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ разделено на три части – левую, верхнюю и нижнюю. В левой и нижней части рабочего окна программы размещаются панели управления настройками параметров вычислений и визуализации. В верхней части (более тёмной по цвету) расположена область визуализации данных.



Каждая из выше перечисленных частей представляет собой группу вкладок, которые пользователь переключает между собой для отображения или скрытия тех или иных панелей управления настройками, принадлежащих этим вкладкам. Группы вкладок разделены между собой вертикальным и горизонтальным разделителями, на которых размещены кнопки управления размерами вкладок.

Для левой и нижней группы вкладок существует следующее правило создания новой вкладки: по мере открытия новых панелей управления настройками и заполнения первой вкладки (которая

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

уже создана по умолчанию), программа автоматически создаёт новую вкладку с порядковым номером в имени вкладки.

В верхней группе вкладок, для каждой новой визуализации (разрез атрибута, окно спектра сигналов и пр.) создаётся вкладка с именем, кратко характеризующим тип данных на этой вкладке. Сразу после запуска программы, в области визуализации уже присутствует пока ещё пустая вкладка, предназначенная для отображения волновой картины георадиолокационного профиля (радарограммы).

Пользователь может менять ширину левой группы вкладок, тем самым изменяя размер верхней и нижней группы вкладок. При этом автоматически, исходя из нового размера и количества панелей, принадлежащих группам вкладок, меняется и количество вкладок в группе. Левую и нижнюю группу вкладок можно полностью скрыть, максимально увеличив размер области визуализации.

Управление размером вкладок

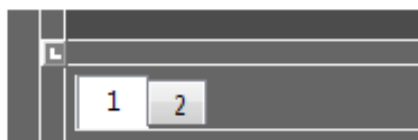


Управление шириной левой группы вкладок осуществляется при помощи кнопок, расположенных на вертикальном разделителе.

- Кнопка >> устанавливает максимальную ширину левой группы вкладок;
- Кнопка << скрывает левую группу вкладок;
- Кнопки < и > уменьшают и, соответственно, увеличивают ширину левой группы вкладок на фиксированную величину, равную ширине панелей настроек, которые там размещены.



Нижняя группа вкладок имеет фиксированную высоту и может быть скрыта или вновь отображена при помощи кнопки, расположенной в правой части горизонтального разделителя.



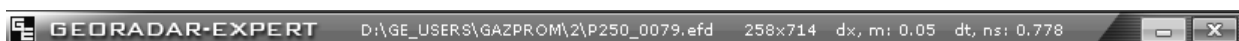
Одновременное скрытие левой и нижней группы вкладок производится при помощи кнопки, расположенной в области примыкания вертикального и горизонтального разделителей.



Повторное нажатие на данную кнопку приводит левую и нижнюю группы в исходное положение.

Заголовок окна программы

В заголовке окна программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ отображаются название программы, имя загруженного в программу файла, краткие характеристики его данных и, в правой части заголовка, кнопки сворачивания и закрытия окна.

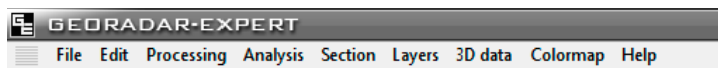


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Строка меню

Строка меню расположена под заголовком окна программ ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и содержит ссылки на все необходимые опции обработки данных, а также меню помощи.



Кнопка в начале строки меню, левее меню **File**, служит для установки окна программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ поверх других окон на мониторе компьютера. Данной кнопкой удобно воспользоваться, если какое-либо окно сторонней программы перекрыло рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ.

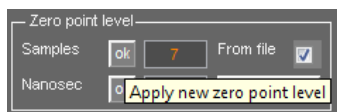
Строка сообщений

В нижней части окна программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ расположена строка сообщений:



В строке сообщений размещается информация о текущем шаге обработки георадиолокационного профиля, количество точек анализа поля обратного рассеяния и другая сопроводительная информация.

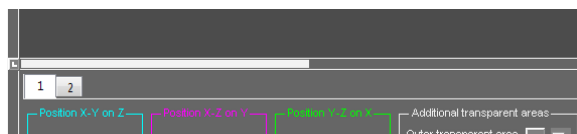
Всплывающие подсказки



подавляющее большинство элементов интерфейса - кнопки, окна ввода параметров, переключатели и разворачивающиеся списки, имеют всплывающие подсказки. Если немного задержать курсор мыши на элементе интерфейса, то возникнет строка пояснения к этому элементу.

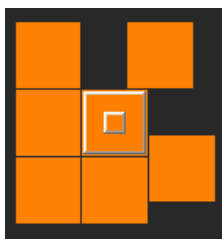
Для удаления всплывающей подсказки достаточно сдвинуть курсор мыши с этого элемента интерфейса.

Индикатор выполнения



Индикатор выполнения расположен на горизонтальном разделителе группы вкладок. Индикатор выполнения служит для отображения хода выполнения вычислений..

Индикатор ожидания



Индикатор ожидания состоит из вращающихся оранжевых прямоугольников вокруг прямоугольного центра. Индикатор ожидания отображается в случае, когда элементы пользовательского интерфейса программы не могут взаимодействовать с пользователем в процессе выполнения расчётов.

В центре индикатора ожидания расположены две квадратные кнопки оранжевого цвета – большая и малая. При помощи большой кнопки можно завершить выполнение программы. Эта кнопка дублирует кнопку выхода из программы, которая расположена в правом верхнем углу рабочего окна программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Малая кнопка расположена поверх большой кнопки по центру и служит для удаления текущего индикатора ожидания.

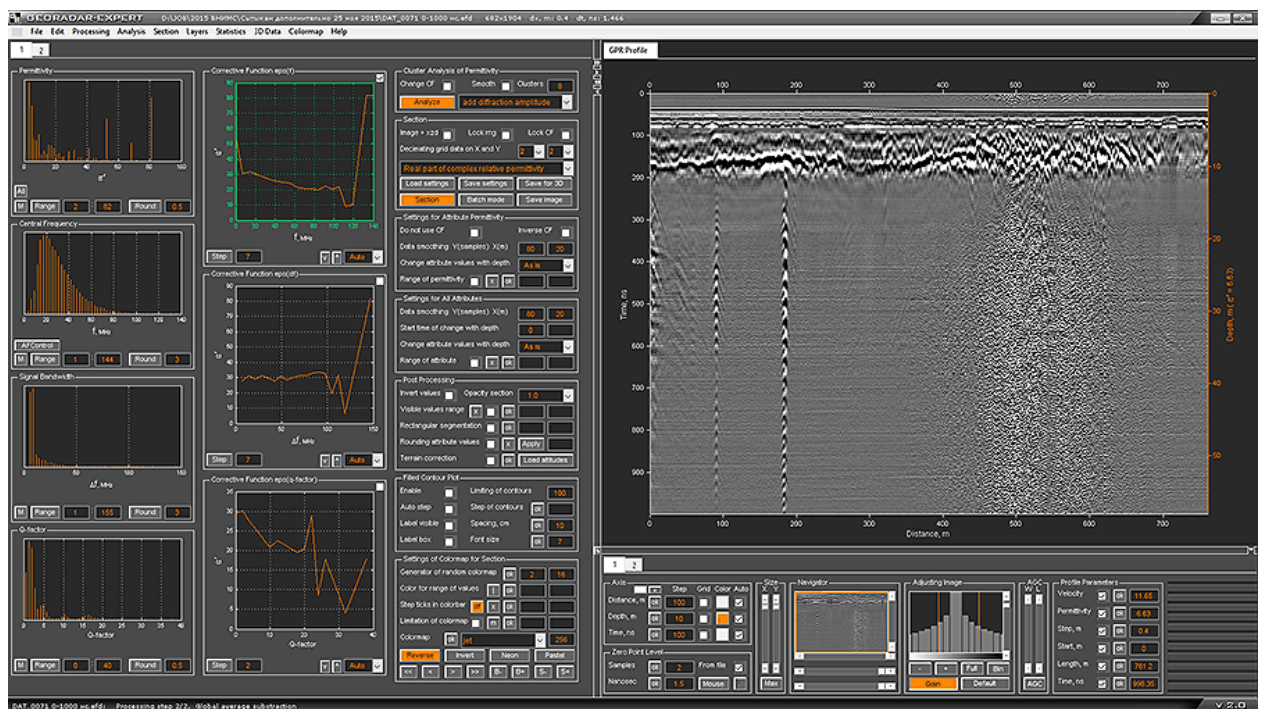
Конфигурация рабочего пространства для работы в режиме 2D

Режим 2D – это работа с двумерными данными – георадиолокационными профилями и разрезами, построенными на основе результатов анализа поля обратного рассеяния этих профилей. На рисунке ниже показано окно программы в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D. Загружен георадиолокационный профиль с результатами анализа поля обратного рассеяния.

В левой группе вкладок активна первая вкладка с размещённой на ней графической информацией, отображающей статистические зависимости параметров поля обратного рассеяния.

На нижней группе вкладок размещены панели управления визуализацией волновой картины георадиолокационного профиля, параметров шкал, свойств профиля и пр.

При помощи инструментов визуализации можно регулировать растяжку волновой картины профиля по горизонтали и по вертикали, прокручивать его в окне визуализации, менять пропорции окна визуализации, профиль усиления по глубине и пороги отображения (более подробно – в разделе <Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля>).

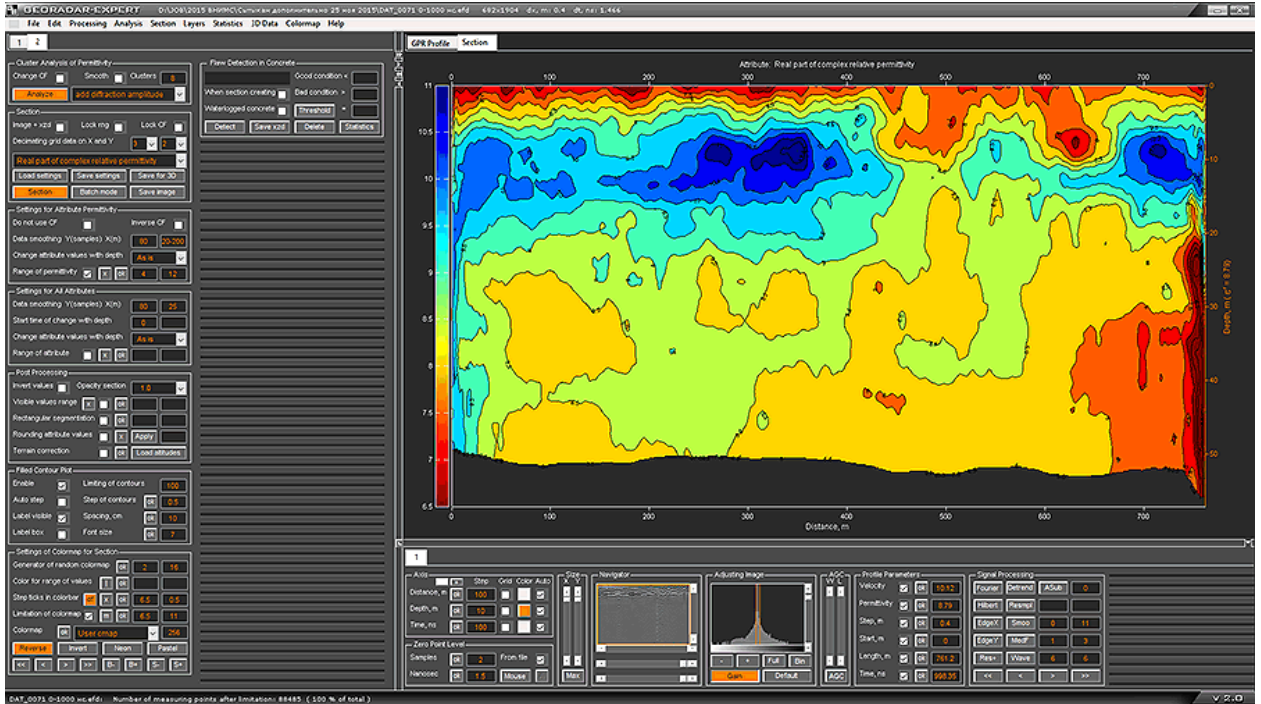


На следующем рисунке показано окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с вкладкой Section визуализации рассчитанного, на основе результатов анализа поля обратного рассеяния, разреза, и левой вкладкой, на которой размещены панели управления созданием и визуализацией разреза (включен режим отображения разреза в виде графика с изолиниями).

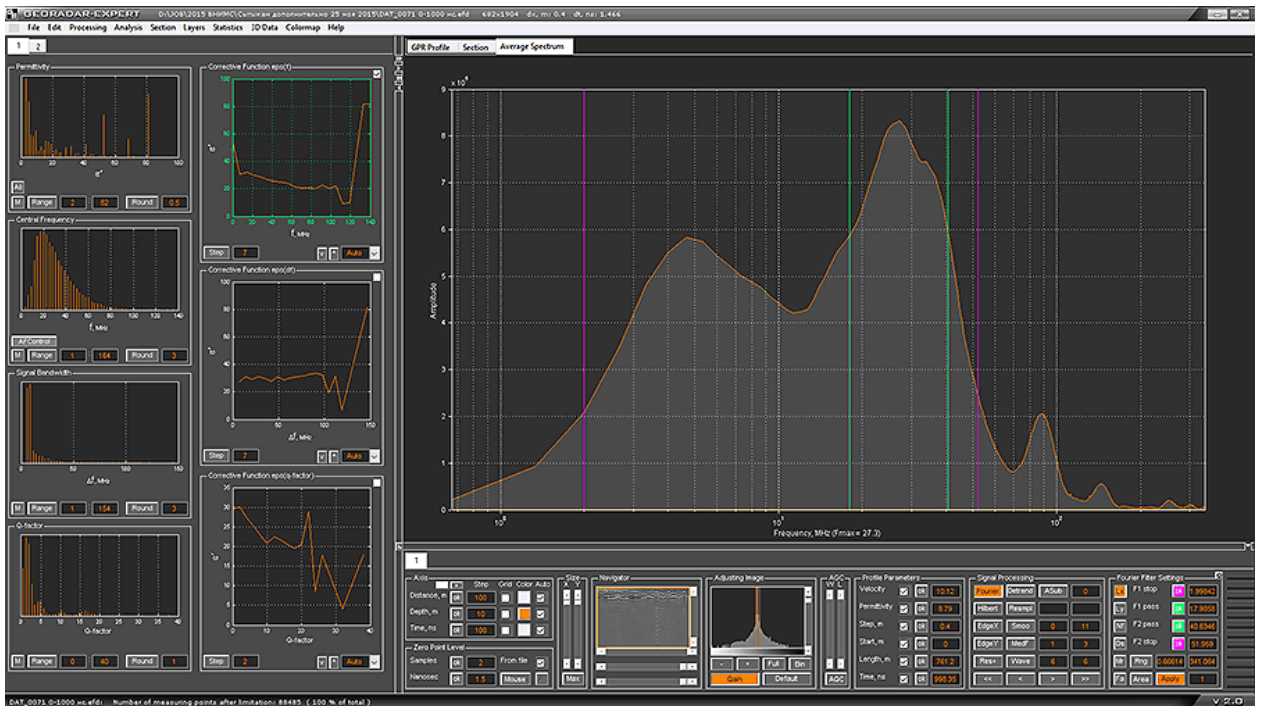
Над верхней шкалой разреза отображается наименование атрибута разреза. Слева от разреза расположена активная цветовая шкала. В зависимости от нажатой клавиши мыши, длительности её удержания и расположения курсора на цветовом поле шкалы, можно редактировать цветовую схему разреза (палитру).

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



На следующем рисунке в области визуализации данных активирована вкладка амплитудно-частотного спектра сигналов георадиолокационного профиля. В нижней группе вкладок, помимо элементов управления визуализацией георадарного профиля, размещается панель доступа к опциям цифровой обработки сигналов с активированным режимом частотной фильтрации (при нажатой кнопки **Fourier** открыта панель настройки частотной фильтрации **Fourier filter settings**):

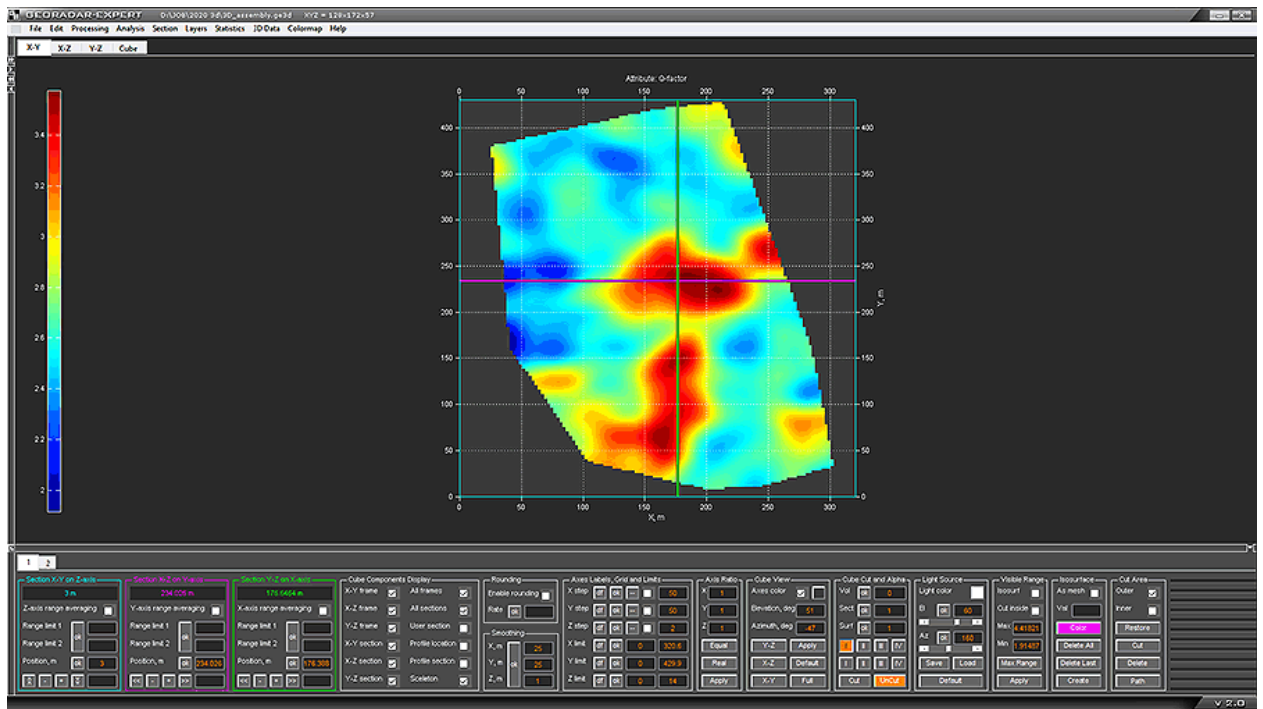


Конфигурация рабочего пространства для работы в режиме 3D

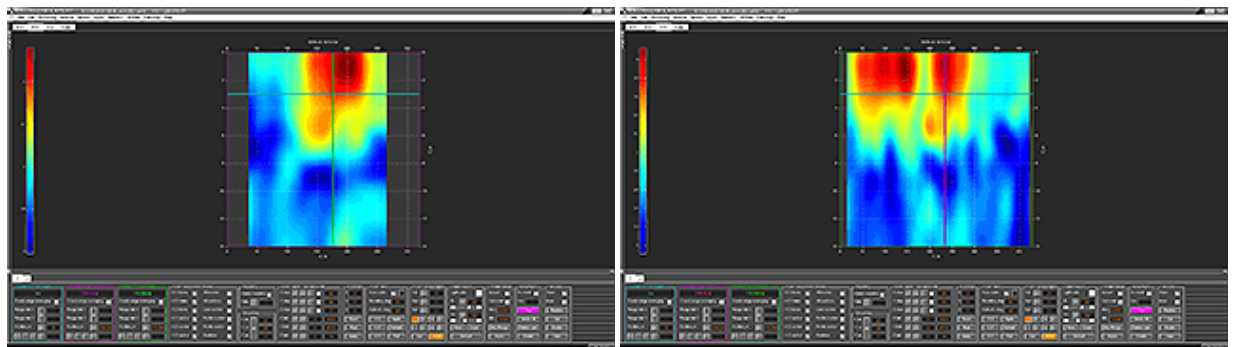
В отличие от конфигурации рабочего пространства для 2D, в режиме 3D соотношение размеров группы вкладок остаётся неизменным, причём левая группа вкладок, предназначенная для визуализации и управления результатами анализа **BSEF**, находится в скрытом состоянии. В области визуализации данных размещены четыре вкладки. Первые три – для отображения ортогональных секущих плоскостей 3D сборки (**X-Y**, **X-Z** и **Y-Z**), а четвёртая вкладка - **Cube**, предназначена для отображения 3D сборки в изометрической проекции. В данной главе будут кратко представлены основные возможности режима 3D визуализации. Вся подробная информация содержится в разделе <Трёхмерная визуализация>.

На рисунке ниже показана вкладка горизонтальной секущей плоскости **X-Y**. Щёлкая мышью по изображению сечения, пользователь меняет положение двух других сечений – **X-Z** и **Y-Z**. На вкладках остальных ортогональных сечений пользователь также может управлять положением двух других сечений при помощи мыши.

Помимо действий мышью, пользователь может точно настроить положение сечений на панелях настроек, для удобства имеющих цвет рамок, соответствующих цвету рамок сечений на 3D виде вкладки **Cube**. Панели управления положением сечений находятся на первой вкладки слева:



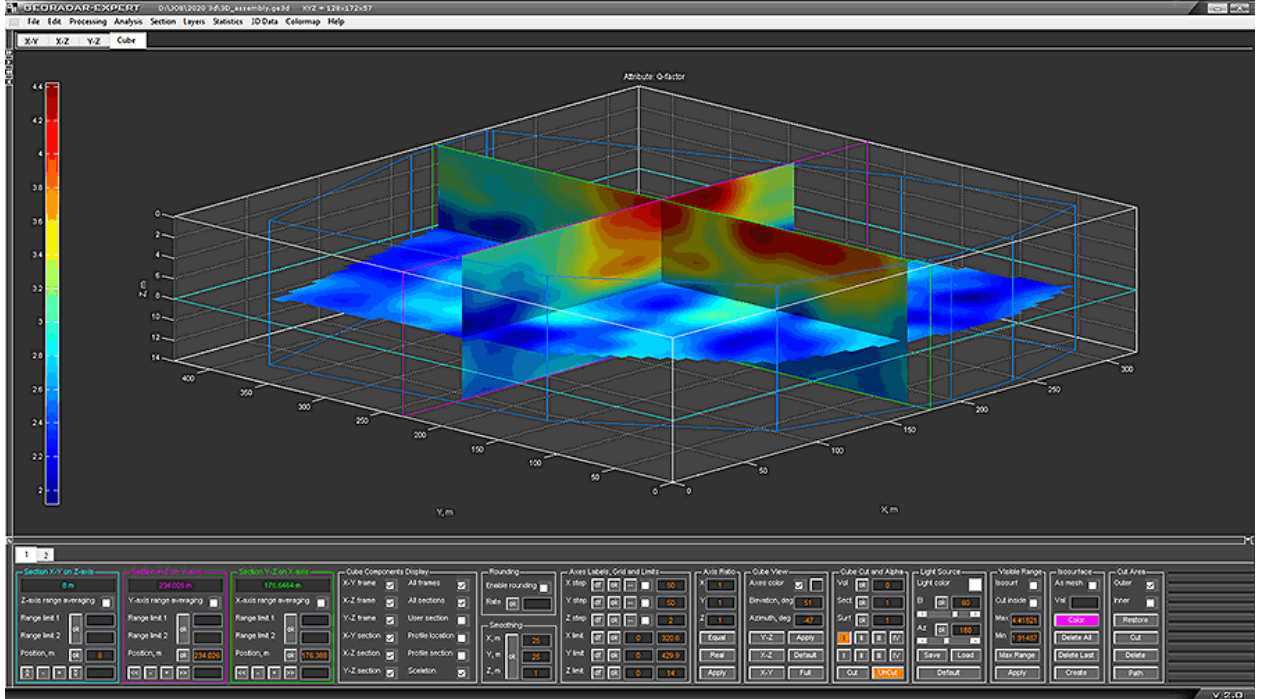
Открытые вкладки двух других ортогональных сечений - **X-Z** и **Y-Z**:



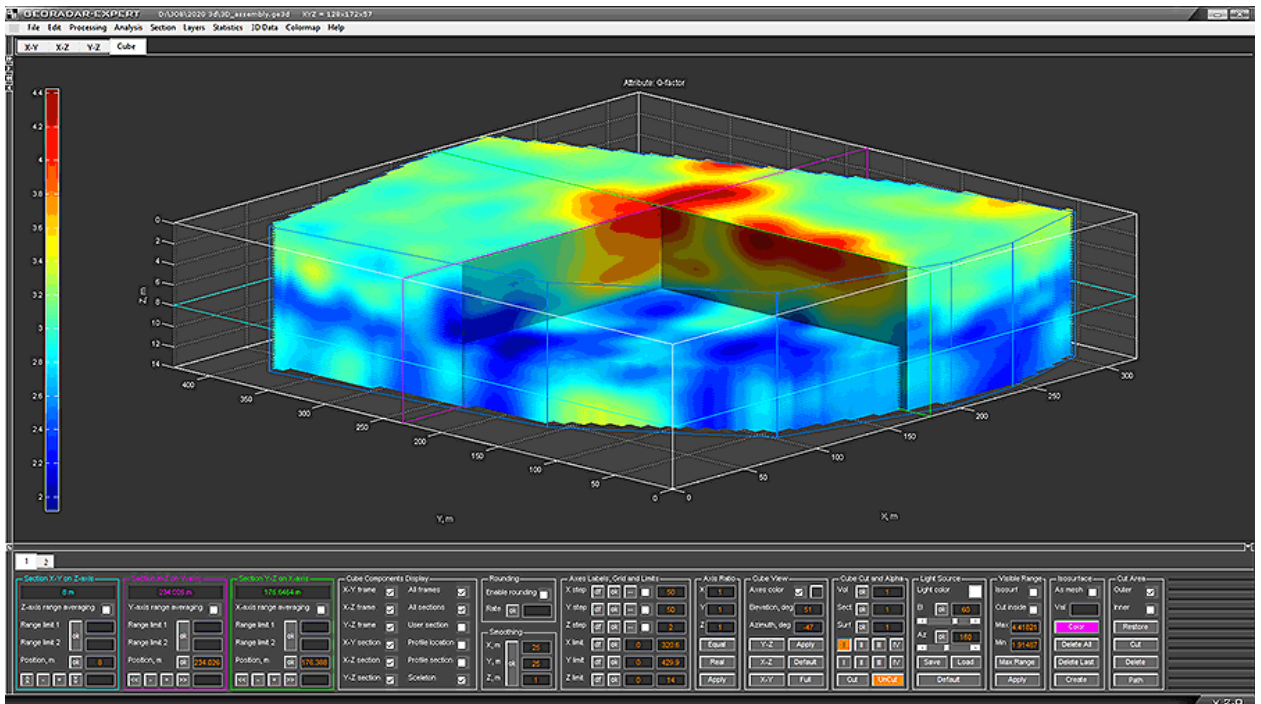
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунке ниже показана вкладка **Cube** для отображения изометрической проекции 3D – сборки. Она может быть показана в виде комбинации ортогональных секущих плоскостей:



Или в виде объёма. В данном случае пользователь вырезал его верхнюю четверть:



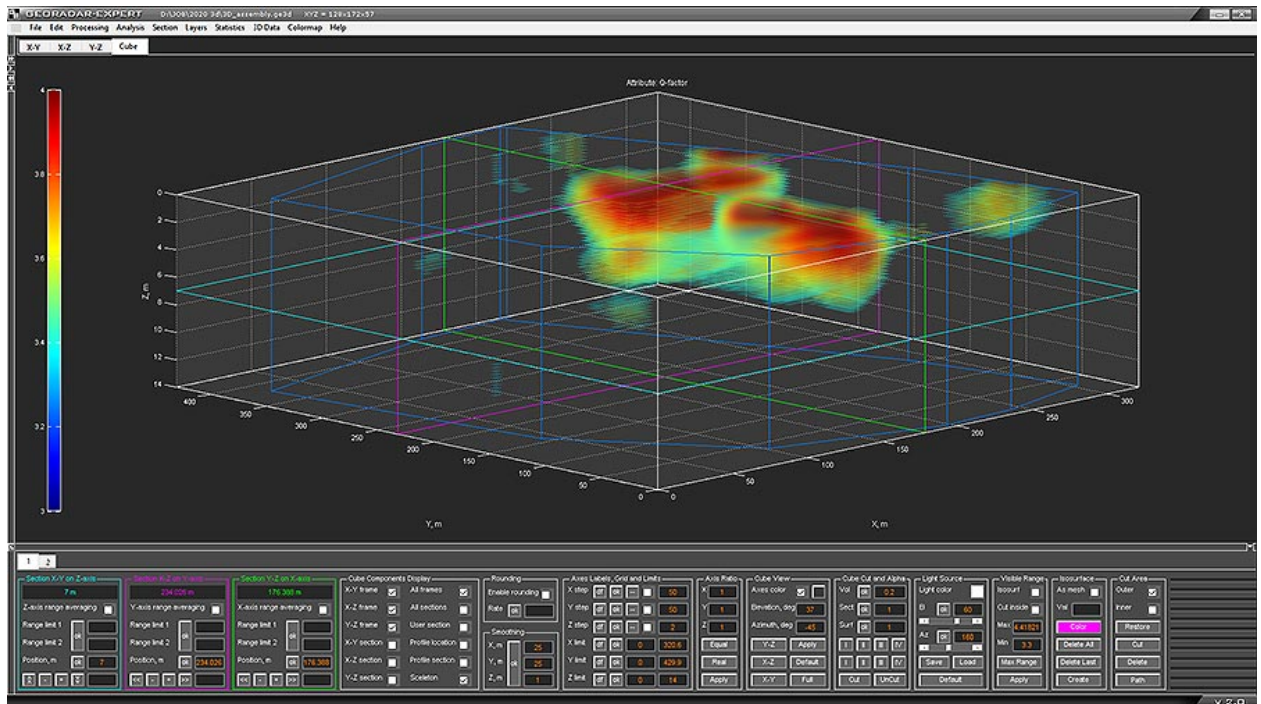
Пользователь может управлять положением 3D-сборки, вращая её мышью. Для вращения 3D-сборки нужно навести указатель на изображение куба, и удерживая левую кнопку мыши, двигать её в нужном направлении – куб вращается вслед за перемещением мыши.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Управлять положением 3D-сборки, также можно при помощи соответствующих элементов интерфейса, вводя значения азимута и угла места.

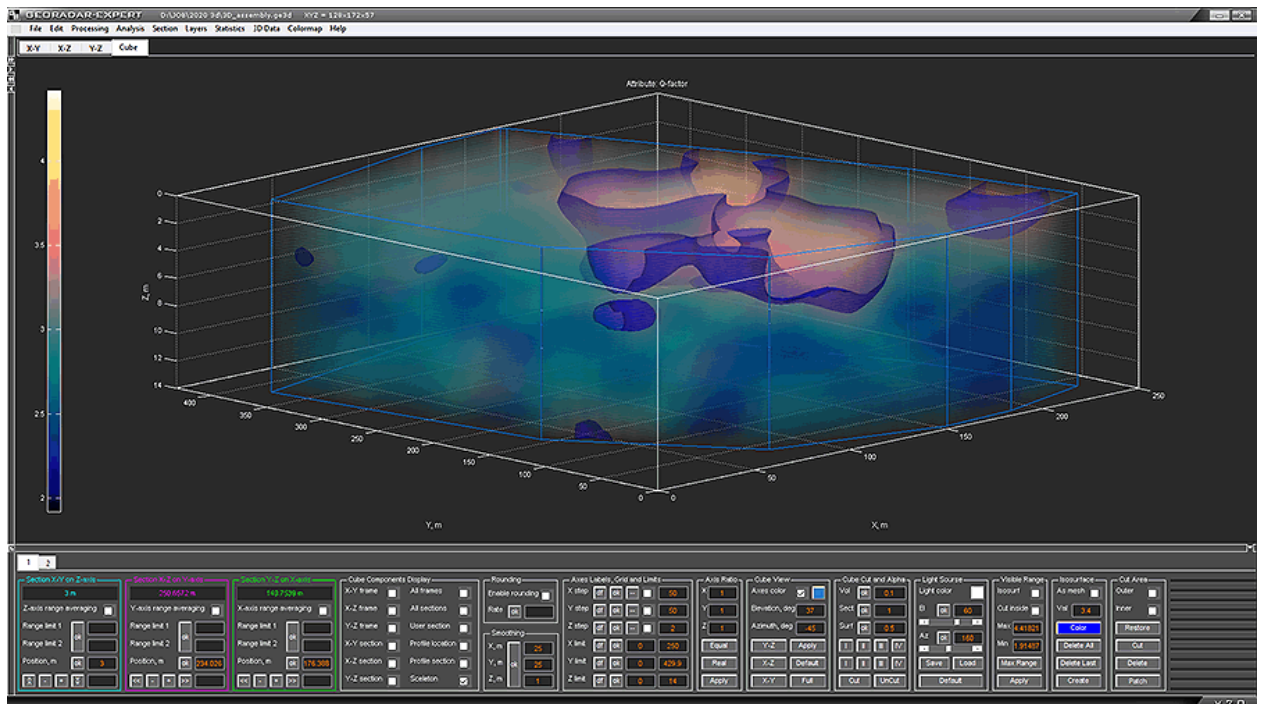
Пользователь может управлять видимостью массива 3D сборки в зависимости от заданного диапазона значений атрибута или определяя области видимости, а также степень прозрачности сечений, массива 3D сборки и изоповерхностей на осях изометрической проекции. На рисунке ниже показан результат ограничения диапазона атрибута. Области 3D сборки со значениями вне заданного диапазона скрыты, а области видимого диапазона сделаны полупрозрачными.



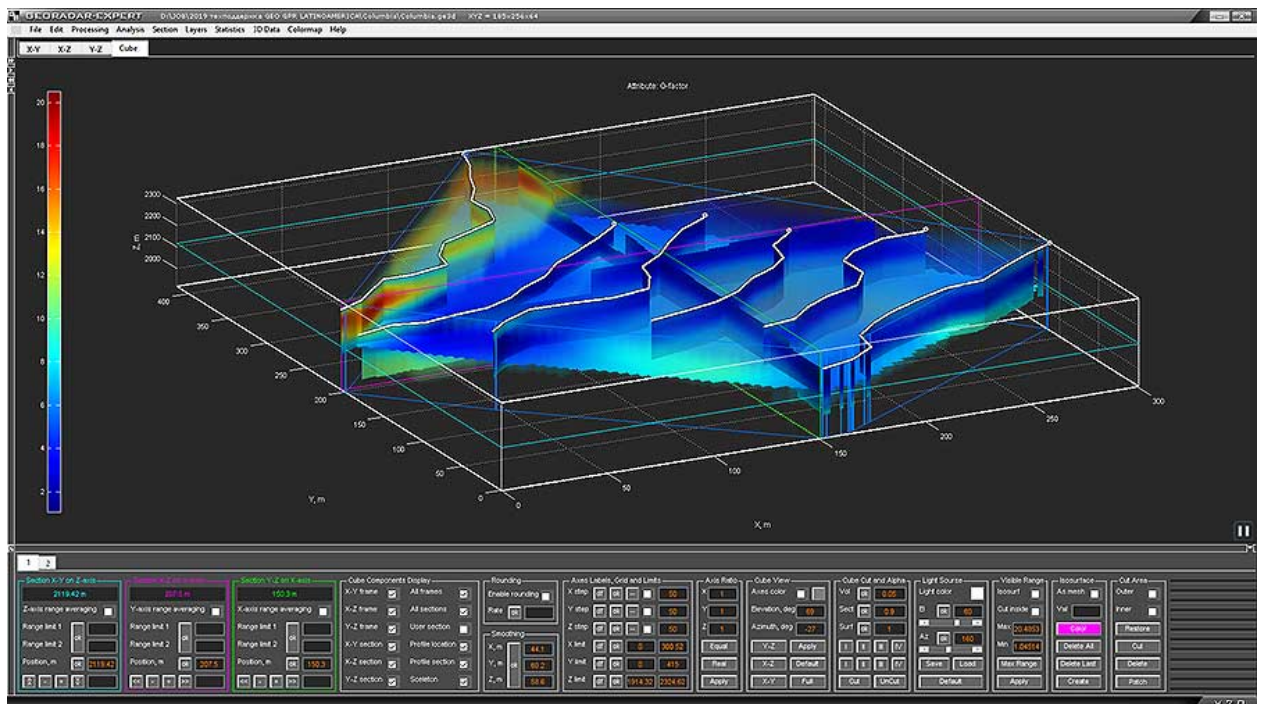
Для визуализации границ, проходящих через заданные значения атрибута, пользователь может создавать изоповерхности. При помощи изоповерхностей удобно выделять области 3D сборки, содержащие заданный пользователем диапазон значений атрибута – см. рисунок ниже. Для каждой области, ограниченной изоповерхностью, можно рассчитать объём.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



В режиме 3D могут быть визуализированы результаты площадного георадарного исследования как в виде прямолинейных георадарных профилей, так и в виде профилей произвольной формы и ориентации в пространстве, например, с учётом поправки за рельеф. На рисунке ниже показаны ортогональные сечения, а также вертикальные сечения 3D сборки в местоположении георадарных профилей, с учётом поправки за рельеф по данным GPS модуля. Для массива 3D сборки назначена высокая степень прозрачности.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Снимок экрана

Чтобы сделать и сохранить снимок экрана в пределах рабочего окна программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, следует воспользоваться пунктом меню **Save screenshot** из группы меню **File**. После щелчка левой кнопки мыши по данному пункту меню откроется окно сохранения снимка экрана в графический формат **png**. После нажатия кнопки сохранения, снимок экрана будет сохранен в выбранную, пользователем, директорию.

Открытие директории расположения файла в проводнике Windows

Для того чтобы открыть место расположения файла загруженного в программу георадиолокационного профиля или 3D сборки в проводнике Windows, следует воспользоваться пунктом меню **Open current directory** из группы меню **File**. После щелчка левой кнопки мыши по данному пункту меню, окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ будет минимизировано, а папка, в которой расположен файл профиля, откроется в проводнике.

Чтобы развернуть окно программы на весь экран, следует щёлкнуть по значку программы, расположенному на панели задач, которое, как правило, расположено в нижней части Рабочего стола операционной системы. На рисунке ниже, значок программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на панели задач – крайний справа:

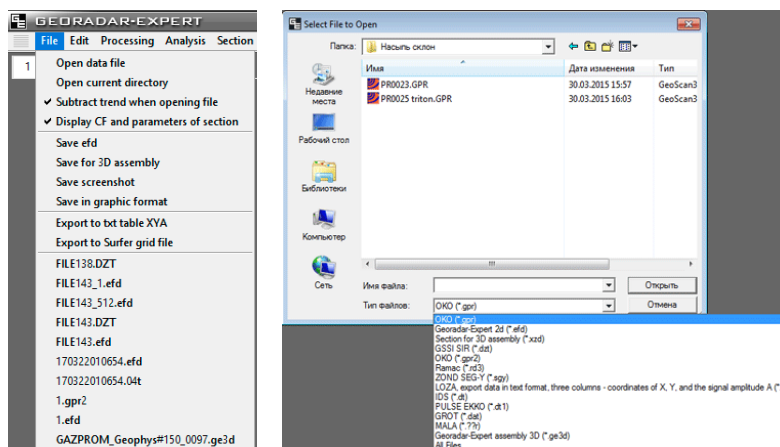


Начало работы с георадиолокационным профилем

Загрузка файла профиля

Чтобы открыть георадиолокационный профиль в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ следует воспользоваться меню **Open data file**, расположенным в группе меню **File**, или выбрать имя профиля в списке последних открытых файлов, расположенных в нижней части группы меню **File**.

После нажатия на строку меню **Open data file** откроется окно выбора файлов **Select File to Open**. В этом окне нужно щёлкнуть по имени файла профиля, после чего георадиолокационный профиль будет загружен и отобразится в области визуализации на вкладке **GPR profile**.



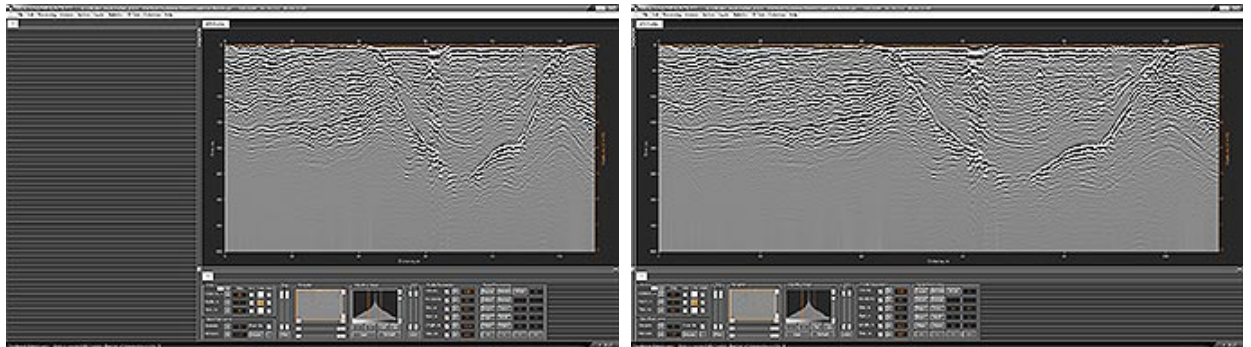
Если в выбранной директории нужные файлы не отображаются, следует проверить, верно ли выбран тип файла в раскрывающемся списке поддерживаемых типов в нижней части окна выбора файлов.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

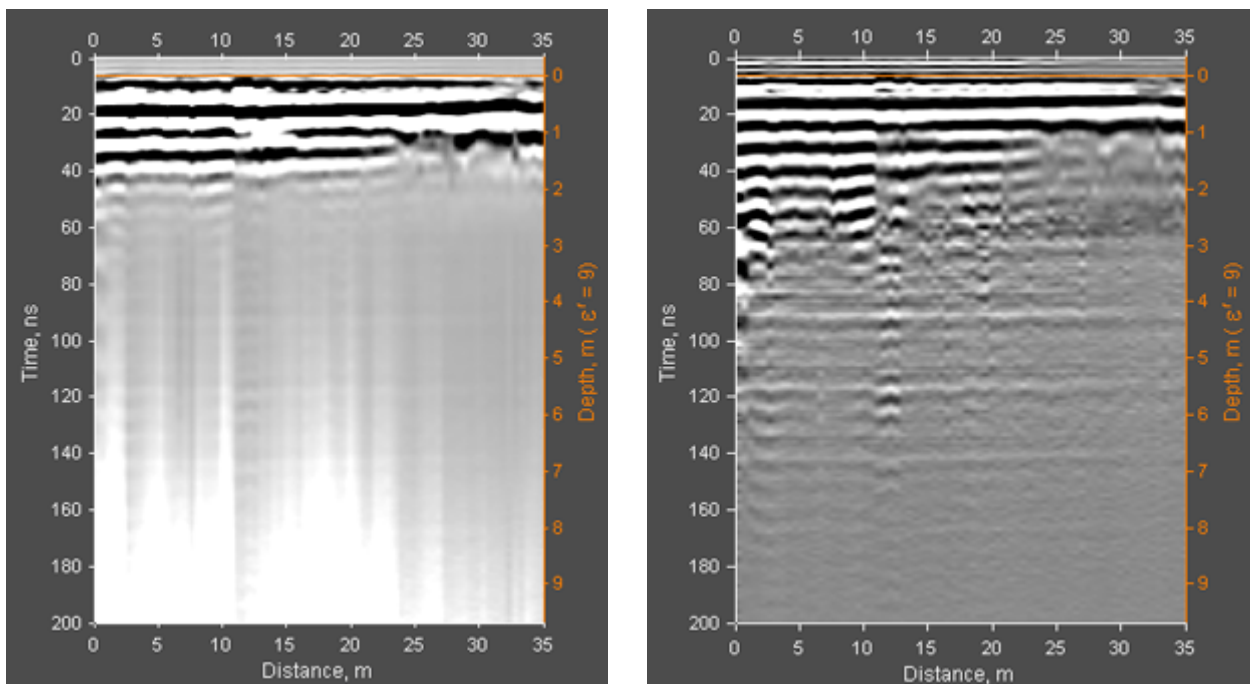
На рисунке ниже слева показано рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с загруженным файлом профиля. Пустая область в левой части окна предназначена для размещения панелей, относящихся к результатам анализа поля обратного рассеяния и построения разреза. Они автоматически загрузятся после проведения анализа поля.

Если файл профиля не содержит результатов анализа поля обратного рассеяния, то левую группу вкладок можно скрыть, воспользовавшись кнопкой << на вертикальном разделителе группы вкладок (рисунок справа).



Размер и пропорции радарограммы можно отрегулировать слайдерами X и Y на панели **Size** нижней группы вкладок, а настройку изображения – элементами управления на панели **Adjusting Image** (более подробно см. в разделе <Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля>).

Если во время загрузки профиля в программу стоит галочка напротив пункта меню **Subtract Trend When Opening File**, то в процессе загрузки радарограммы автоматически производится удаление аппаратного тренда в виде низкочастотных компонент, период которых превышает длину георадиолокационной трассы. Подобные помехи обусловлены дрейфом нуля регистрирующей аппаратуры или ошибками интегрирования сигнала. По умолчанию эта опция активирована. На рисунке ниже показан профиль, который содержит аппаратный тренд (рисунок слева) и результат автоматического удаления тренда при загрузке (рисунок справа):



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если открываемый файл содержит результаты анализа поля обратного рассеяния и стоит галочка напротив пункта меню **Display CF and Parameters of Section**, то после загрузки профиля, в левой группе вкладок размещаются панели, относящиеся к результатам анализа поля обратного рассеяния и построения разреза. В противном случае, эти данные после загрузки профиля, не отображаются, однако пользователь в любой момент может активировать данный пункт меню, чтобы эти панели были открыты.

После того, как данные георадиолокационного профиля загружены, ссылка на файл профиля размещается в самой нижней строке списка последних открытых файлов, расположенных в нижней части группы меню **File**, а тип этого файла становится типом файла по умолчанию в окне выбора файла.

Если производится загрузка георадиолокационного профиля при загруженной 3D сборке, то рабочее окно программы в конфигурации 3D режима плавно станет невидимым, после чего на экране монитора компьютера отобразится сообщение о загрузке георадиолокационного профиля.

Сообщение будет автоматически удалено после отображения рабочего окна программы в 2D режиме.

Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля

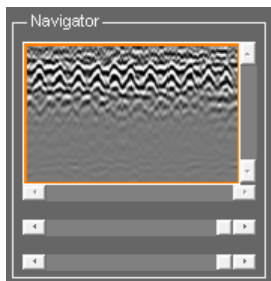
Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля осуществляется при помощи элементов управления, расположенных на панелях **Size**, **Navigator** и **Adjusting image**. Эти панели принадлежат нижней группе вкладок и являются не удаляемыми, в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D.



Панель Size

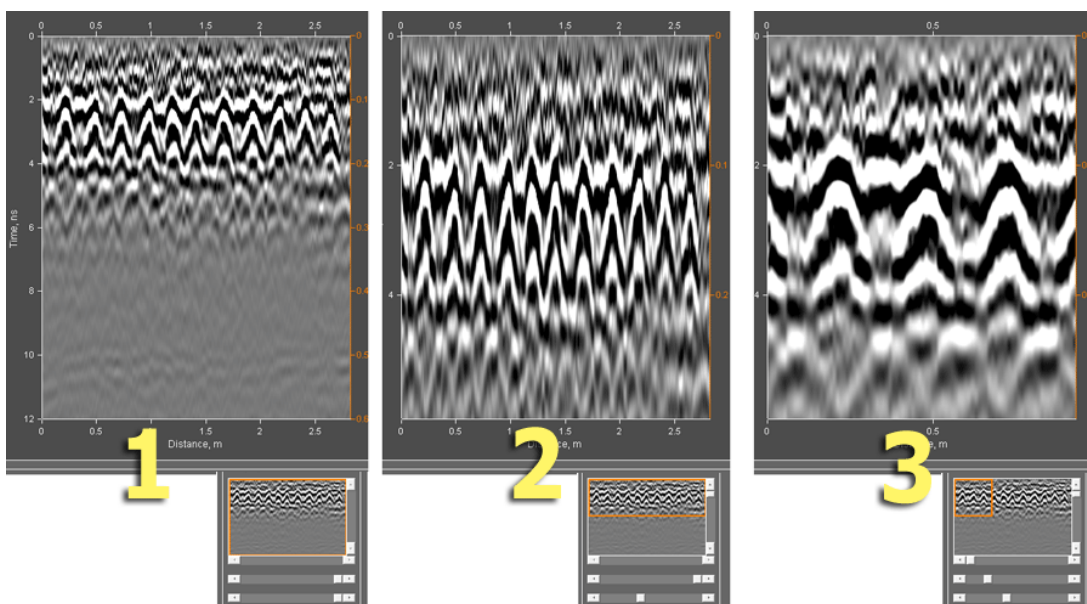
Панель **Size** предназначена для изменения размеров и пропорций георадиолокационного профиля. При помощи слайдера **X** изменяется размер по горизонтали, слайдер **Y** меняет размер по вертикали. Для установки максимально возможного размера профиля следует перевести регуляторы обоих слайдеров в крайнее верхнее положение, или нажать кнопку **Max**.

Панель Navigator



Панель **Navigator** предназначена для увеличения масштаба изображения георадиолокационного профиля и навигации по изображению. Панель включает в себя окно навигации, в котором отображается волновая картина профиля в полном объёме и слайдеров изменения масштаба и прокрутки изображения. Когда профиль отображён полностью, оранжевая рамка в окне навигации имеет максимальный размер (рисунок 1), а слайдеры прокрутки изображения, расположенные вплотную к нижней и правой границам окна навигации, не активны.

Для увеличения масштаба по вертикальной оси следует сместить регулятор самого нижнего горизонтально ориентированного слайдера влево. Чем левее будет расположен регулятор слайдера, тем крупнее будет масштаб (результат увеличения масштаба по вертикали показан на рисунке 2). Для увеличения масштаба по горизонтальной оси служит второй снизу горизонтально ориентированный слайдер (результат увеличения масштаба по горизонтали показан на рисунке 3). Таким образом, в области визуализации профиля отображаются те сигналы, которые находятся внутри оранжевой рамки:



Для прокрутки изображения в увеличенном масштабе по горизонтали служит горизонтально ориентированный слайдер, расположенный вплотную к окну навигации снизу, для прокрутки

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

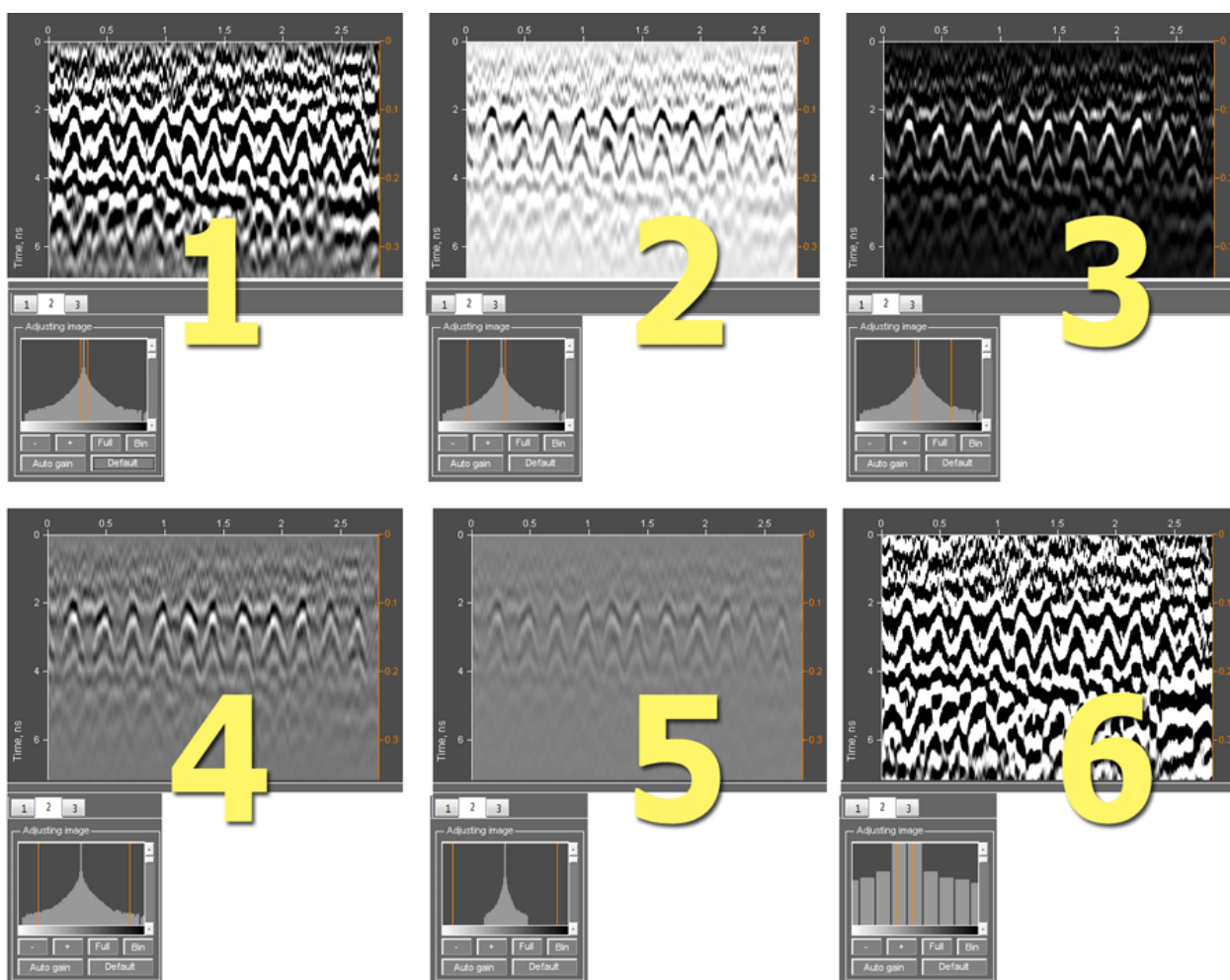
изображения по вертикали служит вертикально ориентированный слайдер, расположенный вплотную к окну навигации справа.

Для отображения георадиолокационного профиля в полном объёме, следует перевести регуляторы двух нижних горизонтально ориентированных слайдеров в крайнее правое положение, или произвести двойной щелчок мыши по области навигации.

Панель Adjusting Image

Панель **Adjusting Image** служит для регулировки уровней яркости и контраста, а также выравнивания сигналов георадиолокационного профиля по глубине. Панель включает в себя окно гистограммы яркости с визирками порогов отображения (вертикальные линии оранжевого цвета) и кнопки установки режимов. Снизу к окну гистограммы яркости примыкает вспомогательное окно градиента яркости, облегчающее пользователю управление порогом отображения.

Визирка, расположенная левее, регулирует уровень белого цвета в изображении георадиолокационного профиля и перемещается одинарным щелчком левой кнопки мыши в области окна гистограммы. Визирка, расположенная правее, регулирует уровень черного цвета и перемещается одинарным щелчком правой кнопки мыши в области окна гистограммы. На рисунках ниже показано изображение профиля в зависимости от положения визирок:



По умолчанию (сразу после открытия файла профиля или после нажатия кнопки **Default**), визирки занимают положение по уровню -3 dB от максимума гистограммы в обе стороны (рисунок 1). При

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

перемещении левой визирки влево повышается уровень белого (рисунок 2), правой визирки вправо – уровень черного (рисунок 3).

Для уменьшения контраста следует развести визирки как можно дальше от положения максимума гистограммы (рисунок 4). Если в пределах гистограммы уменьшение контраста недостаточно, можно нажать кнопку со знаком минуса. В этом случае уменьшится масштаб гистограммы и визирки можно раздвинуть ещё дальше (рисунок 5).

Если требуется увеличить контраст, нужно сдвигать визирки ближе к максимуму. Если визирки расположены так близко к центру и друг к другу, что позиционировать их затруднительно, можно нажать кнопку со знаком плюса и масштаб гистограммы увеличится (рисунок 6). Чтобы установить максимальный контраст – т.е. сделать изображения двуцветным, без полутонов, следует нажать кнопку **Bin**.

Чтобы отменить изменение масштаба гистограммы, следует нажать кнопку **Full** – гистограмма яркости будет отображена в окне полностью. Для установки визирок и изображения гистограммы в конфигурации по умолчанию следует нажать кнопку **Default**.

Чтобы осуществить выравнивание сигналов георадиолокационного профиля по глубине следует воспользоваться вертикально ориентированным слайдером, примыкающий к окну гистограммы справа. Крайнее верхнее положение регулятора слайдера соответствует нулевому усилению на максимальной глубине, крайнее нижнее положение – максимальному усилению на максимальной глубине.

По умолчанию, профиль выравнивания сигналов является линейным. Чтобы включить автоматическую регулировку профиля выравнивания, следует нажать на кнопку **Auto gain** (с марта 2017 г. кнопка называется **Gain**).

Панель AGC



Панель **AGC** (Automatic Gain Control) служит для автоматической регулировки усиления сигналов георадиолокационного профиля. Для активации режима автоматической регулировки усиления нужно нажать кнопку **AGC**.

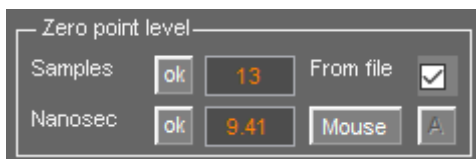
Слайдер **W** (Window) расположен в левой части панели **AGC** и послужит для управления размером окна усиления. Слайдер **L** (Level) расположен в правой части панели **AGC** и послужит для управления уровнем усиления. Крайнее верхнее положение ползунков слайдеров соответствует максимальным значениям параметров.

Изменяя размер окна усиления слайдером **W**, пользователь меняет фокусировку автоматического усиления. Чем меньше размер окна усиления (ниже положение ползунка слайдера **W**), тем меньше влияние AGC на низкочастотные сигналы и наоборот.

Таким образом, AGC является частотно-зависимым автоматическим усилением: в верхних положениях слайдера **W** автоматическое усиление влияет, в большей степени, на НЧ сигналы, в нижних положениях – на ВЧ сигналы.

Когда кнопка **AGC** находится в нажатом положении, кнопка **Gain** на панели **Adjusting Image** недоступна. При отключении режима **AGC** кнопка **Gain** становится активной. Таким образом, может быть доступен только один вид автоматической регулировки усиления – или выравнивание сигналов по глубине, активируемое кнопкой **Gain**, или автоматическая регулировка усиления, включаемое при помощи кнопки **AGC**.

Установка ноля шкалы глубины



Положение нуля шкалы глубин радарограммы регулируется на панели **Zero Point Level** которая принадлежит нижней группе вкладок и является неубираемой, в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D. Устанавливать ноль шкалы глубин

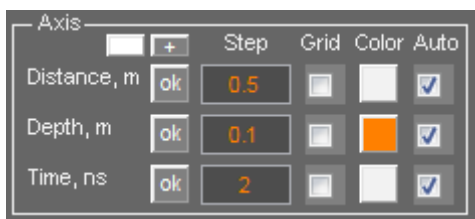
можно несколькими способами:

- Ввести значение положения нуля шкалы глубин в наносекундах в окно ввода параметра **Nanosec**, после чего нажать кнопку **ok**, расположенную левее;
- Ввести номер точки георадиолокационной трассы в окно ввода параметра **Samples**, после чего нажать кнопку **ok**, расположенную левее;
- Нажать кнопку **Mouse**, навести курсор на изображение профиля, щёлкнуть один раз левой кнопки мыши (уровень нуля займёт положение курсора по вертикали), отжать кнопку **Mouse**. Когда кнопка **Mouse** находится в нажатом положении, становится доступной кнопка **A** – автоматическая установка ноля шкалы глубин. Когда кнопка **A** находится в нажатом положении, после щелчка мыши по изображению профиля, уровень ноля будет установлен по ближайшему усреднённому максимуму огибающей сигналов георадарного профиля.

Если активирован флажок **From file**, то при загрузке данные о положении ноля шкалы глубин считываются из файла профиля. Если данные о положении нуля в файле профиля отсутствуют, положение нуля по умолчанию установится равным первой точке трассы.

Если флажок **From file** не активирован, то при загрузке следующего профиля положение ноля шкалы глубин будет считываться из настроек параметров **Samples**.

Настройка шкал и режимов указателя мыши



Настройка параметров шкал и режимов указателя мыши осуществляется на панели **Axis**, которая принадлежит нижней группе вкладок и является неубираемой, в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D. Для каждого вида шкал имеется однотипный набор параметров. Слева располагаются название шкал:

- **Distance, m** - горизонтальная шкала расстояний, градуируемая в метрах;
- **Depth, m** – вертикальная шкала глубин, расположенная по правому краю изображения георадиолокационного профиля или разреза. Градуируется в метрах;
- **Time, ns** – шкала времени двойного пробега волны, она же – время регистрации отражённых сигналов, она же – временная развёртка радарограммы. Данная шкала присутствует только на изображении георадиолокационного профиля и расположена с левого края. Градуируется в наносекундах.

Далее расположена кнопка **ok**, при помощи которой устанавливается шаг шкалы, в соответствии со значением в окне ввода параметра **Step**, расположенном правее этой кнопки.

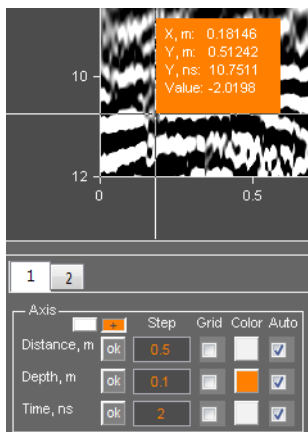
Флажок **Grid** отвечает за отображение координатной сетки, а при нажатии на кнопку **Color** появляется окно выбора цвета шкалы.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если активирован флажок **Auto**, то при открытии файла профиля, оптимальные значения параметра шкалы определяются автоматически. Если галочка отсутствует, то при загрузке нового файла профиля, параметры шкалы не изменяются.

Сохраняемое в графическом формате изображение разреза или георадиолокационного профиля имеет те же параметры шкал, что и в рабочем окне программы.



Если нажать кнопку со знаком плюса, расположенную выше параметров шкал, то при наведении указателя мыши на область визуализации, он переходит в информационный режим. В этом режиме указатель имеет вид перекрестья, проходящего через всю область визуализации. Рядом с перекрестьем расположено информационное поле, в котором отображаются данные точки, расположенной в перекрестье указателя.

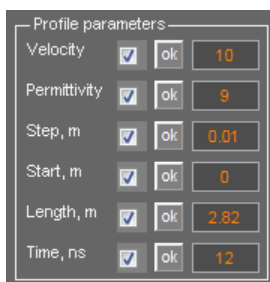
По умолчанию, информационное поле не имеет цвета, а шрифт имеет белый цвет. Если нажать на кнопку пробела клавиатуры компьютера, цвет информационного поля станет оранжевым. Если нажать ещё раз – цвет снова станет прозрачным.

Для изменения цвета шрифта информационной области следует нажать кнопку выбора цвета шрифта, расположенную левее кнопки режима указателя мыши. Активация информационного режима производится только для текущей активной вкладки. При переключении на другую вкладку, где не активирован этот режим, указатель мыши будет иметь стандартный вид стрелки.

Чтобы выйти из информационного режима указателя мыши, надо отжать кнопку со знаком плюса.

Примечание: Информационный режим доступен не только на вкладках визуализации радарограммы и разрезов, но и на вкладке амплитудно-частотного спектра.

Редактирование данных профиля



Редактирование данных загруженного радиолокационного профиля осуществляется на панели **Profile Parameters**, которая принадлежит нижней группе вкладок и является неубираемой, в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D.

Для каждого из параметров профиля имеется однотипный набор элементов интерфейса. Слева располагается наименование параметра. Правее расположен флажок, определяющий источник получения данных по параметру. Если флажок отмечен галочкой, то при загрузке файла профиля данные о параметре считываются из этого файла. Если флажок не отмечен, то данные считываются из окна ввода параметра, расположенного правее. При помощи кнопки **ok** данные параметра применяются к георадиолокационному профилю.

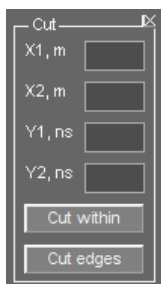
На панели **Profile Parameters** редактируются следующие параметры профиля:

- **Velocity** – среднее значение скорости распространения электромагнитных импульсов в см/нс;
- **Permittivity** – среднее значение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости (безразмерная величина). Скорость волн и действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости связана следующим соотношением: $v = c / \sqrt{\epsilon'}$, где **c** – скорость света в вакууме. Если в окне ввода изменить

значение диэлектрической проницаемости и нажать кнопку **ok**, то автоматически изменится значение и в окне параметра скорости в соответствии с вышеприведённой формулой. И наоборот, меняя значение скорости, автоматически изменится значение диэлектрической проницаемости. При этом меняются значения шкалы глубин.

- **Step, m** - шаг георадиолокационного профилирования (расстояние между георадиолокационными трассами сигналов) в метрах. После изменения данного параметра меняется длина георадиолокационного профиля (параметр **Length, m**);
- **Start, m** – значение начала отсчета шкалы расстояний в метрах. Наиболее часто имеет нулевое значение;
- **Length, m** – длина георадиолокационного профиля в метрах. После изменения данного параметра меняется значение шага профилирования (параметр **Step, m**);
- **Time, ns** – значение времени двойного пробега волны (время регистрации отражённых сигналов или временная развёртка радарограммы) в наносекундах.

Обрезка профиля



Настройка параметров обрезки загруженного радиолокационного профиля осуществляется на панели **Cut**. Чтобы отобразить панель **Cut**, следует щелкнуть по пункту меню **Cut GPR Profile**, расположенному в группе меню **Edit**. Панель будет расположена в нижней группе закладок. Убрать панель **Cut** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Границы обрезки по горизонтали задаются параметрами **X1, m** и **X2, m** и измеряются в метрах. Границы обрезки по вертикали задаются параметрами **Y1, ns** и **Y2, ns** и измеряются в наносекундах. Для определения границ обрезки удобно использовать указатель мыши в информационном режиме (более подробно – в разделе <Настройка шкал и режимов указателя мыши>).

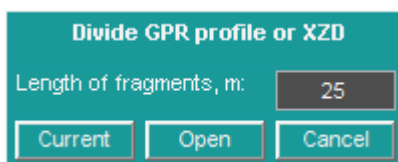
При нажатии кнопки **Cut edges**, будут удалены области профиля, расположенные за установленными границами. При нажатии кнопки **Cut within**, будут удалены области профиля, расположенные внутри установленных границ.

Если заданы значения границ обрезки по горизонтали, а по вертикали – пустые окна ввода параметров, то обрезка будет осуществляться только по горизонтали. Если значения границ будут заданы только по вертикали, значит, образка профиля будет произведена только по вертикали.

Если нужно обрезать профиль по горизонтали только с правого края, нужно ввести только одно значение – параметр **X2, m** и нажать кнопку **Cut edges**. Если обрезать с левого края, то нужно ввести только одно значение – параметр **X1, m** и, так же, нажать кнопку **Cut edges**. Это же правило действует и для вертикальных границ.

Обрезка профиля является шагом обработки, записываемым в историю обработки георадиолокационного профиля, который можно сохранить в файл с расширением **gepro** и загрузить его в программу для применения, в том числе и в пакетном режиме (более подробно – в разделах <Сохранение и загрузка истории обработки> и <Обработка в пакетном режиме>).

Разбивка профиля на фрагменты



Протяжённые георадиолокационные профили можно разделить на более короткие фрагменты. Также можно разделять разрезы, сохранённые в файле формата **XZD**, и предназначенные для формирования 3D сборки.

Для запуска процесса разбивки профилей на фрагменты следует воспользоваться пунктом меню **Divide GPR Profiles or XZD**, расположенном в группе меню **Edit**. После того, как пользователь щёлкнет по данному пункту меню, в центре рабочего окна программы возникнет окно с параметрами разбиения. Пользователь должен ввести значение длины фрагмента, и нажать кнопку **Current** или **Open**.

Окно ввода параметра **Length of fragments, m** служит для определения длины фрагмента в метрах.

После нажатия кнопки **Current** разделён на части будет уже загруженный в программу ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ профиль. Если нажать на кнопку **Open**, то откроется окно выбора файлов профиля, где можно выбрать один, или несколько профилей для разбиения на фрагменты. После выбора файлов окно закроется, и процесс разбиения начнётся автоматически.

Чтобы сохранять результаты разбиения, программа создаёт в директории нахождения разбиваемого профиля новую папку. Имя папки формируется следующим образом: если, к примеру, разбиваемый файл называется **FILE.gpr**, который имеет длину 2.5 метра и разбивается на фрагменты, равные 1 метру, то папка сохранения будет называться **FILE divided by 1 m**.

В этой папке будут присутствовать три файла со следующими именами: **FILE_0001.efd**, **FILE_0002.efd** и **FILE_0003.efd**. Первые два файла будут иметь длину 1 метр, последний файл будет иметь длину 0.5 метра. Горизонтальная шкала файла **FILE_0001.efd** будет начинаться с нуля, файла **FILE_0002.efd** – с отметки 1 метр, файла **FILE_0003.efd** – с отметки 2 метра.

В случае отказа от разбиения файла на фрагменты, следует нажать кнопку **Cancel**.

Примечание: окно разбиения файлов на фрагменты является модальным. Это значит, что это окно блокирует взаимодействие пользователя с программой до тех пор, пока пользователь это окно не закроет (запустив процесс разбиения, или отказавшись от него).

Добавление профиля

Для добавления профиля в начало к уже открытому, в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, профилю, следует воспользоваться пунктом меню **Add to Beginning of GPR Profile**, расположенном в группе меню **Edit**. После того, как пользователь щёлкнет мышью по данному пункту меню, откроется окно выбора файла профиля для добавления. После того, как пользователь выберет требуемый профиль, окно выбора файла будет закрыто, а профиль – добавлен.

Для добавления профиля в конец к уже открытому профилю, следует воспользоваться пунктом меню **Add to End of GPR profile**, расположенном в группе меню **Edit**. Порядок действий такой же, как описано выше.

Реверсирование профиля

Чтобы зеркально отразить открытый в программе профиль по горизонтали, следует воспользоваться пунктом меню **Flip Horizontal GPR profile**, расположенном в группе меню **Edit**. После нажатия на данный пункт меню, профиль будет реверсирован.

Сохранение профиля

Чтобы сохранить открытый в программе георадиолокационный профиль, следует воспользоваться пунктом меню **Save efd**, расположенном в группе меню **File**. После нажатия на данный пункт меню, в главном окне программы будет отображено стандартное окно сохранения файла. После нажатия кнопки сохранения, файл будет сохранён на жесткий диск компьютера в выбранную директорию, после чего окно сохранения будет закрыто.

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ данные георадиолокационного профиля сохраняются только в формате **efd**. В этом формате предусмотрено сохранение как самого георадиолокационного профиля, так и результатов анализа поля обратного рассеяния, если таковой был произведён ранее.

Примечание: Если сигналы георадиолокационного профиля были обработаны, то в файл сохраняются сигналы того шага обработки, который на данный момент визуализирован. История обработки в файл **efd** не сохраняется. Для сохранения истории обработки в файл **gepro**, следует воспользоваться пунктом меню **Save Processing History**, расположенном в группе меню **Processing**.

Таблица объёма работ

Таблица объёма работ состоит из двух столбцов. Первый столбец содержит имена георадиолокационных профилей, второй столбец содержит длины этих профилей в метрах. В последних двух нижних строках содержится информация о количестве профилей в таблице и их суммарной длине.

Чтобы создать таблицу объёма работ в формате электронных таблиц **MS EXCEL**, следует воспользоваться пунктом меню **Scope of Work**, расположенным в группе меню **Analysis**. После того, как пользователь щёлкнул мышью по пункту меню **Scope of Work**, откроется окно выбора файлов, в котором следует выбрать файлы георадиолокационных профилей и нажать кнопку **Открыть**.

| | A | B |
|----|--------------------|-----------|
| 1 | Scope of work | |
| 2 | Profile | Length, m |
| 3 | PR0047 | 103.3 |
| 4 | PR0048 | 102.3 |
| 5 | PR0049 | 102.9 |
| 6 | PR0050 | 103.2 |
| 7 | PR0051 | 103.7 |
| 8 | PR0052 | 103.9 |
| 9 | PR0053 | 87.5 |
| 10 | PR0054 | 103.8 |
| 11 | PR0055 | 102.7 |
| 12 | PR0056 | 103.4 |
| 13 | PR0057 | 102.5 |
| 14 | PR0058 | 106.2 |
| 15 | PR0059 | 104.6 |
| 16 | PR0060 | 102.6 |
| 17 | PR0061 | 109 |
| 18 | PR0062 | 98.9 |
| 19 | PR0063 | 107.3 |
| 20 | PR0064 | 103.7 |
| 21 | PR0065 | 108.4 |
| 22 | PR0066 | 133 |
| 23 | PR0067 | 102.4 |
| 24 | Total length: | 2195.3 |
| 25 | Number of profiles | 21 |

После нажатия кнопки **Открыть** запускается процесс создания таблицы. В процессе создания таблицы программа поочередно считывает длины георадиолокационных профилей из файлов и заносит эти значения в таблицу, при этом информируя пользователя об имени текущего профиля и его порядковом номере при помощи информационной панели.

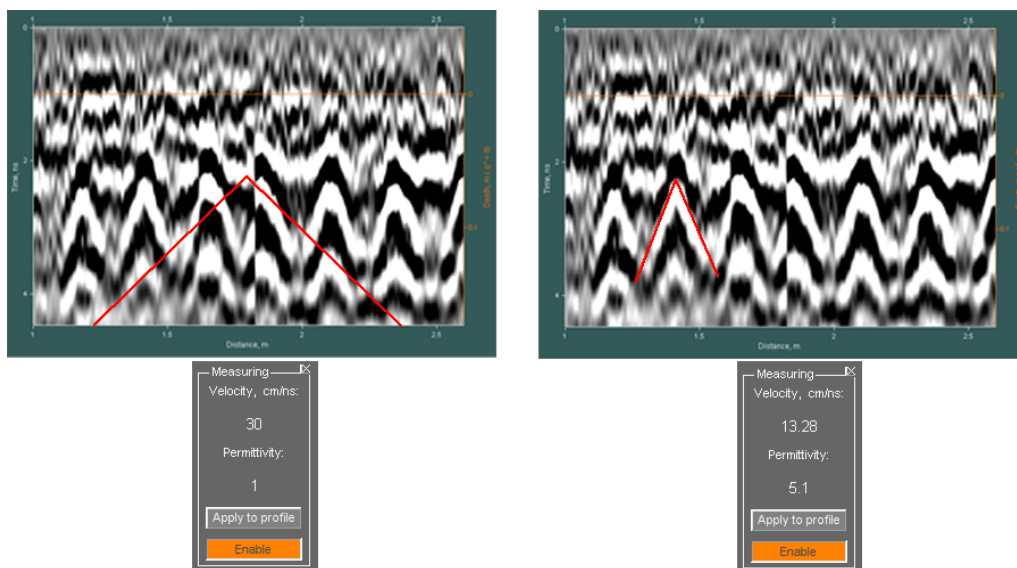
После того, как таблица полностью сформирована, она автоматически сохраняется в директорию расположения файлов георадарных профилей, в файл формата электронных таблиц **MS EXCEL** с именем **Summary table - scope of work**, после чего информация о завершении процесса создания таблицы выводится на информационную панель.

Чтобы открыть директорию, в которой сохранён файл таблицы объёма работ, удобно воспользоваться пунктом меню **Open Current Directory**, расположенным в группе меню **File**.

Измерение скорости волны вручную

Для измерения скорости волны по дифрагированному отражению следует воспользоваться измерительным шаблоном. Для этого служит пункт меню **Wave Velocity Measurement**, расположенный в группе меню **Analysis**. После нажатия на данный пункт меню, в нижней группе вкладок откроется панель **Measuring**.

Активация режима измерения производится кнопкой **Enable**, после нажатия которой, в области визуализации радарограммы отобразится измерительный шаблон в виде двух линий красного цвета, угол между которыми соответствует углу наклона ветвей гиперболы от воздушного отражения (рисунок слева). Дополнительной индикацией работы области визуализации в режиме измерения скорости служит изменение цвета области с серого на тёмно-сине-зелёный.



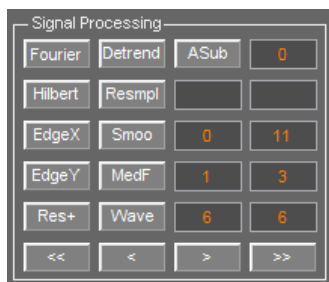
Для того, чтобы измерить скорость волны по дифрагированному отражению, нужно левой кнопкой мыши щёлкнуть по вершине гиперболы – вершина шаблона переместится в эту точку. После того, как пользователь правой кнопкой мыши щёлкнет по нижней части одной из ветвей гиперболы, угол наклона шаблона изменится и на панели **Measuring** отобразятся значения скорости (**Velocity, sm/ns**) и, рассчитанное на основе этой скорости, значение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости (**Permittivity**) – рисунок справа.

Для того чтобы измерить скорость волны в каком-либо другом месте радарограммы, следует повторить всю описанную выше последовательность действий – левой кнопкой мыши щёлкнуть по вершине гиперболы дифрагированного отражения и, щёлкая правой, подобрать угол наклона линий измерительного шаблона так, чтобы одна из линий стала параллельной одной из ветвей гиперболы.

Для того чтобы шкала глубин радарограммы была пересчитана в соответствии с измеренным значением, следует нажать на кнопку **Apply to profile**.

Убрать панель **Measuring** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Обработка сигналов георадиолокационного профиля



Панель доступа к опциям цифровой обработки сигналов **Signal Processing** принадлежит нижней группе вкладок и является неубираемой, в конфигурации рабочего пространства для работы в режиме 2D. На данной панели расположены кнопки запуска процесса обработки (кроме самого нижнего ряда кнопок, которые являются кнопками навигации по шагам обработки) и окна ввода параметров.

Окна ввода параметров, расположенные в одном ряду, и ближайшая кнопка слева принадлежат к одной опции обработки. Например, кнопка **MedF** запускает процесс медианной фильтрации, параметры которой заданы в окнах ввода, расположенных правее этой кнопки. Для отображения всплывающей подсказки по принадлежности кнопок к опциям обработки и по окнам ввода параметров, достаточно навести и немного задержать курсор мыши на этом элементе.

В отличие от остальных кнопок, нажатие на кнопку **Fourier** не запускает процесс обработки, а вызывает панель настроек частотной фильтрации и создаёт новую вкладку в области визуализации для отображения спектра сигналов (более подробно см. в разделе <Частотная фильтрация>).

Процесс обработки организован следующим образом: пользователь вводит параметры обработки (если они предусмотрены) и нажимает кнопку запуска процесса. После завершения процесса, на вкладке области визуализации **GPR profile**, происходит обновление изображения георадиолокационного профиля (радарограммы), а параметры и изменённые сигналы профиля добавляются в историю обработки.

Частотная фильтрация

Для осуществления частотной фильтрации следует настроить параметры фильтра. Для вызова панели настроек частотного фильтра, следует нажать кнопку **Fourier** – панель **Fourier Filter Settings** будет открыта в нижней группе вкладок. Вместе с этим, в верхней группе вкладок создаётся вкладка **Average Spectrum**. Данная вкладка служит для размещения изображения среднего модуля амплитудно-частотного спектра сигналов георадиолокационного профиля (или заданного пользователем фрагмента профиля).

На изображении спектра присутствует визуализация границ фильтра в виде вертикальных линий, положение которых соответствует заданным значениям. Границы частот задержания имеют фиолетовый цвет, границы частот пропускания – зелёный цвет.

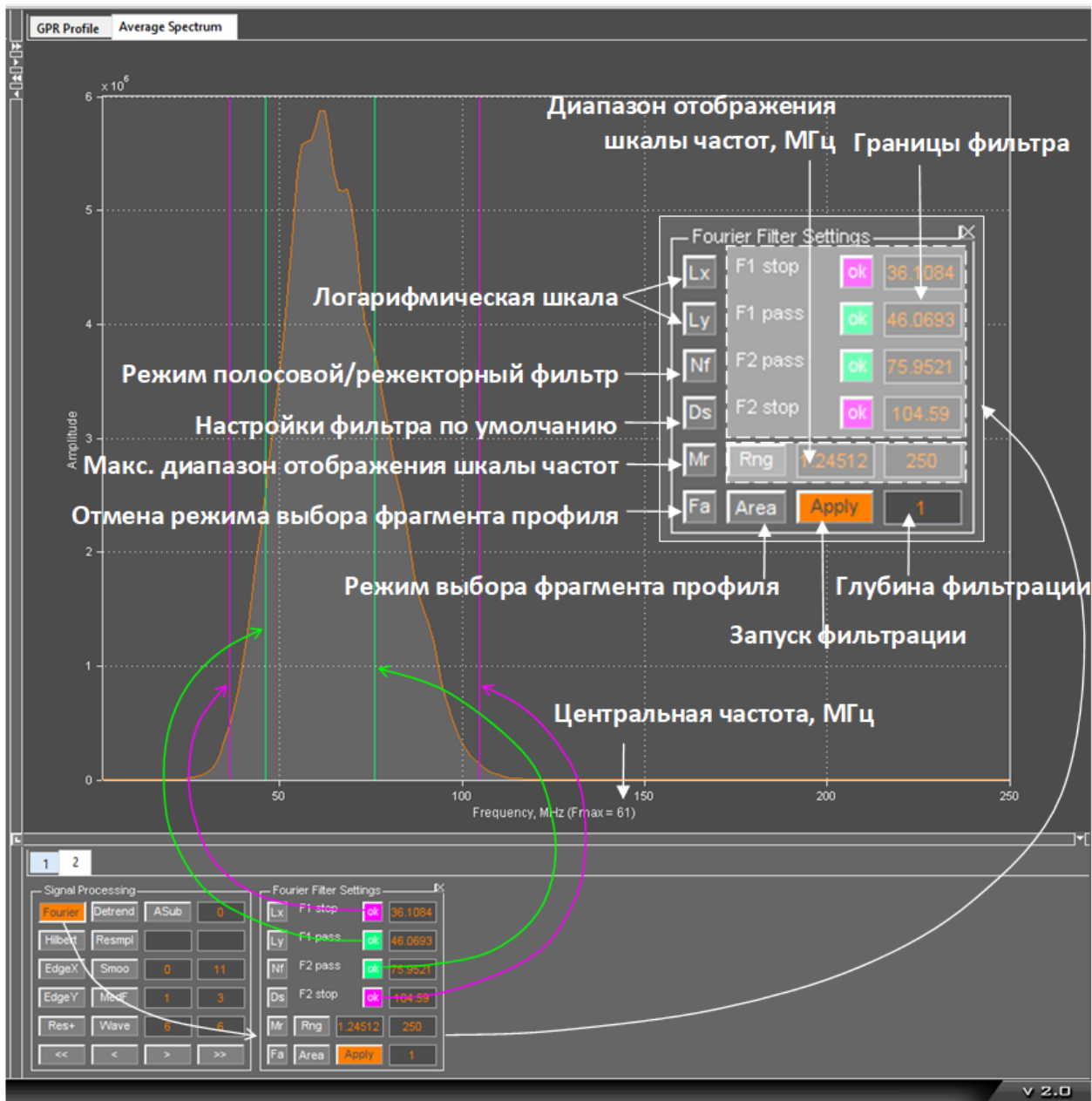
Границы фильтра на панели **Fourier Filter Settings** определяются следующими параметрами (в МГц):

- **F1 stop** – нижняя граница частоты задержания;
- **F1 pass** – нижняя граница частоты пропускания;
- **F2 pass** – верхняя граница частоты пропускания;
- **F2 stop** – верхняя граница частоты задержания;

Для наглядности, кнопки применения границ фильтрации и соответствующие им линии границ на графике спектра имеют одинаковый цвет. Чтобы задать точные значения границ фильтра в мегагерцах, следует в соответствующее окно ввода параметра ввести значение, и нажать кнопку **ok** слева от окна ввода. При этом на изображении спектра сигналов линии границ займут соответствующее положение.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Параметры фильтра можно задавать и мышью, перемещая линии границ по графику спектра вдоль частотной оси. Чтобы переместить границу фильтра, надо подвести указатель мыши к нужной линии, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом положении, переместить указатель совместно с границей, после чего отпустить кнопку мыши.

Совсем необязательно точно наводить указатель мыши на границу – после приведения левой кнопки мыши в нажатое положение, указатель автоматически переместится к ближайшей границе, после чего её можно будет двигать.

По умолчанию, границы фильтрации имеют конфигурацию полосового фильтра – границы зелёного цвета, на изображении спектра, расположены внутри границ фиолетового цвета. Частоты, выходящие за пределы границ фиолетового цвета, при фильтрации подавляются.

Чтобы перевести фильтр в конфигурацию режекторной фильтрации, следует границы фильтра поменять местами – зелёные расположить по краям, а фиолетовые – внутри области, ограниченной

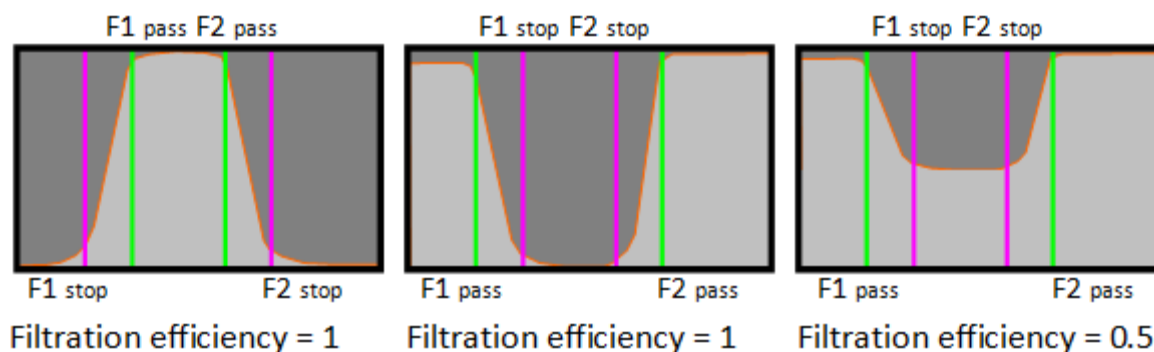
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

границами зелёного цвета (проще всего нажать кнопку **Nf**, и границы пропускания и задержания автоматически поменяются местами). В этом случае, подавляется диапазон частот, расположенный между границами фиолетового цвета.

На рисунке ниже представлена иллюстрация конфигурации границ фильтра и влияние показателя глубины фильтрации:



Слева показана полосовая конфигурация фильтра с максимальной глубиной фильтрации. На рисунке в центре показана режекторная конфигурация фильтра с максимальной глубиной фильтрации. Справа показана режекторная конфигурация фильтра с глубиной фильтрации, равной 0.5. Глубина фильтрации регулируется в окне ввода параметра, расположенном справа от кнопки применения фильтра **Apply**.

Помимо настроек границ фильтра, на панели **Fourier Filter Settings** имеются следующие элементы интерфейса:

- Кнопка **Lx** устанавливает логарифмический масштаб оси частот;
- Кнопка **Ly** устанавливает логарифмический масштаб оси амплитуд;
- Кнопка **Nf** (notch filter) меняет конфигурацию фильтра с полосового на режекторный и обратно;
- Кнопка **Ds** (Default settings) применяет настройки фильтрации и отображение спектра сигналов по умолчанию;
- Кнопка **Rng** (range) определяет диапазон отображения частотной шкалы спектра сигналов, который задаётся в окнах ввода параметров, расположенных правее;
- Кнопка **Mr** (maximum range) применяет максимальный диапазон отображения частотной шкалы спектра сигналов – от нулевой частоты до частоты Найквиста;
- Кнопка **Area** служит для включения режима выбора фрагмента радарограммы, спектр сигналов которого будет отображён. После нажатия на кнопку **Area** программа переключится на вкладку **GPR profile**, если таковая не была активной. Пока кнопка **Area** находится в нажатом положении, на вкладке **GPR Profile** доступен режим выбора фрагмента. Чтобы выбрать фрагмент, надо привести указатель мыши на изображение профиля, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её, переместить указатель по диагонали. Во время перемещения указателя мыши, на экране отображается меняющая свои размеры рамка оранжевого цвета, обозначающая размеры фрагмента. После отпускания левой кнопки мыши, программа переключится на вкладку **Average spectrum**, где отображается спектр сигналов, входящих в прямоугольную область на момент отпускания пользователем кнопки мыши. При этом кнопка **Fa** изменит свой цвет с серого на фиолетовый.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Кнопка **Fa** (full area) осуществляет возврат из режима фрагмента в режим отображения спектра всех сигналов георадиолокационного профиля;
- Кнопка **Apply** предназначена для запуска процесса фильтрации. Окно ввода параметра правее данной кнопки определяет глубину фильтрации и может принимать значения от 0 (фильтрация отсутствует) до 1 (максимальная эффективность фильтрации) – см. рисунок выше.

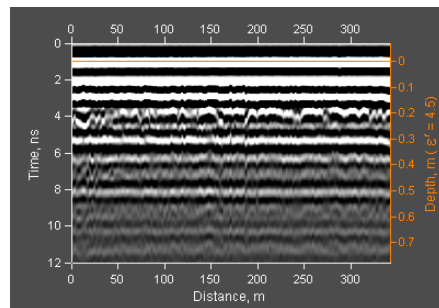
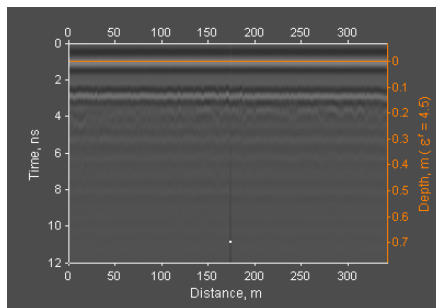
Убрать панель **Fourier Filter Settings** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели, или отжав кнопку **Fourier** на панели **Signal processing**. Одновременно с удалением панели **Fourier Filter Settings**, производится удаление вкладки **Average Spectrum**.

Медианная фильтрация

Медианная фильтрация позволяет эффективно бороться со случайными выбросами короткой продолжительности, обусловленными внешними помехами или другими причинами.

Кнопка **MedF** запускает процесс медианной фильтрации сигналов. В окна ввода параметров, расположенных правее от данной кнопки вводятся значения размера окна медианного фильтра. Если считать окна слева направо, то в первое окно ввода параметра вводится размер окна по горизонтали в георадиолокационных трассах, во второе окно - размер окна по вертикали в точках.

Ниже представлена иллюстрация действия медианного фильтра. На рисунке слева показан георадиолокационный профиль с высокоамплитудной помехой в виде короткого пика. Эта помеха отображается как яркая белая точка в нижней части радарограммы между 150 и 200 метрами по шкале расстояний. На рисунке справа показан результат применения медианного фильтра с окном фильтрации 1x1.



Сглаживание

Кнопка **Smoo** запускает процесс сглаживания сигналов георадиолокационного профиля 2D сглаживающим фильтром. В окна ввода параметров, расположенных правее от данной кнопки вводятся значения размера окна сглаживания. Если считать окна слева направо, то в первое окно ввода параметра вводится размер окна по горизонтали в метрах, во второе окно - размер окна по вертикали в точках.

Сглаживание полезно применять при излишне детализированной волновой картине профиля, при подчёркивании протяжённых границ слоёв, например.

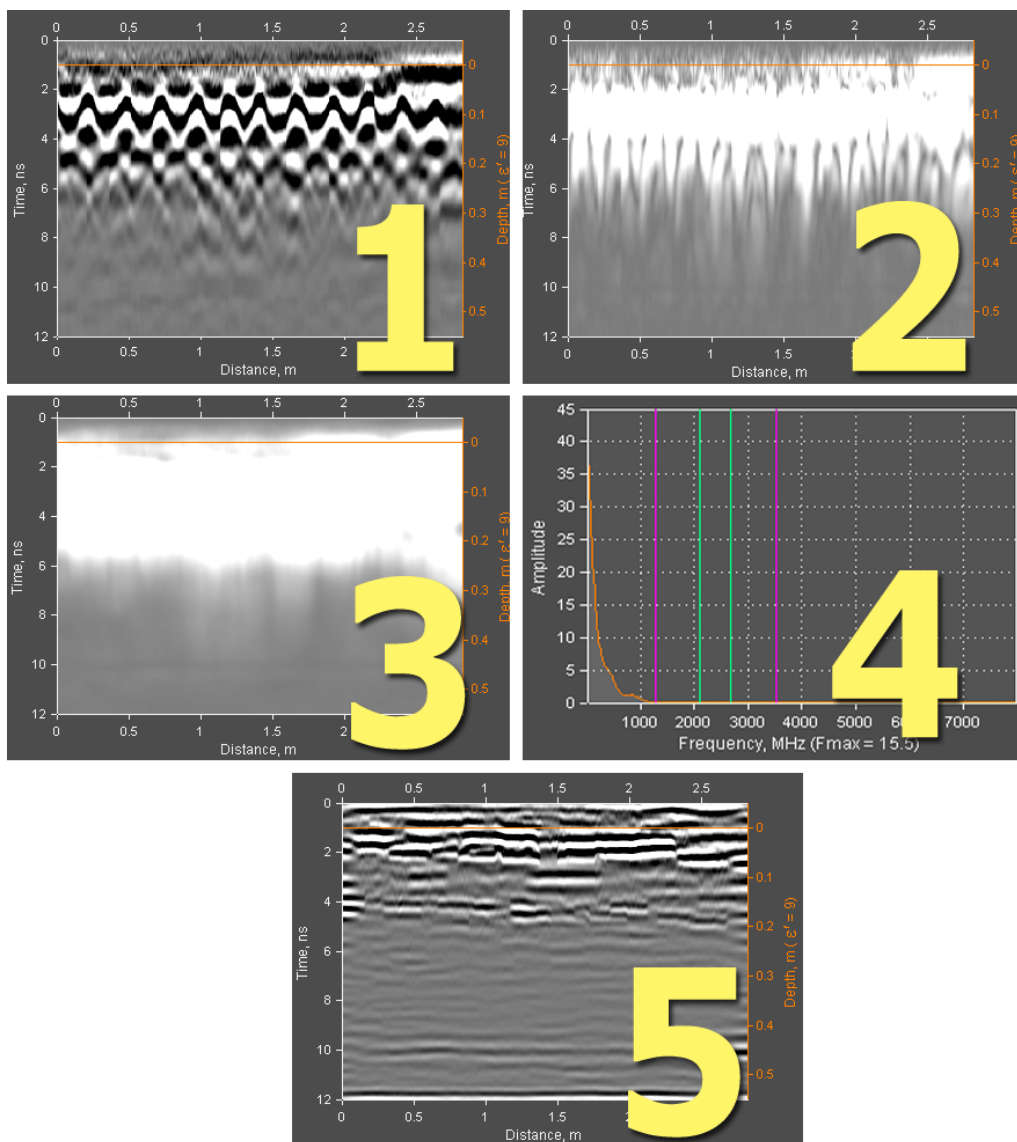
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Выделение огибающей сигналов

Процесс выделения огибающей сигналов при помощи преобразования Гильберта запускается кнопкой **Hilbert**. Данная опция цифровой обработки сигналов не имеет настроек. На рисунке ниже представлена иллюстрация применения преобразования Гильберта в потоке обработки данных.

На рисунке 1 показан георадиолокационный профиль по железобетонной плите с одним рядом арматуры (сигнал прямого прохождения удалён вычитанием среднего). Требуется найти нижнюю границу плиты.



Для этого нужно выделить огибающую сигнала (рис. 2) и сгладить сигналы по горизонтали с небольшим окном (в данном случае 0.25 м, - рис. 3). В результате этих действий имеются однополярные сигналы низкой частоты – спектр сигналов показан на рисунке 4. Для повышения детализации сигналов и удаления маскирующего эффект НЧ, нужно подавить нижние частоты. Для этого следует выполнить полосовую фильтрацию, оставив за пределами фильтра область высокоамплитудных низких частот. На рисунке 4 показано положение границ полосового фильтра. В результате вышеперечисленных действий, искомая граница видна на глубине около 0.2 метра.

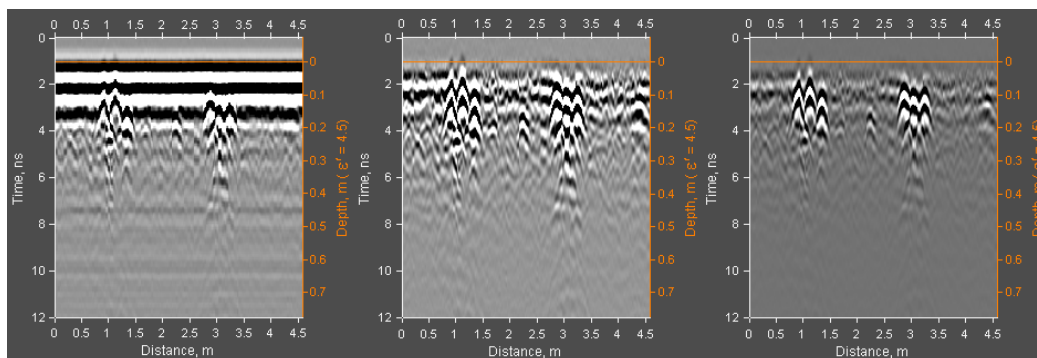
Вычитание среднего

Вычитание среднего - это арифметическая операция над георадиолокационными трассами сигналов, в ходе которой из каждой трассы георадарного профиля вычитается усреднённая георадиолокационная трасса, являющаяся средним арифметическим группы трасс, расположенных в окрестности трассы, из которой производится вычитание. Количество трасс, входящих в группу расчёта средней трассы, называется окном вычитания среднего.

Если вычитается усреднённая трасса, рассчитанная на основе всех трасс профиля, то действие называется вычитанием глобального среднего.

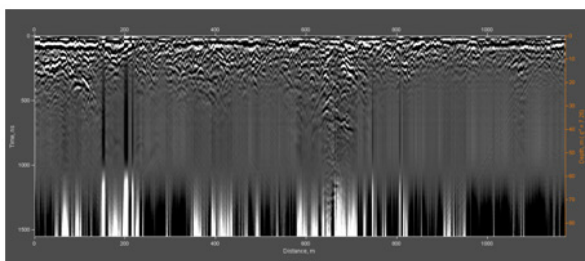
Кнопка **Asub** запускает процесс вычитания среднего. Справа от данной кнопки расположено окно ввода размера окна вычитания (в георадиолокационных трассах). Если значение отсутствует или равно нулю, то после нажатия кнопки **Asub** будет произведена операция вычитания глобального среднего.

Ниже показан результат применения вычитания на примере радарограммы, полученной в результате исследования бетонной строительной конструкции с металлическими элементами внутри. Слева показаны исходные сигналы радарограммы, на центральном изображении – результат вычитания глобального среднего, справа – результат вычитания с окном, равным 10% от общего количества георадиолокационных трасс в профиле.

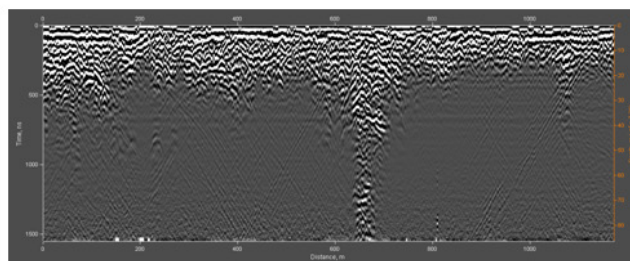


Если ввести размер окна вычитания со знаком минус, например: -11, то вычитание будет производиться не по горизонтали, а по вертикали, а размер окна будет задаваться уже не в трассах, а в точках георадиолокационной трассы.

Вычитание среднего по вертикали эффективно удаляет низкочастотные компоненты сигналов георадиолокационного профиля, такие, например, как на рисунке слева внизу. На рисунке справа внизу показан результат вычитания по вертикали с параметром вычитания -11.



До вычитания



После вычитания по вертикали с окном 11 точек

Не рекомендуется задавать слишком большие (по модулю) значения окна вертикального вычитания, т.к. в этом случае неизбежно проявление искажений осцилляции георадиолокационных трасс.

Удаление тренда

Удаление тренда производится при наличии помех, обусловленных погрешностями аппаратуры или внешними наводками, которые не могут быть устранены обычной фильтрацией. Процесс удаления тренда запускается кнопкой **Detrend** и не имеет настраиваемых параметров.

Повышение детализации

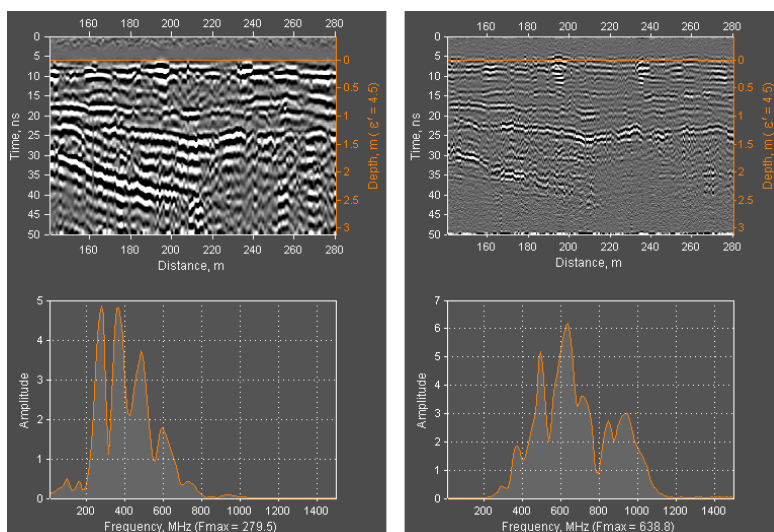
Процесс повышения детализации сигналов по горизонтали или по вертикали, производится нажатием кнопок **EdgeX** и **EdgeY**, соответственно. В этих случаях к сигналам георадиолокационного профиля применяется дискретный дифференциальный оператор Собеля, результатом применения которого является подчёркивание незначительных изменений градиента амплитуд.

Вейвлет-декомпозиция сигналов и повышение разрешения по глубине

Повышение разрешения результатов георадарного профилирования по глубине можно произвести при помощи вейвлет-декомпозиции сигналов трасс профиля. Это преобразование напоминает оконное преобразование Фурье, только преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, а при вейвлет-декомпозиции используются функции, напоминающие излученный георадаром зондирующий импульс – т. н. вейвлеты.

Пользователь, выбирая порядок вейвлета, как бы задаёт параметры зондирующего импульса. Второй параметр, определяемый пользователем – уровень декомпозиции сигналов. Чем меньше значение уровня декомпозиции - тем шире спектр и выше центральная частота сигналов георадиолокационного профиля после выполнения декомпозиции. А чем выше центральная частота, тем выше разрешение сигналов.

На рисунке ниже представлен фрагмент георадиолокационного профиля до проведения вейвлет-декомпозиции (слева) и после (справа). Под каждым изображением показан соответствующий ему спектр сигналов. Порядок вейвлета в этом примере равен 6, а уровень декомпозиции равен 4. В результате применения вейвлет-декомпозиции центральная частота сигналов профиля (значение частоты с максимальной амплитудой **Fmax** расположено под шкалой частот спектра) повысилась более чем в два раза, и отражения от границ в исследуемой среде стали более локализованными:



Процесс вейвлет-декомпозиции запускается при помощи кнопки **Wave** на панели **Signal Processing**. Окна ввода параметров, расположенные справа от этой кнопки, служат для настройки вейвлет-декомпозиции. Если считать окна слева направо, то в первое окно вводится порядок вейвлета, во второе окно - значение уровня декомпозиции (георадиолокационных трассах).

Ресемплинг

Ресемплинг - это изменение количества георадиолокационных трасс в профиле (ресемплинг по горизонтали) и количества отсчётов в георадиолокационной трассе (ресемплинг по вертикали).

В результате ресемплинга по горизонтали, количество трасс профиля изменяется таким образом, чтобы расстояние между ними становится равным заданному значению. При этом длина профиля не меняется.

В результате ресемплинга по вертикали количество отсчётов в георадиолокационной трассе становится равным заданному значению. При этом время двойного пробега волны (временная развёртка) остаётся неизменным.

Процесс ресемплинга запускается при помощи кнопки **Resmpl** на панели **Signal Processing**. Параметры ресемплинга настраиваются в окнах ввода параметров, расположенных справа от этой кнопки. Если считать окна ввода параметра слева направо, то первое окно служит для ввода значения, которому будет равняться шаг между георадиолокационными трассами после ресемплинга (ресемплинг по горизонтали), во второе окно - количество отсчётов в георадиолокационных трассах, которое должно быть после ресемплинга (ресемплинг по вертикали).

Удаление помех при помощи разложения сигналов на компоненты

Если матрицу сигналов георадиолокационного профиля разложить на компоненты, а потом восстановить, отбросив некоторые уровни разложения, содержащие, к примеру, информацию о помехе, то на восстановленном георадиолокационном профиле данная помеха будет отсутствовать.

Каждый уровень разложения содержит характерные особенности сигналов. Младшие (первые) уровни разложения соответствуют пространственно протяжённым сигналам георадарного профиля и, чем выше уровень разложения, тем пространственно короче и более высокочастотными становятся компоненты.

Количество уровней разложения выбирается автоматически и оно равно количеству георадиолокационных трасс профиля, если это значение меньше числа точек (сэмплов), из которых состоит георадиолокационная трасса, или равно количеству точек трассы, если это значение меньше количества георадиолокационных трасс профиля.

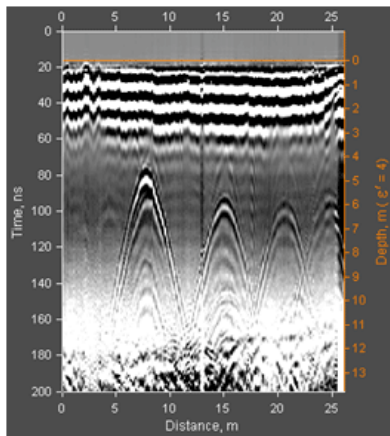
Далее будут рассмотрены несколько примеров обработки георадиолокационных данных методом разложения сигналов на компоненты с последующим восстановлением по заданным уровням разложения.

На рисунке ниже представлен пример георадиолокационного профиля, который содержит различные типы волн – протяжённые оси синфазности сигналов и дифрагированные отражения. Размер матрицы сигналов данного профиля – 512x265 (512 точек с георадиолокационных трассах, количество трасс равно 265). Это значит, что разложение производится по 265 уровням.

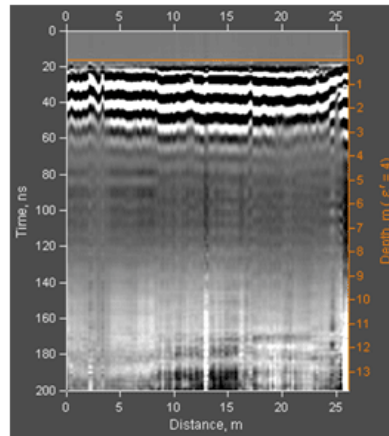
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

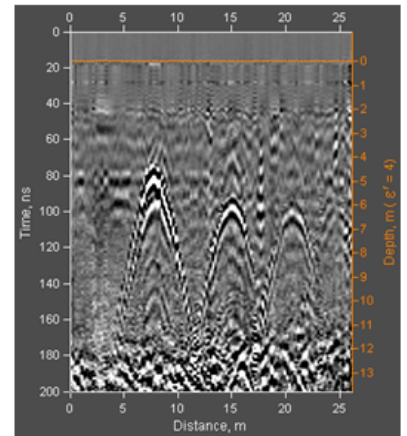
Слева показаны исходные, не обработанные данные. На профиле видны отражения от протяжённых границ и дифрагированные отражения. В центре показан результат восстановления по первым уровням разложения 1 - 21. Заметно, что с волновой картины профиля исчезли сигналы дифрагированных волн. Справа – результат восстановления по всем уровням разложения, за исключением диапазона 1 – 21. В этом случае отброшена информация о пространственно протяжённых сигналах, а информация о дифрагированных отражениях сохранена без искажения.



Исходная радарограмма

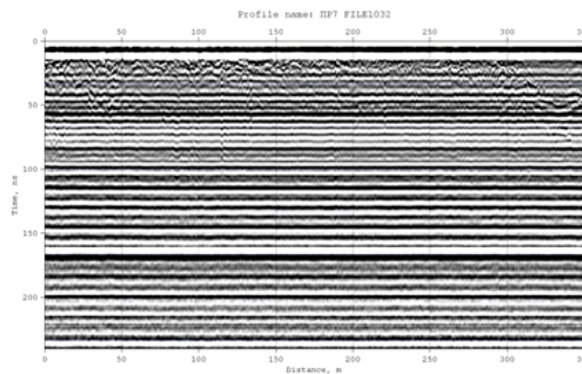


Результат восстановления по уровням разложения от 1 до 21

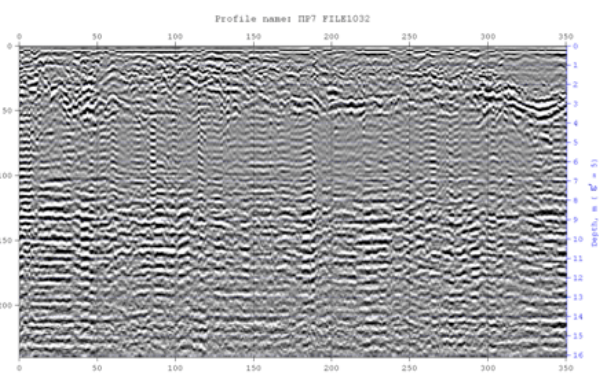


Результат восстановления по всем уровням разложения, исключая уровни от 1 до 21

Ниже слева показан георадиолокационный профиль с интенсивной периодической помехой, т.н. “звон” антенны георадара. Подобную помеху можно эффективно удалить, разложив матрицу сигналов профиля на компоненты и восстановив, при этом отбросив самый первый уровень разложения. Первый уровень разложения соответствует наиболее пространственно протяжённым сигналам на профиле, а именно из таких сигналов и состоит рассматриваемая помеха. Результат восстановления показан справа.



Исходная радарограмма

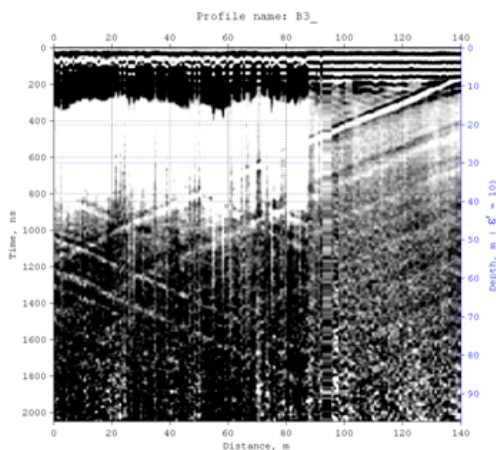


Результат восстановления по всем уровням разложения, за исключением первого

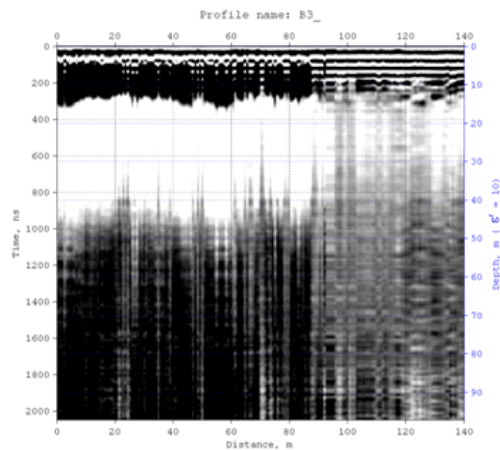
Ещё один пример применения разложения матрицы сигналов на компоненты с последующим восстановлением по заданному диапазону уровней – удаление помехи типа “воздушное отражение” – т.е. отражений от объектов, не являющихся подповерхностными. На рисунке ниже слева показан георадиолокационный профиль, на котором присутствуют воздушные отражения в виде прямых наклонных линий, справа – результат восстановления в диапазоне уровней 1 – 9.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

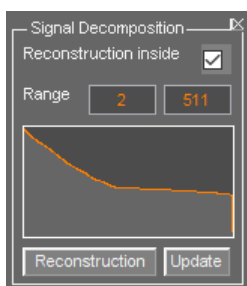
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Исходная радарограмма



Результат восстановления по
уровням разложения от 1 до 9



Настройка параметров восстановления матрицы сигналов георадиолокационного профиля осуществляется на панели **Signal Decomposition**. Чтобы отобразить панель **Signal Decomposition**, следует щелкнуть по пункту меню **Signal Decomposition in Components**, расположенному в группе меню **Processing**. Панель будет размещена в нижней группе закладок. Убрать панель **Signal Decomposition** можно при помощи кнопки закрытия в правом верхнем углу панели.

Диапазон уровней восстановления сигналов задаётся параметрами **Range**.

Окно ввода параметра **Range**, расположенное левее служит для определения нижней границы диапазона уровней, в окно ввода параметра, расположенное правее служит для определения верхней границы диапазона уровней восстановления.

Если флажок **Reconstruction inside** отмечен, то восстановление матрицы сигналов производится по диапазону уровней, заданному параметрами **Range**. Если флажок **Reconstruction inside** не отмечен, то восстановление производится по всем уровням разложения, за исключением диапазона, заданного параметрами **Range**.

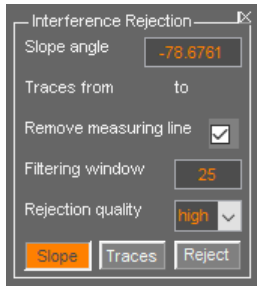
График на панели **Signal Decomposition** отображает степень различия соседних уровней разложения. Крайняя точка графика с левой стороны соответствует первому (минимальному) уровню разложения, крайняя точка графика справа – максимальному уровню разложения. На крутых участках графика уровни разложения различаются существенно, на пологих участках графика уровни разложения более похожи.

Если навести указатель мыши на график и щёлкнуть правой кнопкой мыши, то поверх графика отобразится информационное окно. В этом окне отображается номер уровня, соответствующий точке графика, на которую указывает указатель. Чтобы удалить информационное окно, следует щелкнуть левой кнопкой мыши по этому окну. Кнопка **Update** служит для обновления графика после загрузки нового профиля, или после применения какой-либо обработки сигналов профиля, включая саму опцию разложения сигналов на компоненты.

При помощи кнопки **Reconstruction** запускается процесс разложения сигналов с последующим восстановлением по заданным, в параметрах **Range** и **Reconstruction inside**, уровням. Для отмены результатов восстановления и возврата к предыдущему состоянию сигналов, следует воспользоваться кнопками навигации по истории обработки (см. раздел <Навигация по истории обработки>).

Удаление помех пространственным фильтром и замена трасс профиля

Иногда удаление помех при помощи разложения матрицы сигналов профиля на компоненты и восстановление в заданном диапазоне уровней, описанное в предыдущем разделе, не приводит к удовлетворительным результатам.



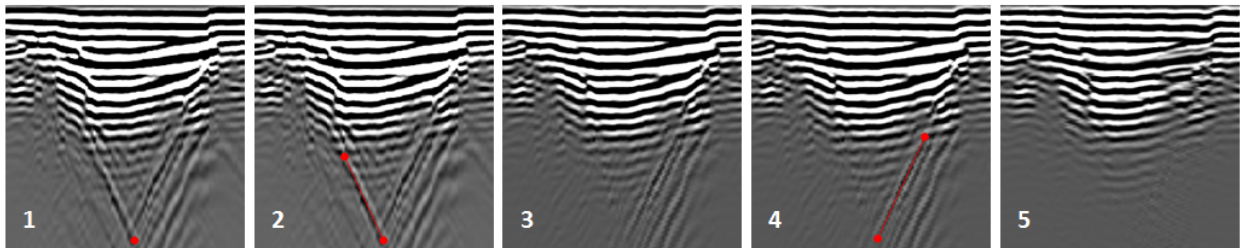
В этом случае можно воспользоваться пространственной фильтрацией, настройка параметров которой осуществляется на панели **Interference Rejection**. Чтобы отобразить панель **Interference Rejection**, следует щелкнуть по пункту меню **Interference Rejection**, расположенному в группе меню **Processing**. Панель будет размещена в нижней группе закладок. Убрать панель **Interference Rejection** можно при помощи кнопки закрытия в правом верхнем углу панели.

На панели **Interference Rejection** объединены две опции обработки, имеющие схожий алгоритм работы. Первая – пространственный фильтр, режим которого активируется кнопкой **Slope**, вторая, активируемая при помощи кнопки **Traces**, – замена георадиолокационных трасс в заданном диапазоне результатом интерполяции трасс, расположенных по краям заданного диапазона.

Кнопки **Slope** и **Traces** не могут находиться во включённом состоянии одновременно. Если одна кнопка находится в нажатом состоянии (в этом случае кнопка имеет оранжевый цвет), то при нажатии на другую кнопку, ранее включённая кнопка переходит в не нажатое состояние (кнопка меняет цвет с оранжевого на серый).

Пространственная фильтрация

В режиме пространственной фильтрации пользователь, при помощи измерительного уклона, определяет направление действия пространственного фильтра. Протяжённые оси синфазности на георадиолокационном профиле, параллельные измерительному уклону, будут отфильтрованы. Чтобы выполнить пространственную фильтрацию следует выполнить следующие действия:



1. Нажать кнопку **Slope**, если таковая находится в не нажатом состоянии. В результате вкладка области визуализации георадиолокационного профиля **GPR profile** изменит цвет с серого на тёмно-сине-зелёный.
2. Перевести указатель мыши на прямой участок удаляемой оси синфазности помехи и щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. В данном месте отобразится маркер в виде окружности красного цвета (рис. 1 сверху).
3. Перевести указатель мыши в другую точку прямого участка удаляемой оси синфазности помехи и ещё раз щёлкнуть кнопкой мыши. В данном месте отобразится второй маркер красного цвета и между маркерами создаётся измерительный уклон (рис. 2 сверху). Угол наклона созданной линии в градусах будет отображаться в верхней части панели **Interference Rejection**, правее надписи **Slope angle**.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

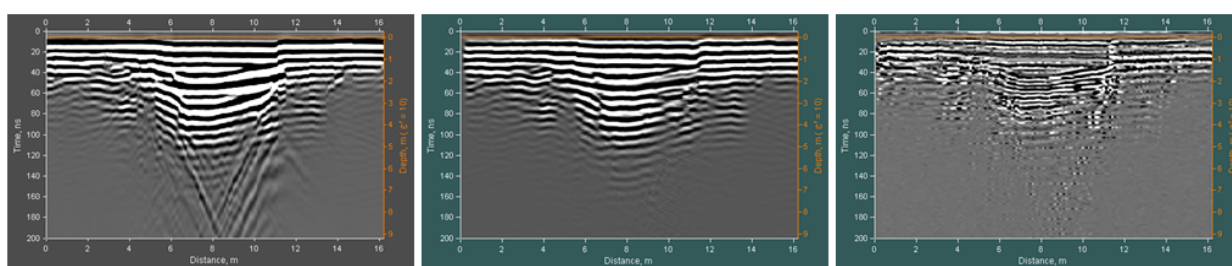
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

4. Если пользователь видит, что измерительный уклон не совсем параллелен удаляемому участку оси синфазности, то можно скорректировать его угол наклона. Для этого следует привести курсор указателя мыши на один из маркеров и нажать левую или правую кнопку мыши. Указатель мыши примет вид перекрестья, а маркер – тонкого кольца. При перемещении мыши с нажатой кнопкой, маркер будет двигаться одновременно с указателем мыши. Чтобы выйти из режима перемещения маркера, следует отпустить кнопку мыши.
5. После настройки угла измерительного уклона, нажатием на кнопку **Reject** запускается процесс фильтрации. В результате работы пространственного фильтра, все оси синфазности на георадиолокационном профиле, параллельные линии измерительного уклона, будут удалены (рис. 3).
6. Если требуется удалить оси синфазности, имеющие другой угол наклона, следует повторить пункты 2 – 5 данного раздела (если отмечен флажок **Remove measuring line**, то после завершения процесса фильтрации измерительный уклон совместно с маркерами удаляется). Или переместить существующие маркеры, а вместе с ними и измерительный уклон, на новое место, как описано в пункте 4 (если флажок **Remove measuring line** не отмечен) и нажать кнопку **Reject** (рис. 4, 5).

Длина окна пространственного фильтра определяется параметром **Filtering window**. Чем меньше это значение, тем тщательнее производится удаление целевых сигналов, но тем сильнее фильтрация затрагивает сигналы, не подлежащие удалению.

На рисунке ниже слева показана исходная радарограмма, на двух других изображениях – результат применения пространственной фильтрации с различным значением окна фильтрации. На рисунке в центре показан результат с окном фильтра = 25 (значение, установленное по умолчанию при открытии панели **Interference Rejection**), на рисунке справа – результат с минимальным окном фильтра = 3.



Исходная радарограмма

Результат с Filtering window = 25

Результат с Filtering window = 3

Для отмены результатов фильтрации и возврата к предыдущему состоянию сигналов, следует воспользоваться кнопками навигации по истории обработки (см. раздел <Навигация по истории обработки>).

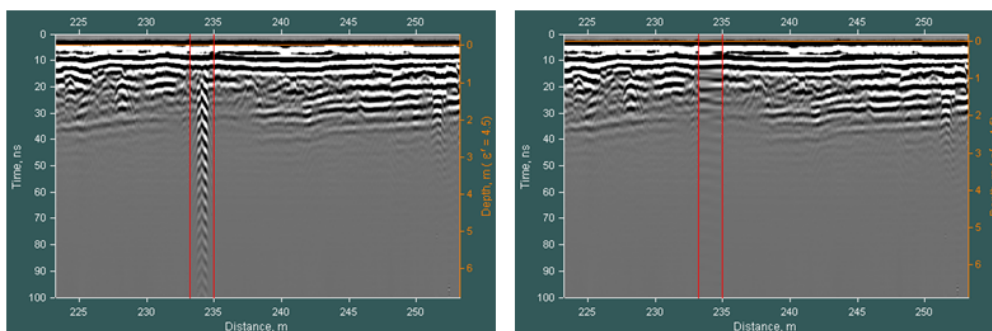
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Замена трасс профиля

На нижнем рисунке слева показан георадиолокационный профиль с интенсивной помехой от силового кабеля. Помехи подобного типа имеют следующие особенности: они локализованы по горизонтали, но растянуты по глубине. Такие помехи негативно влияют на результаты анализа поля обратного рассеяния, они искажают геометрию разреза, построенного на основе результатов этого анализа.

На рисунке справа показан георадиолокационный профиль с удалённой помехой. Георадиолокационные трассы с помехой вырезаются, и на их месте размещается результат интерполяции трасс, расположенных по краям диапазона трасс с помехой. Таким образом, помеха удаляется без изменения количества георадиолокационных трасс в профиле.



Чтобы вырезать помеху, пользователю нужно вручную определить границы области с помехой на изображении профиля, и нажать кнопку **Reject**. Для создания границ области следует выполнить следующие действия:

1. Нажать кнопку **Traces**, если таковая находится в не нажатом состоянии. В результате вкладка области визуализации георадиолокационного профиля **GPR profile** изменит цвет с серого на тёмно-сине-зелёный.
2. Перевести указатель мыши к одному из краёв области присутствия помехи и щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. В данном месте отобразится вертикальная линия красного цвета, которая будет выступать в качестве одной из границ.
3. Перевести указатель мыши другому краю области присутствия помехи и щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. В данном месте отобразится ещё одна вертикальная линия красного цвета, которая будет выступать в качестве второй границы.
4. Если требуется скорректировать положение границ на профиле, следует навести указатель мыши на одну из границ, нажать и удерживать левую или правую кнопку мыши. Линия границы изменит цвет с красного на зелёный. При перемещении мыши с нажатой кнопкой, выбранная линия границы будет двигаться одновременно с указателем мыши. Чтобы выйти из режима перемещения границы, следует отпустить кнопку мыши.

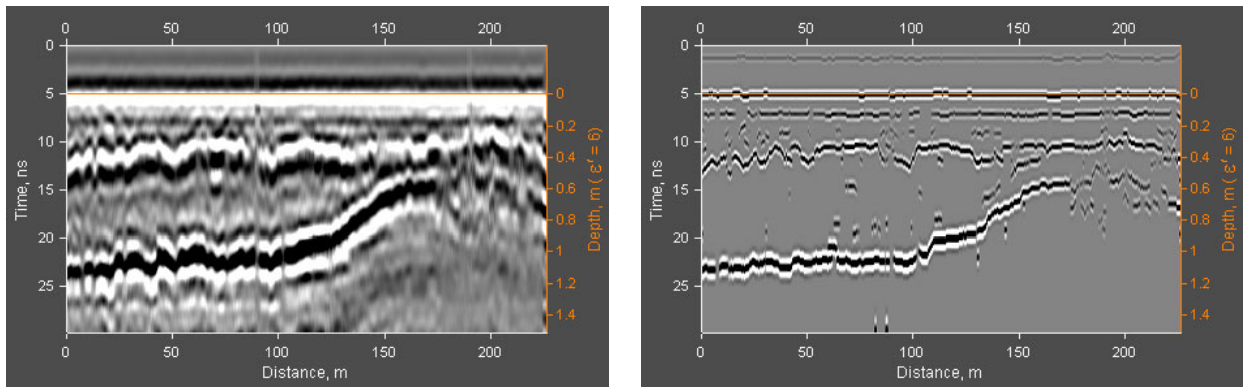
Если отмечен флажок **Remove measuring line**, то после завершения процесса замены трасс профиля, линии границ удаляются. Если флажок **Remove measuring line** не отмечен, то после завершения процесса замены линии границ не удаляются и их можно переместить на новое место.

Качество интерполяции трасс задаётся параметром **Rejection quality**. Существуют три уровня качества: **high**, **mid** и **low** – высокое, среднее и низкое. По умолчанию выбрано высокое качество интерполяции. Использование низкого качества экономит время вычислений и память (актуально при работе на старых компьютерах).

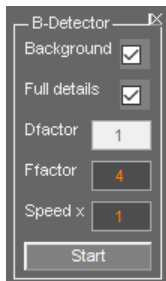
Для отмены результатов замены трасс профиля следует воспользоваться навигацией по истории обработки (см. раздел <Навигация по истории обработки>).

B-Detector

Опция обработки **B-Detector** (Boundaries Detector) служит для выделения границ слоёв и повышения вертикального разрешения георадарных данных. При помощи **B-Detector** пользователь управляет частотой сигналов и детализацией георадиолокационного профиля. На рисунке ниже слева показан результат профилирования автомобильной дороги георадаром с антенной 400 МГц, справа – результат обработки методом **B-Detector**:



В результате обработки сигналов методом **B-Detector** оси синфазности границ раздела сред легче прослеживаются, повышается точность позиционирования границ, георадарный профиль хорошо адаптирован для автоматизированной пикировки границ.



Настройка параметров данной опции обработки осуществляется на панели **B-Detector**. Чтобы отобразить панель **B-Detector**, следует щелкнуть по пункту меню **B-Detector**, расположенному в группе меню **Processing**. Панель будет размещена в нижней группе закладок. Убрать панель **B-Detector** можно при помощи кнопки закрытия в правом верхнем углу панели.

Панель **B-Detector** содержит следующие элементы управления параметрами (перечисление сверху вниз):

- **Background** – если данный флажок не отмечен, производится удаление из результата обработки опцией **B-Detector** осциллирующих сигналов, если таковые мешают визуализации. Иногда осцилляции бывают полезны с точки зрения отображения динамики изменения волновой картины георадиолокационного профиля.
- **Full details** – режим максимально возможной детализации результата обработки опцией **B-Detector**. Когда отмечен данный флажок, окно ввода параметра **Dfactor** недоступно;
- **Dfactor** - коэффициент детализации. С увеличением данного коэффициента увеличивается детализация результата обработки опцией **B-Detector**. Если значение данного параметра равно нулю, то ;
- **Ffactor** – множитель частоты. Чем выше значение множителя, тем выше частота сигналов георадарного профиля, шире спектр и, соответственно, выше разрешение данных;
- **Speed x** – ускорение обработки с потерей разрешения по горизонтали. Увеличение скорости удобно для настройки параметров **B-Detector** при обработке длинных профилей, когда

требуется запускать процесс несколько раз. После настройки параметров **B-Detector** устанавливается **Speed x = 1** и выполняется финальная обработка без потери горизонтального разрешения;

- **Start** – кнопка запуска процесса **B-Detector**.

Навигация по истории обработки

После завершения выполнения какой-либо операции по обработке сигналов или редактирования профиля, все изменения, вызванные данным действием, совместно с его параметрами, записываются в память программы. Пользователь может перейти к тому или иному шагу обработки, воспользовавшись кнопками навигации. Кнопки навигации расположены в нижнем ряду на панели **Signal Processing** и выполняют следующие действия:

- << - возврат к исходным (не обработанным) данным. Если после возврата к исходным данным и ещё раз нажать на эту же кнопку, то история обработки удаляется после того, как пользователь нажмёт кнопку **Yes** на отобразившейся панели подтверждения удаления;
- < - переход к предыдущему шагу обработки;
- > - переход к последующему шагу обработки;
- >> - переход к последнему шагу обработки.

Информация о текущем шаге обработки, общем количестве шагов обработки, а также краткая информация о параметрах текущего шага обработки отображается в информационной строке, которая расположена у нижнего края рабочего окна программы. На рисунке ниже показан пример информационной строки после частотной фильтрации:

```
P250_0079.gpr: Processing step 2/2, Frequency filtering, F1stop = 59.5068, F1pass = 87.9224, F2pass = 115.391, F2stop = 170.664, Keff = 0.7
```

Если пользователь перешёл на этап обработки, который не является последним, и на этом этапе применил к георадиолокационному профилю какой-либо другой вид обработки, то параметры этой обработки будут записаны в следующий, за текущим, шаг. При этом все дальнейшие шаги истории обработки, если таковые присутствуют, удаляются из памяти.

Сохранение и загрузка истории обработки

Сохранение истории обработки в файл с расширением **gpro** выполняется при помощи пункта меню **Save Processing History**, принадлежащей группе меню **Processing**. История обработки сохраняется от первого шага (исходных сигналов) до текущего шага включительно. Таким образом, если после текущего шага есть ещё шаги обработки, то эти шаги не сохраняются. Об этом сообщается пользователю в сплывающем окне предупреждения.

Одновременно с сохранением истории обработки в файл **gpro**, описание шагов обработки сохраняется в текстовый файл с именем, состоящим из имени открытого файла и добавленного к нему окончания **_processing_flow**. Например, если сохраняется история обработки файла с именем **filename.gpr**, то в директории нахождения этого файла будут сохранены два новых файла с именами **filename.gpro** и **filename_processing_flow.txt**. На рисунке ниже показан пример содержания текстового файла с шагами обработки:

```
Data processing flow in GEORADAR-EXPERT 2.0
GPR profile name: 400 140-280 m
Step #1 : Frequency filtering, F1stop = 239.531, F1pass =
149.707, F2pass = 429.16, F2stop = 349.316, Keff = 1
Step #2 : Wavelet decomposition, order 6 level 6
Step #3 : Global average subtraction
29-Nov-2015 9:15:47.998
```


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

После сохранения истории обработки, становятся доступными пункты меню **Start Processing** и **Start Processing in Batch Mode**, расположенные в той же группе меню **Processing**.

Загрузка истории обработки из файла с расширением **gepro** в программу выполняется при помощи пункта меню **Load Processing History** из группы меню **Processing**.

Отобразить загруженную историю обработки в информационном окне программы можно при помощи пункта меню **View Loaded Processing List** из группы меню **Processing**.

```
Processing list:
Step 1: Interference rejection, win size = 25, quality high
Step 2: Interference rejection, win size = 25, quality high
Step 3: Smoothing signals, window size X(meters)=1.5 ,Y(samples)=1

Left-Click - delete this message, Right-Click - close the program
```

Отобразить уже применённую историю обработки в информационном окне программы можно при помощи пункта меню **View Processing History** из группы меню **Processing**.

Загруженная история обработки заменяет существующую историю обработки, если таковая присутствует в памяти программы, только после применения этой загруженной истории к сигналам георадиолокационного профиля.

Пункт меню **Start Processing** служит для применения загруженной истории обработки к сигналам открытого в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ георадиолокационного профиля.

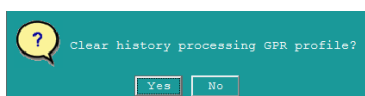
Обработка в пакетном режиме

Пункт меню **Start Processing in Batch Mode**, расположенный в группе меню **Processing**, служит для запуска процесса обработки группы файлов в соответствии с находящейся в памяти программы историей обработки. После нажатия на пункт меню **Start Processing in Batch Mode** откроется окно выбора файлов профиля, где пользователь выбирает файлы для обработки.

Каждый из выбранных файлов загружается в программу, после чего производится обработка данных в соответствии шагами истории обработки. Результат обработки сохраняется в файл с расширением **efd**.

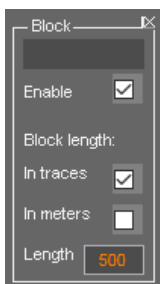
Если до начала процесса пакетной обработки открыта панель настроек сохранения изображений **Save in Graphic Format** (более подробно см. в <Сохранение изображения в графическом формате>), то наряду с сохранением результатов обработки в файл **efd**, осуществляется сохранение изображения обработанного профиля в файл графического формата в соответствии с настройками на панели **Save in Graphic Format**. Если процесс пакетной обработки выполняется с открытой панелью **Save in graphic format**, но список обработки пуст, то в этом случае осуществляется сохранение изображения каждого загруженного GPR профиля без какой-либо обработки в текущую директорию.

Удаление истории обработки



Очистить память истории обработки можно при помощи пункта меню **Clear Processing History**, расположенного в группе меню **Processing**. Или при помощи кнопки навигации по истории обработки << перейти к необработанным сигналам, и ещё раз нажать на эту же кнопку. Возникнет панель подтверждения удаления, где пользователь должен нажать **Yes** чтобы продолжить процесс удаления, или кнопку **No** для отказа.

Обработка сигналов в блочном режиме



При обработке сигналов длинных георадиолокационных профилей, с количеством трасс в несколько десятков тысяч, может возникать дефицит объема оперативной памяти компьютера и, как следствие, значительное снижение быстродействия программы. Чтобы этого не случилось, рекомендуется производить обработку длинных профилей в блочном режиме, при котором профиль обрабатывается не целиком, а постепенно, блоками заданной длины.

Для активации данного режима следует, при помощи пункта меню **Block-by-block Processing**, расположенного в группе меню **Processing**, открыть панель **Block**. Панель загружается в нижнюю группу вкладок. Убрать панель **Block** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Панель **Block** включает следующие элементы управления:

- **Enable** – если данный флажок отмечен, то данные георадиолокационного профиля для обработки загружаются в память компьютера не целиком, а блоками заданной длины. Загрузка последующего блока невозможна, пока текущий загруженный блок не будет обработан;
- **In traces** – если данный флажок отмечен, то длина блока определяется в георадиолокационных трассах;
- **In meters** – если данный флажок отмечен, то длина блока определяется в метрах;
- **Length** – окно ввода значения длины блока.

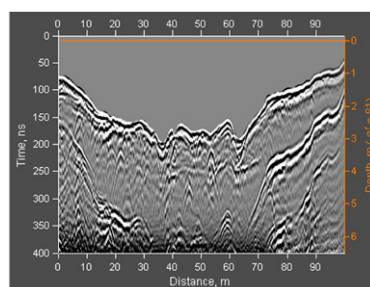
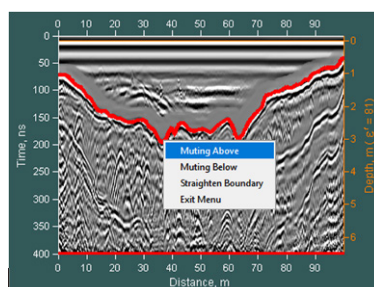
Информационное поле, расположенное выше флажка **Enable** служит для отображения порядкового номера текущего обрабатываемого блока георадиолокационного профиля.

Блочный режим обработки применяется не для всех видов обработки, а только для ресурсоёмких. Таких, как **Interference Rejection**, **Signal Decomposition in Components**.

Мьютинг

Мьютинг применяется для обнуления информации на заданных участках георадиолокационных трасс. Например, если на георадарном профиле обнулить слой воды, то результат анализа поля обратного рассеяния для этого профиля будет производиться быстрее.

Чтобы выполнить мьютинг сигналов, пользователю требуется проложить на георадарном профиле границу (см. раздел <Пользовательские границы слоёв>), после завершения создания границы навести на неё указатель мыши и щелкнуть правой кнопкой. В открывшемся меню выбрать пункт **Muting Above** (мьютинг выше) или **Muting Below** (мьютинг ниже), после чего область георадарного профиля, расположенная выше или ниже границы обнулится. После обнуления границу можно удалить. На ниже показан георадарный профиль до и после мьютинга слоя воды.

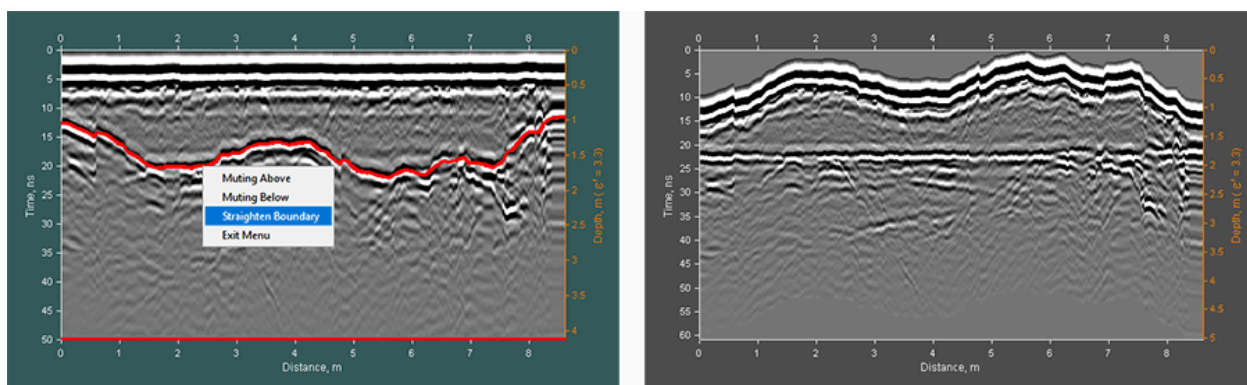


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Корректировка положения георадарных трасс по вертикали

Для корректировки положения георадарных трасс по вертикали относительно заданной границы пользователю требуется проложить на георадарном профиле эту границу по какой-либо оси синфазностей сигналов (см. раздел <Пользовательские границы слоёв>). После завершения создания границы нужно навести на эту границу указатель мыши, и щелкнуть правой кнопкой. В открывшемся меню выбрать пункт **Straighten Boundary**, после чего положение георадарных трасс по высоте корректируется так, что ось синфазности сигналов, по которой была проложена граница, выпрямится. После завершения процесса границу можно удалить. Ниже показан георадарный профиль до и после корректировки положения георадарных трасс.



Корректировка положения георадарных трасс по горизонтали

Пользователь может корректировать положение георадиолокационных трасс на профиле, задавая соответствие между порядковым номером трассы и положением этой трассы на профиле в метрах. Номер трассы можно увидеть, переведя указатель мыши в информационный режим (более подробно см. в разделе <Настройка шкал и режимов указателя мыши>). Соответствие задаётся при помощи таблицы в формате MS EXCEL. Первый столбец таблицы – это номера трасс, второй столбец – это положение в метрах. Под массивом числовых значений пользователь должен указать тип данных для второго столбца таблицы.

Данные во втором столбце бывают двух типов. Если указан тип **distance**, то значения во втором столбце являются положением трасс на профиле в метрах. Если указан тип **increment**, то указаны приращения расстояния в метрах от предыдущей трассы, указанной в таблице (т.е. от номера трассы, расположенной в таблице на одну строку выше). Приращение расстояния для номера трассы, указанной в таблице в первой строке рассчитывается от первой трассы георадарного профиля.

Чтобы скорректировать положение трасс на профиле, пользователь нужно создать таблицу положений трасс и при помощи меню **Traces Reposition**, расположенном в группе меню **Edit**, загрузить эту таблицу. Процесс корректировки автоматически начнётся после загрузки таблицы в программу.

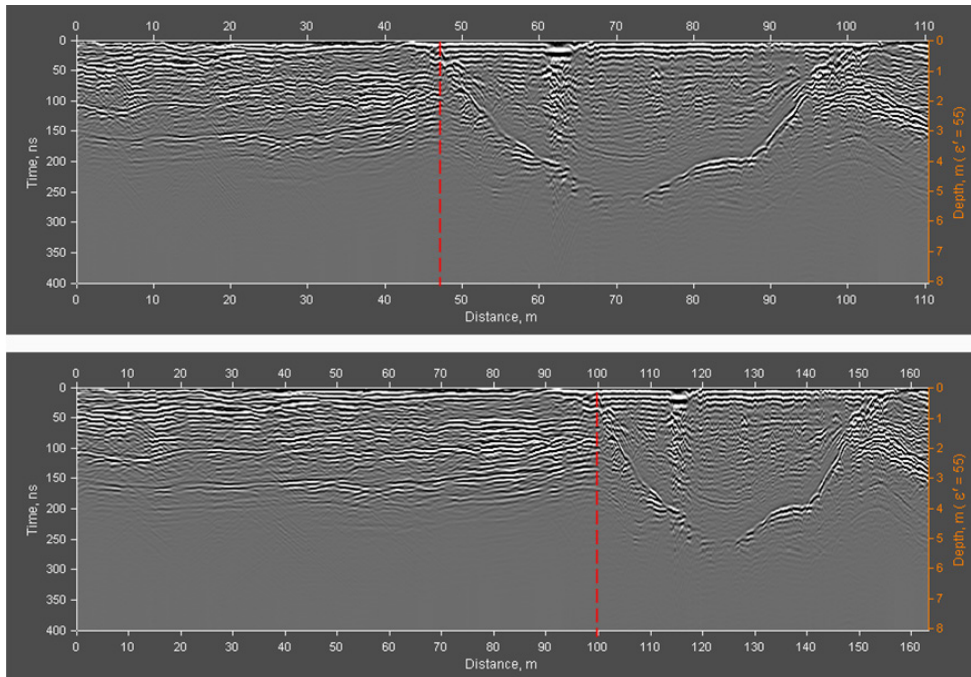
Ниже показан пример корректировки положения трасс профиля в соответствии с приведённой таблицей. В таблице всего одна строка соответствия, в которой трассе 473 задано положение на отметке 100 м по профилю (тип данных второго столбца - **distance**). На верхнем рисунке показан профиль до корректировки, на нижнем рисунке – после корректировки положения трасс. Красной линией на показаны положения трассы 473. В результате корректировки длина профиля изменилась, и чтобы сохранить одинаковое расстояние между трассами,

| | A | B | C |
|---|----------|-----|---|
| 1 | 473 | 100 | |
| 2 | distance | | |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

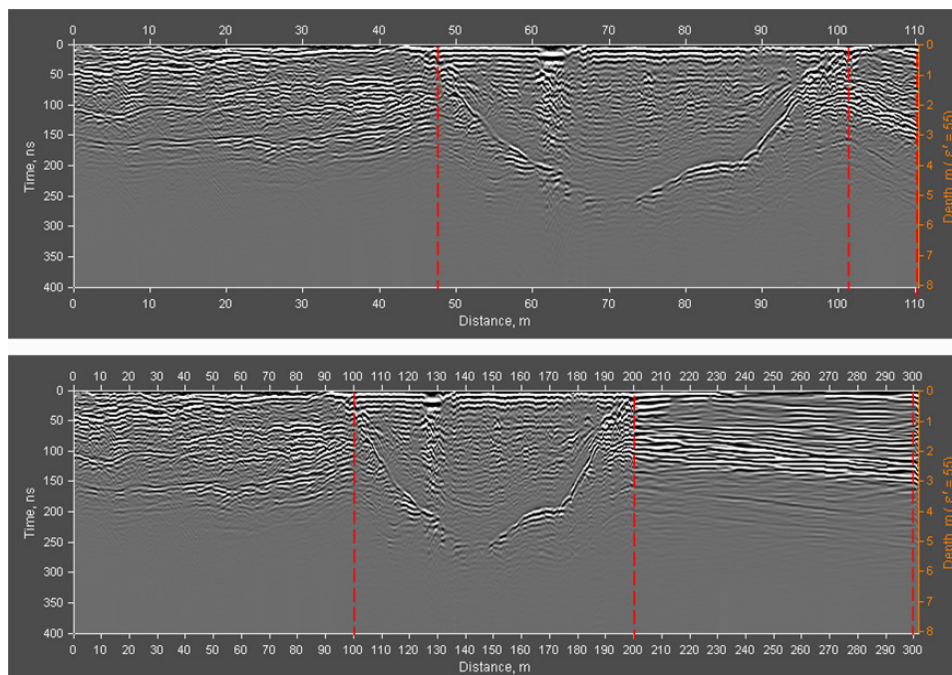
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

добавились дополнительные трассы на участке 0 – 100 м, которые являются результатом интерполяции.



Далее показан пример корректировки положения трасс профиля в соответствии с приведённой таблицей, где тип данных второго столбца - приращение расстояний. Положения трасс из таблицы на профиле показаны красными линиями.

| | A | B | C |
|---|-----------|-----|---|
| 1 | 473 | 100 | |
| 2 | 1017 | 100 | |
| 3 | 1089 | 100 | |
| 4 | increment | | |
| ε | | | |



Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния

Идея метода

Идея метода автоматизированного анализа поля обратного рассеяния состоит в исследовании программными средствами георадиолокационного профиля для поиска и обнаружения сигналов, обладающих признаками дифрагированных отражений. На основе измеренных кинематических и динамических характеристик подобных сигналов строится модель среды.

В рамках данного метода исследуемая среда рассматривается как распределённое в пространстве множество локальных неоднородностей. По характеристикам дифрагированных волн, порождённых этими неоднородностями, можно судить о её параметрах.

Теоретически, если исследуемая среда не содержит локальных неоднородностей, то применение метода анализа поля обратного рассеяния при построении разреза становится невозможным. В реальности же, подобные среды практически не встречаются. В естественных и искусственных толщах всегда достаточно объектов различных масштабов, являющихся источником дифрагированных волн.

Более развёрнуто идея метода рассматривается в <Статья “Обработка георадарных данных в автоматическом режиме”, журнал “ГЕОФИЗИКА” №4 за 2010 г>.

Терминология

В данном разделе приведены пояснения ключевых понятий, которые будут использованы в дальнейшем.

Локальный объект

Локальный объект (локальная неоднородность) – объект подповерхностной среды, электрофизические характеристики которого отличается от вмещающего пространства, а линейные размеры сопоставимы с длиной волны зондирующего импульса георадара. В качестве локальных объектов могут выступать неоднородности грунта, пересекаемые георадиолокационным профилем подземные коммуникации, места резкого изменения геометрии подповерхностных объектов (углы строительных конструкций, места разрыва слоёв).

Дифрагированное отражение

Локальный объект в исследуемой среде порождает дифрагированную волну, несущую информацию, как о рассеивающем объекте, так и о характеристиках вмещающей среды. Использование дифрагированных отражений затруднено из-за слабой интенсивности дифракционной компоненты волнового поля. Усиление дифракционной компоненты и ее выделение из полного поля является ключевой задачей на начальном этапе анализа поля обратного рассеяния.

Поле обратного рассеяния

Поле обратного рассеяния (BSEF - back-scattering electromagnetic field) – вторичное электромагнитное поле, которое возникает при отражении зондирующих импульсов георадара от локальных неоднородностей подповерхностной среды. В силу особенностей распространения электромагнитных волн, отражения от локальных объектов присутствуют на волновой картине георадиолокационного профиля в виде осей синфазности сигналов, по форме напоминающих гиперболу (дифрагированные волны). Как правило, лишь незначительная часть дифрагированных отражений проявляется на исходном (не обработанном) георадиолокационном профиле,

остальные замаскированы более сильными отражениями от границ слоёв, переотражениями и шумом. В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ начальный этап автоматизированного анализа - это автоматизированное выделение поля обратного рассеяния при помощи специализированных фильтров.

Вероятность наличия поля обратного рассеяния

Вероятность наличия поля обратного рассеяния – вероятность того, что комбинация сигналов георадиолокационного профиля, идентифицированная программой, как отражение от локального объекта, действительно является частью дифрагированного отражения. Мерой вероятности является отношение количества синфазных сигналов на линии гиперболы, проходящей через максимумы дифрагированного отражения к длине этой линии. Таким образом, если все максимумы дифрагированного отражения состоят из сигналов одинаковой фазы, вероятность наличия поля обратного рассеяния составляет 100 %.

Точка анализа поля

Точка анализа поля – это точка на георадиолокационном профиле, имеющая координаты $X[m]$ и $Y[нс]$, которые соответствуют положению вершины дифрагированного отражения, измеренные кинематические и динамические характеристики которого являются атрибутами данной точки. В качестве атрибутов, также, выступают величины, вычисленные на основе измеренных характеристик.

Наиболее значимые атрибуты

Наиболее значимыми атрибутами точек анализа поля, которые играют важную роль в минимизации возможных ошибок анализа поля обратного рассеяния, являются следующие атрибуты:

ϵ' - действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Значение данного атрибута показывает, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в среде меньше, чем в вакууме. Чем больше значение ϵ' среды, тем меньше скорость распространения электромагнитной волны в этой среде;

f – центральная частота спектра сигналов дифрагированного отражения;

Δf - ширина спектра сигналов дифрагированного отражения – т.е. полоса частот, в которой сосредоточена основная энергия сигнала;

Q-factor – отношение центральной частоты к ширине спектра сигналов дифрагированного отражения, характеризующее, во сколько раз запасы энергии электромагнитной волны больше, чем потери энергии за один период колебаний. Чем выше значение атрибута **Q-factor**, тем меньше потери энергии за каждый период колебаний волны и тем медленнее они затухают.

Ошибки анализа поля обратного рассеяния

Ошибки анализа поля обратного рассеяния могут возникать в результате влияния различного рода помех при измерении характеристик дифрагированных отражений. Для минимизации влияния возможных ошибок анализа на построение разреза служит корректирующая функция (КФ).

Корректирующая функция

Излученный в исследуемую среду зондирующий импульс меняет свои частотные характеристики f и Δf по мере удаления от антенн георадара. Это происходит из-за частотно зависимого характера затухания в среде. Например, у большинства исследуемых методом георадиолокации сред, высокочастотные компоненты электромагнитных волн затухают быстрее, чем низкочастотные. Т.е. прослеживается взаимосвязь между частотой и вертикальной координатой. Про диэлектрическую

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

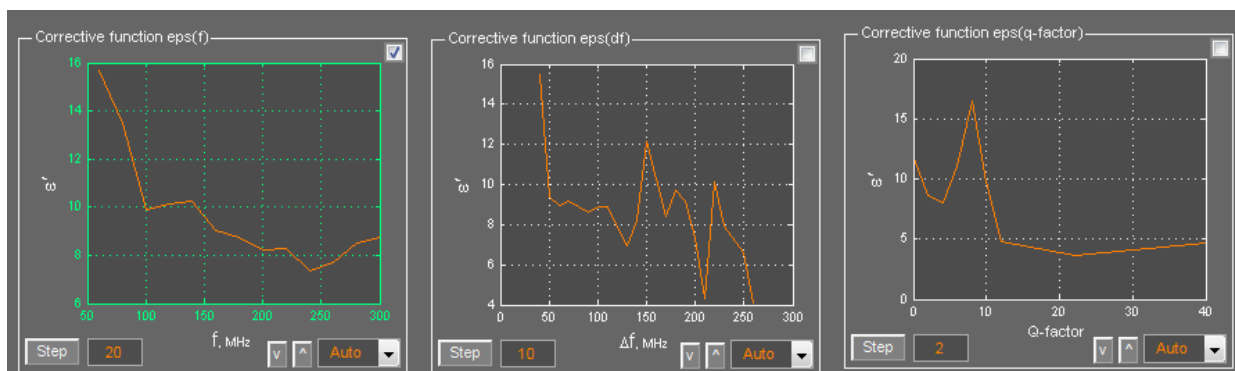
проницаемость также можно сказать, что её изменение с глубиной происходит по некоторому закону, который для каждого типа разреза – свой. Таким образом, можно сказать, что для разреза (или фрагмента разреза) с однотипным характером волновой картины, будет прослеживаться зависимость между диэлектрической проницаемостью и частотными характеристиками отражённых сигналов (**f**, **Δf** и **Q-factor**).

Корректирующая функция (КФ) – это уравнение регрессии, определяющее зависимость значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ϵ' от центральной частоты дифрагированного отражения **f** (или **Δf** , или **Q-factor**) для фрагмента профиля с однотипным характером волновой картины.

Применяя корректирующую функцию в качестве маски фильтра к множеству пар [ϵ' f] (или [ϵ' **Δf**], или [ϵ' **Q-factor**]), соответственно, являющихся атрибутами точек анализа поля, можно минимизировать влияние возможных ошибок автоматизированного анализа поля обратного рассеяния на достоверность разреза.

Корректирующая функция рассчитывается автоматически. Пользователь может влиять на параметры корректирующей функции, меняя диапазон ϵ' и аргументов КФ – **f**, **Δf** , или **Q-factor**. Предусмотрена возможность строить график КФ и вручную, при помощи мыши (более подробно см. в <Построение корректирующей функции в ручном режиме>).

Графики КФ отображаются в левой группе вкладок и имеют следующий вид (на вкладке, панели КФ расположены одна над другой):



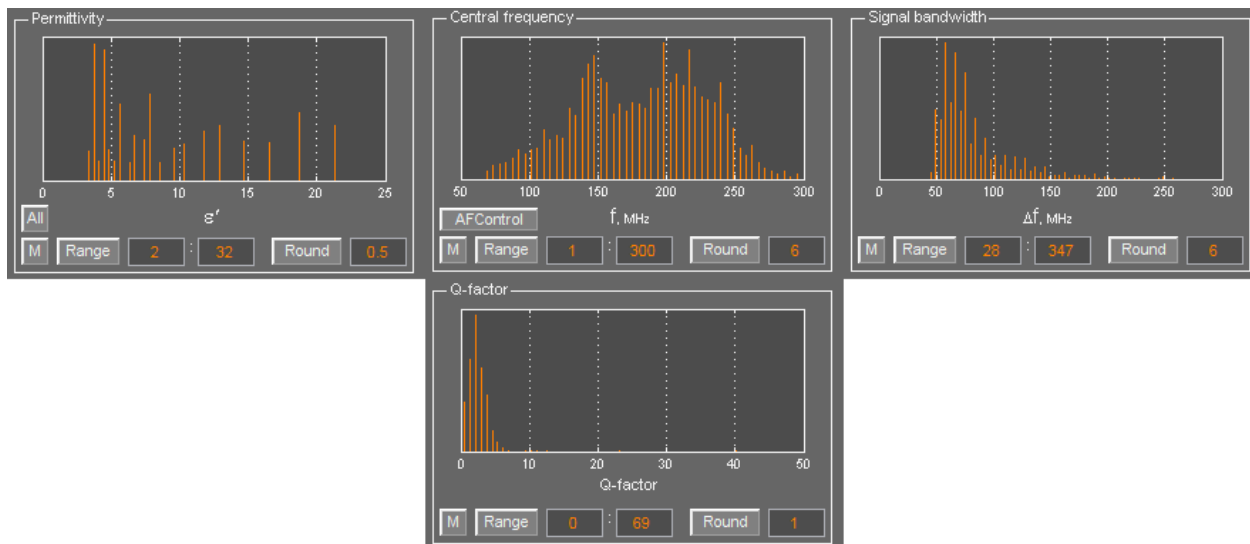
Практика показала, что в подавляющем большинстве случаев, в качестве КФ используется зависимость ϵ' от **f**. Этот тип корректирующей функции выбран для построения разреза по умолчанию (флажок выбора КФ в правом верхнем углу панели отмечен, оси графика КФ окрашены в зелёный цвет). Подробно о настройках КФ – см. в разделе <Настройки корректирующей функции>.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Гистограммы наиболее значимых атрибутов

Гистограммы наиболее значимых атрибутов служат для визуальной оценки результатов анализа поля обратного рассеяния, а также для выбора диапазона ограничения атрибутов, если таковой необходим. Гистограммы отображаются в левой группе вкладок и имеют следующий вид (на вкладке, панели гистограмм расположены одна над другой):



Гистограмма показывает распределение количества точек анализа поля обратного рассеяния по значениям атрибута. Т.е. чем больше высота элемента гистограммы для какого-либо значения атрибута, тем больше точек анализа имеют это значение атрибута.

Ограничение диапазонов значимых атрибутов

Ограничение диапазона значимых атрибутов - это ещё один, помимо корректирующей функции, инструмент минимизации возможных ошибок анализа поля обратного рассеяния. Пользователь принимает решение об ограничении по каждому из значимых атрибутов и выборе диапазона ограничения, опираясь на априорную информацию об исследуемой среде и данные гистограмм ϵ' , f , Δf и Q -factor. Более подробно об ограничении диапазонов см. в разделе <Ограничение диапазона значимых атрибутов>.

Опорные точки разреза

Опорные точки разреза – подмножество точек анализа поля после применения ограничений диапазонов значимых атрибутов. Опорные точки разреза используются в качестве узловых точек при построении разреза методом триангуляции Делоне.

Ограничения метода

Ограничение метода автоматизированного анализа поля обратного рассеяния состоит в том, что метод не работает в случае отсутствия дифрагированных волн на георадиолокационном профиле. Дифрагированные волны не могут быть выделены на георадиолокационном профиле по следующим причинам:

Отсутствие локальных неоднородностей

Теоретически, если исследуемая среда не содержит локальных неоднородностей, то применение метода анализа поля обратного рассеяния при построении разреза становится невозможным. В реальности же, подобные среды в твёрдом состоянии практически не встречаются. В естественных

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

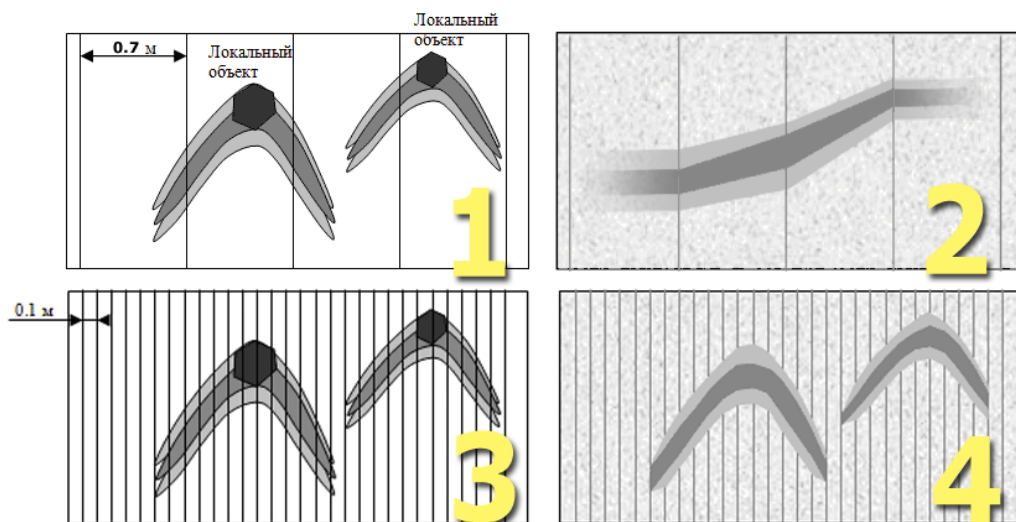
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

и искусственных толщах всегда имеется достаточное, для построения модели среды, количество объектов различного масштаба и природы, являющихся источником дифрагированных волн.

Присутствие на георадиолокационном профиле толщи воды, в которой, дифрагированные волны, скорее всего, будут отсутствовать, не мешает применить анализ поля обратного рассеяния при построении разреза. В этом случае, при помощи ручной пикировки границ, пользователь может выделить слой воды и вручную назначить ему диэлектрическую проницаемость ϵ_1 . Это касается и других сред, в толще которых нет локальных неоднородностей, но известно значение ϵ' .

Излишне большой шаг профилирования

Если георадиолокационное профилирование производится с шагом зондирования (расстоянием между георадиолокационными трассами), превышающим определённое значение, которое зависит от диаграммы направленности и центральной частоты антенны георадара, регистрация дифрагированных волн георадаром будет невозможна. На рисунке ниже размещена иллюстрация влияния шага профилирования на результат. Для примера взят георадар с центральной частотой зондирующих импульсов 250 МГц.



На рисунке 1 схематично показана исследуемая георадаром однородная среда с двумя локальными объектами в толще и дифрагированными отражениями от этих объектов. Вертикальные линии на схеме показывают положение георадиолокационных трасс. Расстояние между трассами – это шаг профилирования. Шаг профилирования равен 0.7 м. Затухание в среде довольно высокое – пусть это будет влажный суглинок.

На рисунке 2 показана радарограмма, полученная в ходе профилирования этой среды. Вертикальными линиями условно показано положение георадиолокационных трасс. При таком большом, для данного типа антенны, шаге профилирования, дифрагированные отражения от локальных объектов не могут быть сформированы, так как на каждое отражение от локального объекта приходится всего одна – две георадиолокационные трассы. Отражение будет напоминать отражение от небольшой, по протяжённости, границы раздела сред.

На рисунке 3 показана та же схема, что и на рисунке 1, только шаг профилирования уменьшен и установлен равный 0.1 метру. Очевидно, что при таком шаге дифрагированные отражения от локальных объектов будут уверенно регистрироваться георадаром и отображаться на радарограмме – см. рисунок 4. На каждое такое отражение уже приходится свыше десятка трасс.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В разделе <Параметры записи георадиолокационного профиля> даны рекомендации оптимальных параметров записи георадиолокационных профилей для последующей их обработки методом анализа поля обратного рассеяния.

Параметры записи георадиолокационного профиля

Для последующего корректного выполнения анализа поля обратного рассеяния, параметры записи георадиолокационного профиля должны удовлетворять следующим условиям:

- Расстояние между трассами зондирования георадиолокационного профиля должно быть одинаковым. Т.е. георадиолокационное профилирование должно координироваться при помощи датчика перемещения антенн георадара, или осуществляться в пошаговом режиме. Возможно использование профилей, полученных без датчика перемещения при условии, что антенны георадара перемещались равномерно, с постоянной скоростью, на всём протяжении записи профиля, и известна точная длина профиля.
- Параметры записи георадиолокационного профиля, по возможности, не должны выходить за пределы следующих значений (верно для дипольных антенн с диаграммой направленности в $\approx 120^\circ$, применяемых во многих георадарах и в средах с умеренным поглощением электромагнитных волн):

| <i>Центральная частота антенны георадара, МГц</i> | <i>Шаг профилирования, м</i> | <i>Максимальное время трассы, нс</i> |
|---|------------------------------|--------------------------------------|
| 1700 | 0.05 | 50 |
| 400 | 0.05 | 200 |
| 250 | 0.1 | 300 |
| 150 | 0.3 | 400 |
| 70 | 0.5 | 500 |
| 50 | 0.7 | 600 |
| 25 | 1 | 1000 |

Примечание: В высоко поглощающих средах (влажные суглинистые грунты, влажные торфяники, и пр.), шаг георадиолокационного профилирования должен быть уменьшен не менее, чем в два раза.

Предварительная обработка данных

Перед началом автоматизированного анализа поля обратного рассеяния выполнять предварительную обработку георадиолокационного профиля требуется в следующих случаях:

Излишне малый шаг между георадиолокационными трассами

Слишком малый, по сравнению с рекомендованным в разделе <Параметры записи георадиолокационного профиля>, шаг профилирования. В этом случае, для увеличения шага и, соответственно, уменьшения количества трасс в профиле, следует воспользоваться ресемплингом профиля по горизонтали – см. раздел <

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

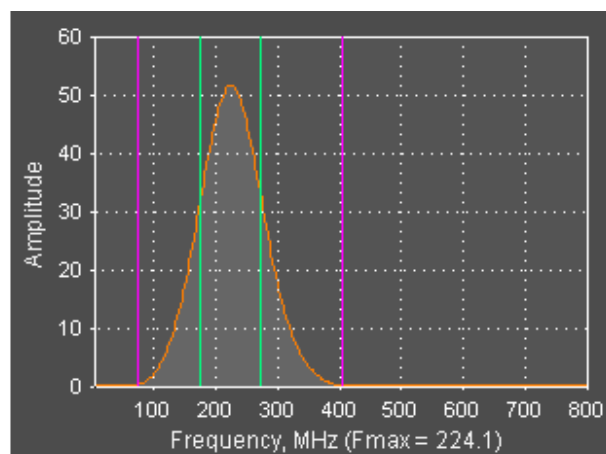
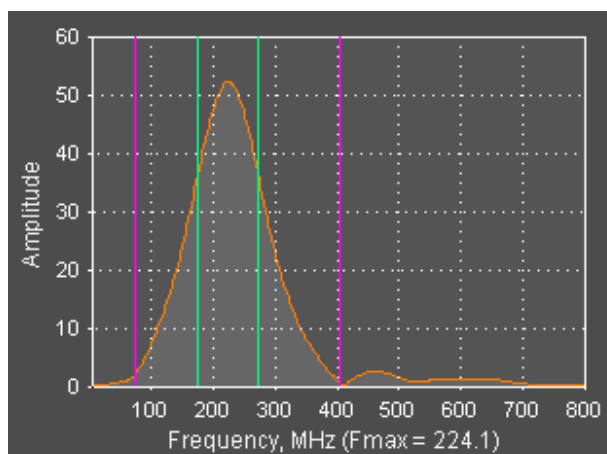
Ресемплинг>.

Например, георадаром с антенной 250 МГц был записан профиль с шагом профилирования 0.01 м, когда как рекомендованный шаг профилирования для этой частоты – 0.1м. Пользователю следует ввести в окно ввода параметра, расположенное справа от кнопки **Resmpl** на панели **Signal processing** значение 0.1 и нажать кнопку **Resmpl**.

Значительную часть диапазона частот занимают высокочастотные шумы

В левой части рисунка ниже показан частотный спектр сигналов георадиолокационного профиля (записан георадаром с антенной 400 МГц), перед анализом BSEF которого рекомендуется ослабить высокочастотные компоненты.

График спектра показывает, что основная энергия отражённых сигналов сосредоточена в диапазоне частот до 400 МГц. Подъём линии спектра в диапазоне, превышающем 400 МГц, обусловлен влиянием шумов. Полезных сигналов в этом диапазоне нет. Если перед анализом BSEF частоты этого диапазона не ослаблять, то результаты анализа могут быть искажены влиянием случайных значений, полученных из шумов.



В правой части рисунка показан результат подавления сигналов шумового диапазона. Был применён полосовой фильтр с границами, соответствующими положению линий границ фильтра на изображении спектра. Более подробно о проведении частной фильтрации см. в разделе <Частотная фильтрация>.

Таким образом, границы фильтра для предварительной фильтрации следует выставлять в конфигурации полосового фильтра так, чтобы границы **F1stop** и **F2stop** (линии фиолетового цвета) ограничивали область нахождения основной энергии сигналов.

Практика показала, что проведение предварительной фильтрации требуют данные, записанные средне и высокочастотными антеннами георадара. Для низкочастотных антенн (до 200 МГц), чаще всего, предварительная фильтрация не проводится.

Примечание: Большинство производителей георадаров применяют в маркировке антенн значение центральной частоты, измеренное в воздухе. Исследуемая среда влияет на характеристики зондирующих импульсов георадара, как правило, понижая центральную частоту сигналов. Это и объясняет то, что значение **Fmax** на рисунке равно 224.1 МГц, хотя георадиолокационный профиль был записан георадаром ОКО с АБ400 (центральная частота 400 МГц).

Анализ BSEF и сохранение результатов анализа



Настройка параметров автоматизированного анализа поля обратного рассеяния (BSEF) осуществляется на панели **ABSEF** (Analysis of BSEF). Чтобы отобразить панель **ABSEF**, следует щелкнуть по пункту меню **BSEF Analysis of GPR Profiles**, расположенному в группе меню **Analysis**. Панель размещается в нижней группе закладок. Убрать панель **ABSEF** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Анализ BSEF имеет следующие настройки:

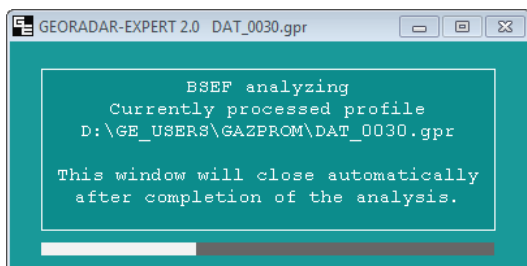
- **Iteration** – количество итераций обнаружения дифрагированных волн. С увеличением количества итераций возрастает количество обнаруженных дифрагированных отражений, однако увеличивается и количество ошибок обнаружения. По умолчанию выставлено оптимально значение данного параметра, равное 3;
- **Length** – Если до начала анализа требуется разбить профиль на фрагменты, окно ввода параметра служит для определения длины фрагмента в метрах.
- **Split profile** – если данный флажок отмечен, то первым шагом автоматизированного анализа будет разбиение профиля на заданные, в окне **Length**, фрагменты. Если флажок отмечен, а длина профиля не задана, то разбиение на фрагменты не выполняется. После анализа всех фрагментов, они объединяются в один профиль.

Георадиолокационный профиль рекомендуется разбивать на фрагменты во время анализа в следующих случаях:

- Если профиль состоит из большого количества георадиолокационных трасс – например, несколько тысяч;
- Если характер отражений на различных участках имеет значительные различия;

Кнопки, расположенные на панели **ABSEF** имеют следующие функции:

- **Start** – запуск процесса анализа BSEF текущего открытого профиля. После окончания процесса анализа пользователь должен сохранить результаты, нажав кнопку **Save**;
- **Batch** - запуск процесса анализа BSEF нескольких профилей. После нажатия данной кнопки открывается окно выбора файлов профиля. После того, как пользователь выберет файлы, окно выбора закрывается и запускается процесс анализа профилей, которые обрабатываются по очереди, после чего автоматически сохраняются в ту же директорию;
- **Save** – кнопка дублирует пункт меню **Save efd**, расположенный в группе меню **File** и служит для сохранения файла профиля с результатами анализа BSEF в файл с расширением **efd**.



На всём протяжении времени выполнения анализа BSEF главное окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ скрыто. Отображается только информационная панель с индикатором выполнения, информирующая пользователя о текущем обрабатываемом профиле.

После завершения анализа главное окно программы восстанавливается, а панели отображения результатов анализа и настроек параметров построения разреза

загружаются в левую группу вкладок (если активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section** в группе меню **File**).

Построение разреза на основе результатов анализа поля обратного рассеяния

Перечень атрибутов разреза

В программе предусмотрена возможность построения разрезов следующих атрибутов:

- **Re(permittivity)** - действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Im(permittivity)** - мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Mod(permittivity)** - модуль комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- **Frequency** - центральная частота спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Signal bandwidth** - ширина спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Irregularity spectrum** - изрезанность спектра сигналов дифрагированного отражения;
- **Spectral flatness** - спектральная неравномерность;
- **Q-factor** - отношение центральной частоты спектра сигналов к его ширине;
- **Loss tangent** - тангенс угла диэлектрических потерь;
- **Resistivity** - удельное сопротивление на центральной частоте зондирующего импульса;
- **Damping rate** - декремент затухания зондирующего импульса;
- **Radarogram signals** – амплитуды сигналов георадиолокационного профиля;
- **Diffraction amplitude** - модуль средней амплитуды дифрагированного отражения;
- **Envelope signals** - амплитуда огибающей сигналов;
- **Weight water content** - влажность весовая;
- **Volumetric water content** - влажность объёмная;
- **BSEF probability** - вероятность наличия поля обратного рассеяния;
- **Vertical resolution** – вертикальное разрешение георадиолокационного профиля.

Атрибуты **Re(permittivity)**, **Frequency**, **Signal bandwidth**, **Irregularity spectrum**, **Q-factor**, **Diffraction amplitude**, **BSEF probability** являются результатом анализа поля обратного рассеяния. Атрибуты, **Im(permittivity)**, **Loss tangent**, **Resistivity**, **Damping rate**, **Weight water content**, **Volumetric water content** рассчитываются из следующих соотношений:

- $Q = \frac{\omega}{\Delta\omega} = \frac{\omega}{2\delta}$, где: Q – Q-factor, δ - декремент затухания, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота;
- $\text{tg}\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} = \frac{\sigma}{\omega \epsilon' \epsilon_0}$, где $\text{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь, σ – удельная электрическая проводимость, ϵ'' – мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, ϵ' – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;
- $\epsilon'' / \epsilon' = 1/Q$;
- $\rho = 1/\sigma$, где ρ - удельное сопротивление;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- $\epsilon' = 3.2 + 1.1W$, где w – весовая влажность [Владов М.Л., Старовойтов А.В., “Введение в георадиолокацию”, Учебное пособие -М.: Издательство МГУ, 2004];
- $\epsilon' = 3.03 + 9.3w + 146w^2 - 76.7w^3$, где w – объёмная влажность – [Торр, G.C.; Yanuka, M.; Zebchuk, W.D.; Zegelin, S. “Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: Soil and water experiments in coaxial lines” Water Resour. Res. 1988, 24, 945-952];

Загрузка файла с результатами анализа BSEF

Загрузка файла профиля

Загрузка файла георадиолокационного профиля с результатами анализа поля обратного рассеяния, который имеет расширение **efd**, осуществляется так же, как и загрузка любого другого формата файла профиля, поддерживаемого в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Для этого нужно воспользоваться меню **Open**, расположенным в группе меню **File**, или выбрать имя профиля в списке последних открытых файлов, расположенных в нижней части группы меню **File** (более подробно см. в разделе <Загрузка файла профиля>).

Пункт меню Display CF and Parameters of Section

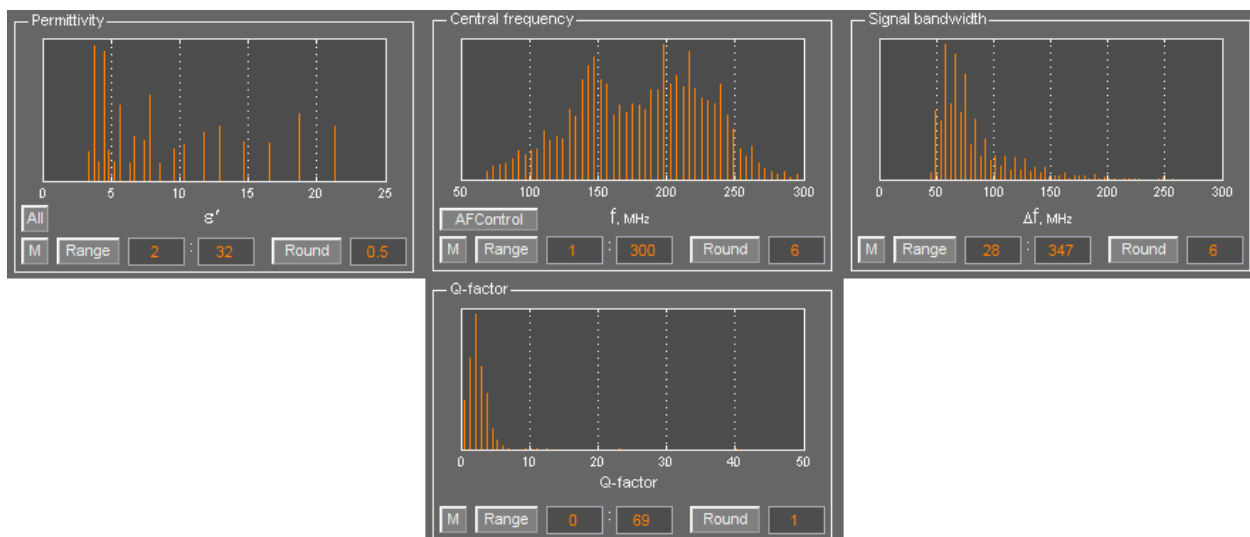
Если во время загрузки профиля с результатами анализа BSEF активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section** в группе меню **File** (сразу после запуска программы он активирован по умолчанию), панели отображения результатов анализа и настроек параметра построения разреза откроются в левой группе вкладок.

Если данный пункт меню пользователь отключил ранее, эти панели после загрузки файла отображаться не будут, но пользователь может активировать этот пункт меню в любое время. Сразу после активации пункта меню **Display CF and Parameters of Section**, панели отображения результатов анализа и настроек параметров построения разреза будут открыты в левой группе вкладок.

Описание панелей отображения результатов анализа BSEF см. в разделе <Визуализация данных анализа>.

Визуализация данных анализа

Для визуализации результатов анализа BSEF служат гистограммы атрибутов точек анализа ϵ' , f , Δf и Q -factor.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Гистограмма показывает распределение количества точек анализа BSEF по значениям атрибута. Т.е. чем больше высота элемента гистограммы какого-либо атрибута, тем больше точек анализа имеют данное значение атрибута. Гистограммы расположены на панелях, которые имеют однотипные элементы управления параметрами гистограммы и диапазоном соответствующего атрибута, и которые размещены в одном ряду нижней части панели.

Ниже перечислены эти элементы управления и даны пояснения по выполняемым ими функциям (перечисление идёт слева направо):

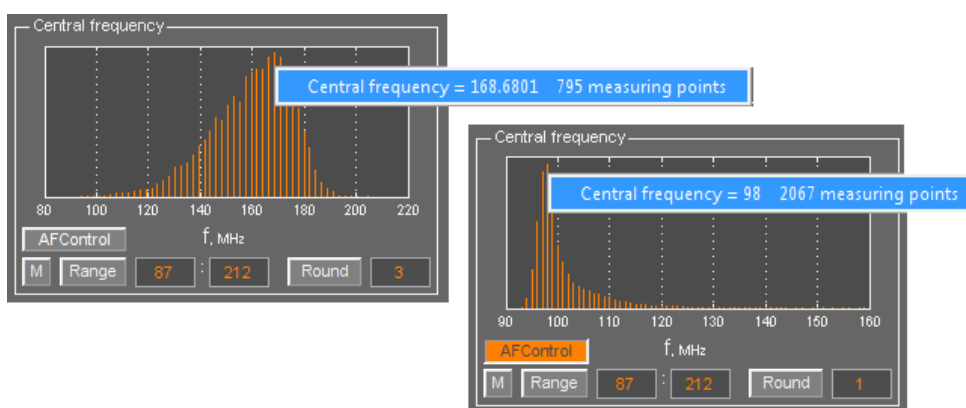
- Кнопка **M** устанавливает максимальный диапазон атрибута;
- Кнопка **Range** запускает процесс ограничения диапазона атрибута в соответствии с заданными значениями в окнах ввода параметров, расположенных правее этой кнопки. В ближайшее к кнопке **Range** окно вводится значение нижней границы диапазона, в следующее окно вводится значение верхней границы диапазона;
- Кнопка **Round** изменяет коэффициент округления значений атрибута для построения гистограммы в соответствии со значением, заданным в окне ввода, расположенного правее данной кнопки. С увеличением значения округления, количество элементов гистограммы уменьшается.

Панель гистограммы атрибута **Permittivity** имеет дополнительную кнопку **All**, расположенную над кнопкой **M**. С помощью этой кнопки устанавливается максимальный диапазон атрибутов для всех гистограмм.

Режим AFControl

Панель гистограммы атрибута центральной частоты **Central frequency** имеет дополнительную кнопку **AFControl** (Auto Frequency Control), при помощи которой значение атрибута **f** для каждой точки анализа корректируются в соответствии со значениями Δf и **Q-factor**. В результате корректировки происходит сдвиг частот в сторону НЧ и, по мере увеличения значений центральной частоты, происходит плавный спад количества точек анализа.

На рисунке ниже, справа показана гистограмма частоты в режиме **AFControl** и параметры максимума гистограммы, на рисунке слева – в обычном режиме.



Режим **AFControl** является экспериментальным и широкого применения пока не получил. Пользователь может использовать этот режим по своему усмотрению.

Изменение масштаба гистограммы по высоте

Чтобы изменить масштаб гистограммы по высоте, следует произвести одиночный щелчок левой кнопкой мыши по области гистограммы, причём, чем ближе указатель мыши к нижней границе гистограммы, тем сильнее будет изменение масштаба по вертикали. Чтобы осуществить возврат к

исходному масштабу, следует выполнить двойной щелчок правой кнопкой мыши по области гистограммы.

Параметры элемента гистограммы

Для того, чтобы отобразить параметры элемента гистограммы, следует привести указатель мыши на этот элемент и щёлкнуть правой кнопкой мыши. После щелчка рядом с элементом гистограммы отобразится всплывающее окно с информацией о значении атрибута и количестве точек анализа с этим значением (см. рисунок выше). Чтобы удалить это окно, следует по этому окну щёлкнуть левой кнопкой мыши.

Ограничение диапазона значимых атрибутов

Ограничение диапазона значимых атрибутов - это инструмент минимизации возможных ошибок анализа поля обратного рассеяния. Пользователь принимает решение об ограничении по каждому из значимых атрибутов и выборе диапазона ограничения, опираясь на априорную информацию об исследуемой среде и данные гистограмм ϵ' , f , Δf и Q -factor. При выполнении ограничения диапазона удаляются те точки анализа BSEF, значения ограничиваемого атрибута которых выходят за пределы установленного диапазона.

Для ограничения диапазона атрибута пользователь должен ввести значения границ диапазона (окна ввода правее кнопки **Range** на панели атрибута, ближнее к кнопке окно – нижняя граница диапазона, следующее окно – верхняя граница диапазона), и нажать кнопку **Range**.

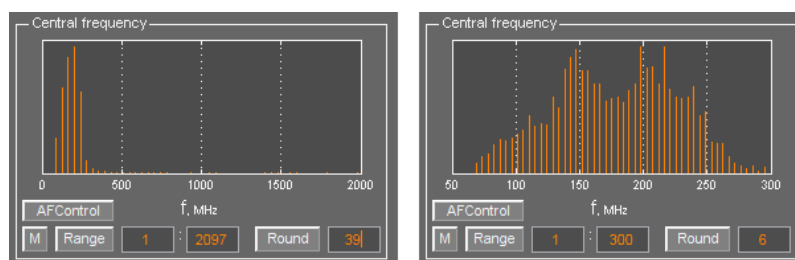
Для отмены ограничения и возврата к полному диапазону следует нажать кнопку **M**, расположенную левее кнопки **Range**.

Ограничение диапазона атрибута ϵ'

Ограничение диапазона значений ϵ' – удаление точек анализа поля со значениями диэлектрической проницаемости, выходящими за рамки диапазона возможных значений для конкретного типа и состояния грунтов или других сред по априорной информации. Например, зная, что диэлектрическая проницаемость переувлажнённого песка не превышает 32, а сухого – не выше 5, то для песчано-суглинистых грунтов можно определять диапазон значений ϵ' в пределах 2 – 35 (диапазон задаётся с небольшим запасом). Если грунт влажный, для того же разреза нижнюю границу диапазона следует увеличить до 9 – 10. Если известно, что грунты содержат слои влажного торфа, верхний предел диапазона ϵ' можно увеличить до 50 - 60.

Ограничение диапазона атрибута f

Ограничение диапазона центральной частоты производится в том случае, когда присутствует обширный диапазон частот (как правило, высоких) с малым показателем количества точек на значение, сдвигающий область сосредоточения основной энергии сигнала сильно влево по шкале частоты. На рисунке ниже показан вид гистограммы в случае, когда рекомендуется применить ограничение частоты (рисунок слева). Результат ограничения показан на рисунке справа:



Ограничение диапазона атрибута Δf и Q -factor

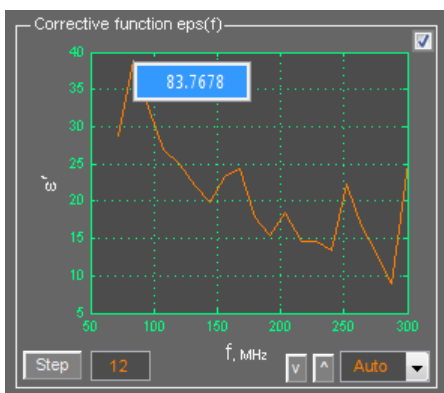
Ограничение диапазона значений атрибутов **Δf** и **Q-factor** рекомендуется применять по тем же, приведённым в описании ограничений диапазона центральной частоты, причинам.

Настройки корректирующей функции

О том, что такое корректирующая функция (КФ), можно прочитать в разделе <Терминология>. В данном разделе приведено описание настроек КФ.

Панели КФ принадлежат к левой группе вкладок и открываются при загрузке георадиолокационного профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании этого анализа (если активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section** в группе меню **File**).

Панели на вкладке размещаются в вертикальном направлении, одна над другой и имеют следующие названия:



- **Corrective Function $\epsilon'(f)$** – зависимость диэлектрической проницаемости от центральной частоты спектра отражённых сигналов $\epsilon'(f)$;

- **Corrective Function $\epsilon'(\Delta f)$** – зависимость диэлектрической проницаемости от ширины спектра отражённых сигналов $\epsilon'(\Delta f)$;

- **Corrective Function $\epsilon'(Q\text{-factor})$** – зависимость диэлектрической проницаемости от отношения центральной частоты к ширине спектра отражённых сигналов $\epsilon'(Q\text{-factor})$;

Флажок в верхнем правом углу панелей отвечает за выбор КФ.

Корректирующая функция, панели которой принадлежит отмеченный флажок, будет использована во время построения разреза. После активации флажка, оси соответствующего графика КФ изменяют цвет со светло-серого на зелёный.

Панели настроек КФ однотипны и имеют следующие элементы управления, расположенные у нижнего края панели КФ:

- Кнопка **Step** изменяет шаг данных по горизонтальной шкале КФ. Значение шага задаётся в окне ввода параметра, которое расположено справа от данной кнопки;
- Кнопка **^** задаёт в качестве КФ линию, огибающую элементы гистограммы соответствующего атрибута;
- Кнопка **v** задаёт в качестве КФ зеркально отражённую по вертикали линию, огибающую элементы гистограммы соответствующего атрибута;
- Выпадающий список в нижнем правом углу панели определяет режим построения КФ – автоматический (по умолчанию) или ручную.

Чтобы получить информацию о значении частотного атрибута в какой-либо точке графика КФ, следует навести указатель мыши на график КФ в этой точке и щелкнуть правой кнопкой мыши. В результате отобразится всплывающее информационное окно со значением атрибута. Чтобы удалить это окно следует щелкнуть левой кнопкой мыши по этому окну.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

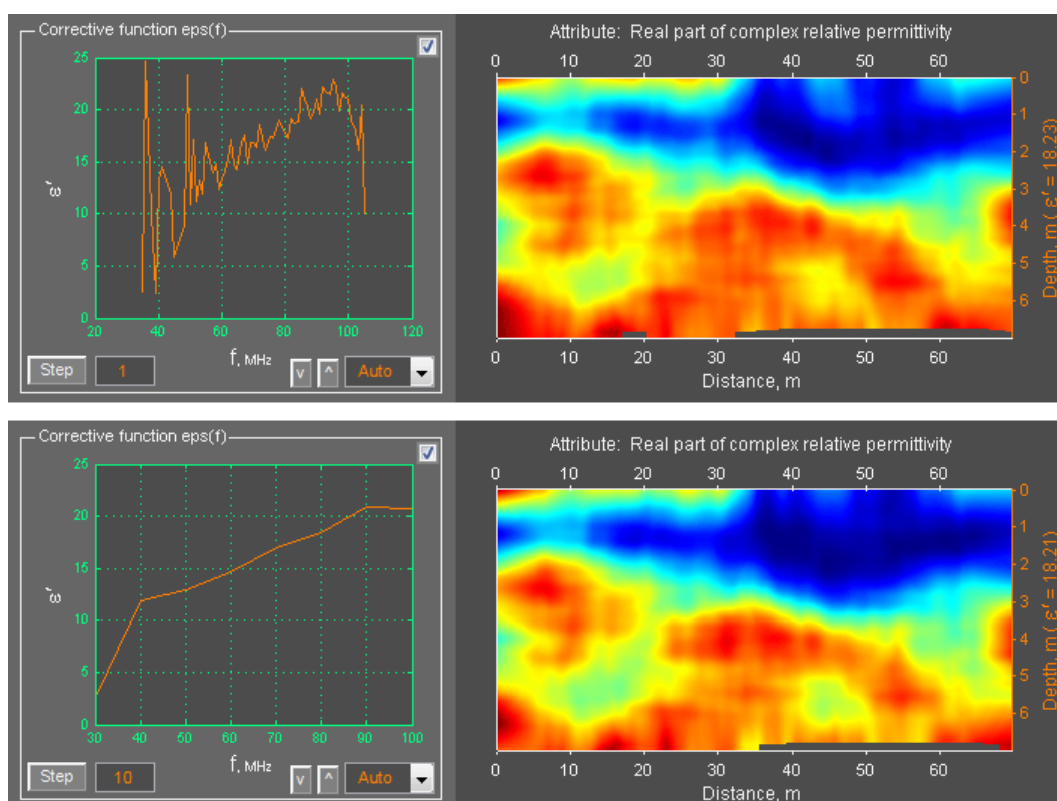
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Построение корректирующей функции в автоматическом режиме

После загрузки файла профиля с результатами анализа BSEF и размещения панелей КФ в левой группе вкладок, диапазоны значимых атрибутов имеют максимальные диапазоны, и корректирующие функции автоматически построены в соответствии с этими диапазонами.

Если пользователь принимает решение ограничить диапазон одного или нескольких значимых атрибутов, то все КФ будут автоматически перестроены в соответствии с внесёнными изменениями.

На рисунке ниже показано влияние шага атрибута КФ на результат построения разреза. В верхнем ряду КФ с малым шагом данных (1 МГц), в нижнем ряду шаг данных в 10 раз больше (10 МГц). Из рисунков видно, что характер разреза от изменения шага данных принципиально не меняется, однако заметно, что у менее изрезанной КФ детализация разреза несколько грубее.



Иногда бывают случаи, когда построение разреза в соответствии с корректирующей функцией, рассчитанной в автоматическом режиме, приводят к неудовлетворительным результатам.

Подобное случается, если в нижней части георадиолокационного профиля присутствуют интенсивные отражения различной кратности от границ и локальных объектов, расположенных в верхней части разреза. Этот эффект возникает при георадарном исследовании сред с малым поглощением энергии сигналов - мёрзлых грунтов, например.

Получается, что сигналы, имеющие набор характеристик, присущий приповерхностным отражениям, смешиваются с сигналами от отражений на глубине, тем самым внося ошибку в расчёт корректирующей функции. В этих случаях решить проблему помогает ручной режим построения КФ, описанный в разделе <Построение корректирующей функции в ручном режиме>.

Построение корректирующей функции в ручном режиме

Чтобы активировать ручной режим построения корректирующей функции, следует воспользоваться выпадающим списком, расположенным в правом нижнем углу панели КФ. Данный список содержит пункт **Manual**, выбор которого приводит к активации ручного режима.

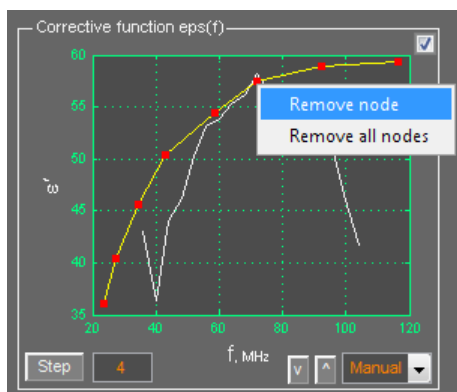
Когда ручной режим активирован, кнопки изменения диапазонов значимых атрибутов заблокированы. О том, что у данного типа КФ активирован ручной режим построения, свидетельствует светло-серый цвет графика КФ, рассчитанный в режиме авто.

Создание КФ в ручном режиме происходит следующим образом: пользователь, перемещая указатель мыши по области построения графика, щёлкает левой кнопкой мыши, создавая узловые точки корректирующей функции (красного цвета), которые автоматически соединяются между собой, в зависимости от положения по горизонтальной оси, а не в порядке их создания.

Перемещение узловых точек

Чтобы переместить узловую точку корректирующей функции, следует навести указатель мыши на эту точку и, удерживая левую кнопку мыши в нажатом положении, переместить указатель мыши, совместно с узловой точкой, по области графика. После того, как левая кнопка мыши будет отпущена, график КФ будет перестроен в соответствии с новым положением узловых точек.

Удаление узловых точек



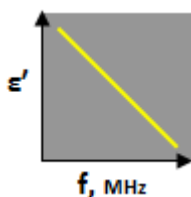
Чтобы удалить узловую точку корректирующей функции, следует навести указатель мыши на эту точку и щёлкнуть правой кнопкой мыши, после чего отобразится всплывающее меню со следующими пунктами:

- **Remove node** – удалить узловую точку. После удаления, график КФ будет перестроен в соответствии с новым количеством узловых точек;
- **Remove all nodes** – удалить все узловые точки КФ. После удаления всех узловых точек можно заново начать построение корректирующей функции вручную.

Наиболее часто применяемые графики КФ, построенные вручную

Затухание зондирующих импульсов в толще грунта (или строительных конструкций, к примеру) имеют частотно зависимый характер – высокочастотные компоненты затухают быстрее, чем низкочастотные. Таким образом, для подавляющего большинства сред действует общий принцип – чем больше глубина, тем ниже частота отражённого сигнала.

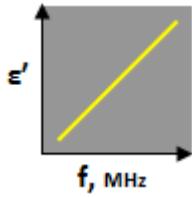
Наряду с этим, во многих грунтах влажность плавно меняется с глубиной – в сторону увеличения (встречается чаще) или в сторону уменьшения. Степень водонасыщенности является наиболее значимым фактором, влияющим на изменение диэлектрической проницаемости сред, исследуемых в георадиолокации.



Учитывая принцип “чем больше глубина, тем ниже частота” и то, что чаще всего влажность грунта с глубиной увеличивается, наиболее часто применяемая корректирующая функция, построенная вручную, имеет вид наклонной линии с уклоном вправо. Достаточно двух узловых точек, чтобы её построить.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

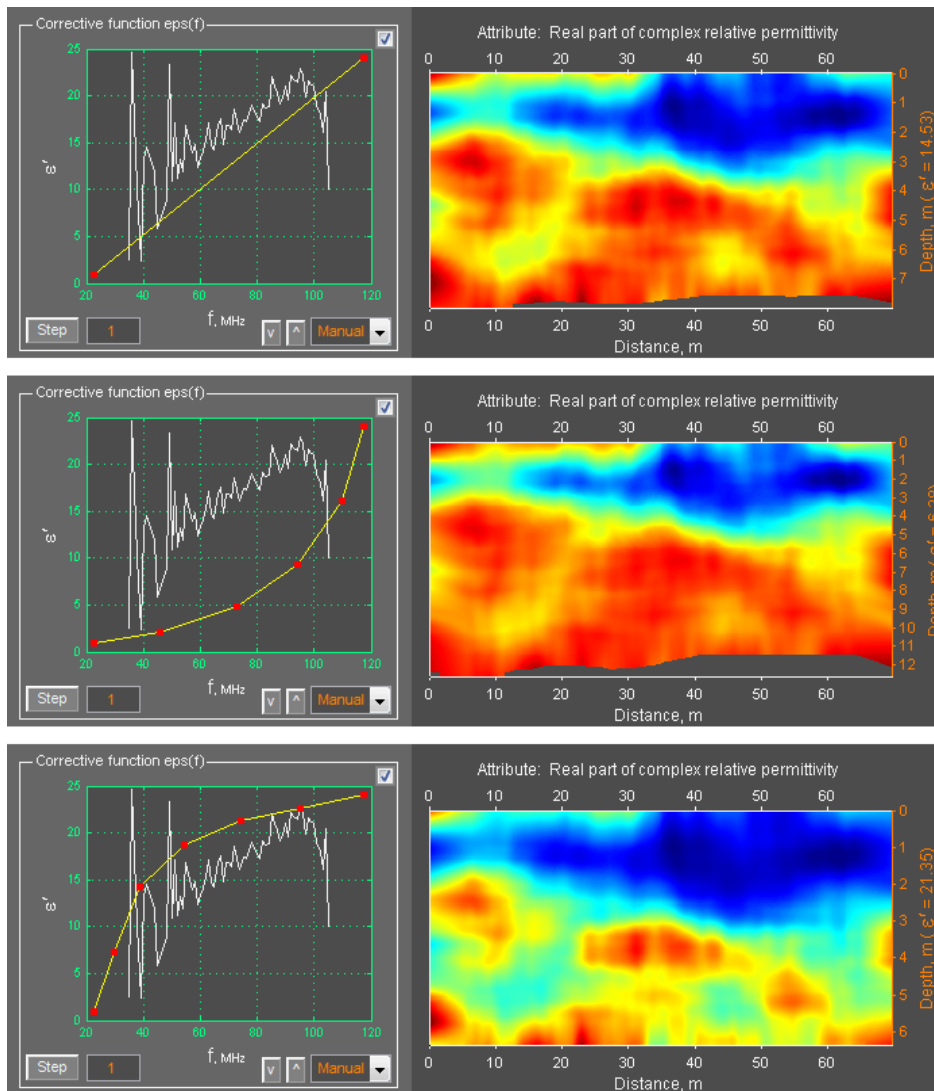
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Если, по априорной информации, влажность исследуемой среды с возрастанием глубины уменьшается, то линия КФ должна иметь уклон влево.

Эти два вида корректирующих функций в виде прямой линии уже дают неплохие результаты при построении разреза. Учитывая то, что изменение влажности с глубиной может иметь не только прямую, но и экспоненциальную или логарифмическую зависимости, график КФ, сохраняя общую тенденцию изменения, может иметь вид как экспоненциальной, так и логарифмической функции.

На рисунках ниже наглядно показано влияние формы КФ на построение разреза. Слева представлен вид корректирующей функции – линейный, экспоненциальный и логарифмический, справа – результат построения разреза действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости в соответствии с этими КФ (цветовая палитра подобрана таким образом, что красные цвета соответствуют низким значениям ϵ' , синие оттенки соответствуют высоким значениям):



Ширина спектра Δf и отношение центральной частоты и ширины спектра отражённых сигналов **Q-factor** также имеют зависимости от глубины и графики КФ строятся по аналогии с рассмотренными выше примерами.

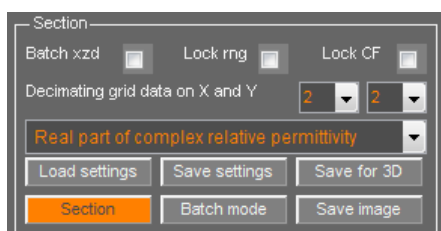
Параметры построения разреза

Панели параметров построения разреза размещаются после панелей визуализации результатов анализа BSEF – гистограмм наиболее значимых атрибутов и панелей КФ на левой группе вкладок.

Панели **Section**, **Settings for Attribute “Permittivity”** и **Settings for All Attributes** содержат параметры, которые пользователь должен настроить до запуска процесса построения разреза. Панели **Post Processing**, **Filled Contour Plot** и **Settings of Colormap for Section** служат для настроек вида уже построенного разреза.

Панель Section

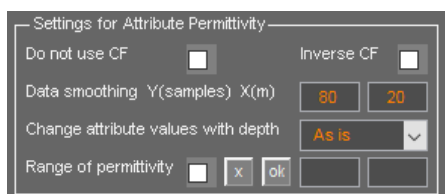
На панели **Section** размещены следующие элементы управления параметрами построения разреза (перечисление слева направо, сверху вниз):



- **Batch xzd** – если данный флажок отмечен, то в режиме пакетного построения разрезов, наряду с автоматическим сохранением разреза в графический формат, производится сохранение данных разреза в файл формата **xzd**, используемый для создания 3D-сборки;
- **Lock rng** – если данный флажок отмечен, то при загрузке нового файла профиля с результатами анализа BSEF, диапазон наиболее значимых атрибутов не изменяется. В противном случае, устанавливаются максимальные значения диапазонов;
- **Lock CF** – если данный флажок отмечен, то при загрузке нового файла профиля с результатами анализа BSEF, корректирующая функция не изменяется. В противном случае, КФ автоматически рассчитывается в соответствии с результатами анализа BSEF загружаемого профиля;
- **Decimating grid data on X and Y** – прореживание опорных точек разреза по горизонтали и вертикали в заданное количество раз. Степень прореживания задаётся в выпадающих списках, расположенных правее, под флажком **Lock CF**. Слева расположен выпадающий список, определяющий прореживание по горизонтали, справа – по вертикали. Прореживание рекомендуется применять при пробных прогонах процесса построения разреза, когда пользователь только настраивает параметры. Это значительно экономит время, особенно, если результат анализа BSEF содержит значительный объём данных – десятки или сотни тысяч точек анализа поля;
- Выпадающий список выбора атрибута разреза расположен в третьем ряду элементов управления параметрами построения разреза. По умолчанию выбран атрибут **Real part of complex relative permittivity**, как наиболее часто используемый;
- **Load settings** – кнопка загрузки параметров построения разреза из формата **geprm**. Данную кнопку дублирует пункт меню **Load settings**, расположенный в группе меню **Section**;
- **Save settings** – кнопка сохранения параметров построения разреза в формат **geprm**. Данную кнопку дублирует пункт меню **Save settings**, расположенный в группе меню **Section**;
- **Save for 3D** - кнопка сохранения данных разреза в формат **xzd**, используемый для создания 3D-сборки. Данную кнопку дублирует пункт меню **Save section in xzd**, расположенный в группе меню **Section**;

- **Section** – кнопка запуска процесса построения разреза на основе результатов анализа BSEF текущего открытого профиля. Данную кнопку дублирует пункт меню **Create section**, расположенный в группе меню **Section**;
- **Batch mode** – кнопка запуска процесса построения разреза на основе результатов анализа BSEF одного, или нескольких профилей. После нажатия на данную кнопку открывается окно выбора файлов профилей. Данную кнопку дублирует пункт меню **Create sections in batch mode**, расположенный в группе меню **Section**;
- **Save image** – кнопка сохранения разреза в графический формат. Данную кнопку дублирует пункт меню **Save in graphic format**, расположенный в группе меню **File**;

Панель Settings for Attribute “Permittivity”



На панели **Settings for Attribute “Permittivity”** размещены элементы управления параметрами построения разреза атрибута ϵ' . Разрез данного атрибута строится в процессе расчета разрезов всех атрибутов (кроме своего собственного) в качестве вспомогательного, на основании значений которого производится коррекция участков разреза основного атрибута

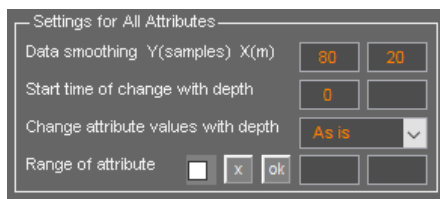
по глубине.

На панели **Settings for Attribute “Permittivity”** размещены следующие элементы управления параметрами построения разреза (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Do not use CF** - если данный флажок отмечен, то при построении разреза корректирующая функция не используется;
- **Inverse CF** - если данный флажок отмечен, то при построении разреза производится инверсия значений атрибута, как если бы график корректирующей функции был отражён по горизонтали;
- **Data smoothing Y(samples) X(m)** – значения сглаживания разреза при построении. В окно ввода параметра, расположенное левее, вводится значение сглаживания по вертикали в точках георадиолокационной трассы. В окно, расположенное правее вводится значение сглаживания по горизонтали в метрах. Если сглаживание по горизонтали вводится в виде одиночного значения, то этот параметр сглаживания действует для всего диапазона глубин. Если сглаживание по горизонтали вводится в виде двух значений, разделённых дефисом (например, 5-20), то значение сглаживания по горизонтали меняется от меньшего значения к большему, причём наименьшее значение будет на нулевой отметке по шкале глубин, а максимальное значение сглаживания – на максимальной глубине разреза. Такой вариант сглаживания можно применить в случае необходимости смоделировать расхождение фронта волны по мере возрастания глубины;
- **Change attribute values with depth** – выпадающий список выбора правила изменения атрибута с возрастанием глубины. По умолчанию выбран пункт **As is** – в этом случае никаких правил не применяется. Если выбран пункт **Increase**, то начиная с заданного параметром **Start time for rule of change attribute values** на панели **Settings for all attributes**, времени трассы, значение атрибута будет только увеличиваться с увеличением глубины. Если выбран пункт **Decrease** – то уменьшаться;
- **Range of Permittivity** – данная группа параметров задаёт пересчёт значений ϵ' в заданный диапазон и имеет следующие настройки (перечисление слева направо):

- Флажок пересчёта. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза значения ϵ' будут пересчитаны в соответствии с заданным, в окнах ввода параметров, диапазоном;
- **x** – кнопка возврата к исходным значениям ϵ' . Применяется в случае, когда разрез уже построен, и диапазон значений ϵ' пересчитан;
- **ok** – кнопка запускает процесс пересчёта значений атрибута ϵ' в соответствии со значениями, заданными в окнах ввода параметров диапазона. В результате пересчёта изменяются параметры цветовой шкалы, расположенной слева от изображения разреза, и шкалы глубин разреза в соответствии с новым средним значением ϵ' .
- Окна ввода параметров нового диапазона ϵ' расположены справа от кнопки **ok**. В окне, расположенном ближе к кнопке **ok** вводится значение нижней границы диапазона. В следующем окне – значение верхней границы. Пользователь вводит значения новых границ диапазона ϵ' и нажимает кнопку **ok** – значения атрибута разреза пересчитываются.

Панель Settings for All Attributes



На панели **Settings for all attributes** размещены элементы управления параметрами построения разрезов всех атрибутов, кроме атрибута **Real part of complex relative permittivity**, настройка параметров которого производится на панели **Settings for attribute “Permittivity”**. Единственный параметр, который относится и к атрибуту **Real part of complex relative permittivity** – это настройка времени начала действия правила изменения атрибута с возрастом глубины **Start time for rule of change attribute values**.

На панели **Settings for all attributes** размещены следующие элементы управления параметрами построения разреза (перечисление слева направо, сверху вниз):

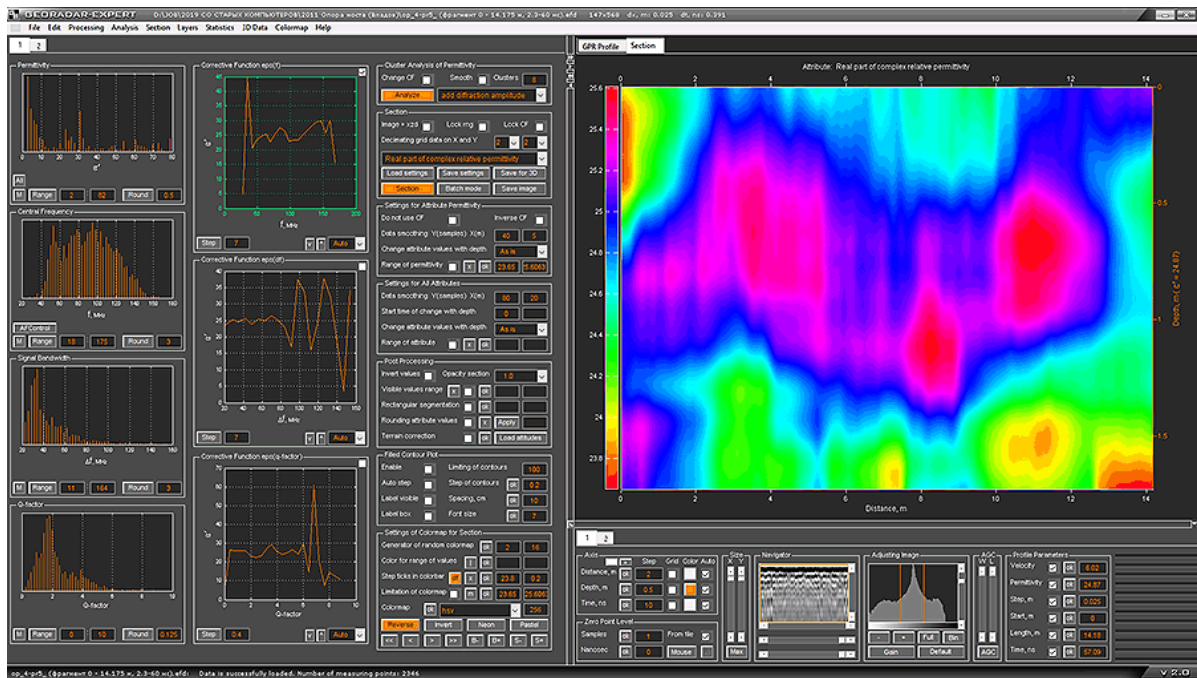
- **Start time for rule of change attribute values** – значение данного параметра – это время трассы в наносекундах, после которого начинает действовать правило изменения атрибута с возрастом глубины, заданное параметром **Change attribute values with depth**;
- **Data smoothing Y(samples) X(m)** – значения сглаживания разреза при построении. В окно ввода параметра, расположенное левее, вводится значение сглаживания по вертикали в точках георадиолокационной трассы, в окно, расположенное правее – значение сглаживания по горизонтали в метрах. Также, как и на панели **Settings for attribute “Permittivity”**, для сглаживания по горизонтали можно вводить как одиночные значения, так и два значения, которые разделены дефисом. Более подробно см. раздел <Панель Settings for Attribute “Permittivity”>;
- **Change attribute values with depth** – выпадающий список выбора правила изменения атрибута с возрастом глубины. По умолчанию выбран пункт **As is** – в этом случае никаких правил не применяется. Если выбран пункт **Increase**, то начиная с заданного параметром **Start time for rule of change attribute values** времени трассы, значение атрибута будет только увеличиваться с увеличением глубины. Если выбран пункт **Decrease** – то уменьшаться;
- **Range of attribute** – данная группа параметров задаёт пересчёт значений атрибута разреза и имеет следующие настройки (перечисление слева направо):

- Флажок пересчёта. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза, его значения будут пересчитаны в соответствии с заданным, в окнах ввода параметров, диапазоном;
- **x** – кнопка возврата к исходным значениям атрибута. Применяется в случае, когда разрез уже построен, и диапазон значений атрибута пересчитан;
- **ok** – кнопка запускает процесс пересчёта значений атрибута в соответствии со значениями, заданными в окнах ввода параметров диапазона. В результате пересчёта изменяются параметры цветовой шкалы, расположенной слева от изображения разреза.
- Окна ввода параметров нового диапазона атрибута расположены справа от кнопки **ok**. В окне, расположенном ближе к кнопке **ok** вводится значение нижней границы диапазона. В следующем окне – значение верхней границы. Пользователь вводит значения новых границ диапазона атрибута и нажимает кнопку **ok** – значения атрибута разреза пересчитываются.

Построение разреза

Чтобы построить разрез на основе результатов анализа BSEF (поля обратного рассеяния) открытого в программе файла профиля, пользователь должен выполнить следующие действия:

1. Произвести, если требуется, ограничение одного, или нескольких значимых атрибутов (более подробно – в разделе <Ограничение диапазона значимых атрибутов>). Практика показывает, что в подавляющем большинстве случаев требуется ограничить диапазон значений атрибута ϵ' на панели **Permittivity**. Наиболее часто задаётся диапазон 2 – 32, как наиболее универсальный.
2. Выбрать тип корректирующей функции, уже построенный в автоматическом режиме, или построить КФ вручную (более подробно см. в разделах <Настройки корректирующей функции>, <Построение корректирующей функции в автоматическом режиме> и <Построение корректирующей функции в ручном режиме>). Практика показывает, что наиболее часто в качестве корректирующей функции используется зависимость диэлектрической проницаемости от центральной частоты спектра отражённых сигналов $\epsilon'(f)$, график и параметры которой размещены на панели **Corrective Function eps(f)**.
3. Выбрать атрибут разреза из выпадающего списка на панели **Section**.
4. Настроить параметры построения разреза на панелях **Section**, **Settings for Attribute "Permittivity"** и **Settings for All Attributes** (более подробно см. в разделах <Панель Section>, <Панель Settings for Attribute "Permittivity"> и <Панель Settings for All Attributes>). Практика показывает, что наиболее часто пользователь обращается к настройкам параметров сглаживания разреза **Data smoothing Y(samples) X(m)**.
5. Запустить процесс построения разреза, нажав кнопку **Section**, расположенную на панели **Section**. После нажатия кнопки **Section**, рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ блокируется модальным окном информационной панели построения разреза до окончания процесса построения. По окончании процесса построения разреза, в области визуализации создаётся вкладка **Section**, на которой размещается изображение разреза:



Построение разреза в пакетном режиме

Пакетный режим – это выполнение однотипных действий для группы профилей, файлы которых по очереди загружаются в программу и обрабатываются. Чтобы построить разрезы на основе результатов анализа BSEF (поля обратного рассеяния) нескольких профилей, пользователь должен выполнить следующие действия:

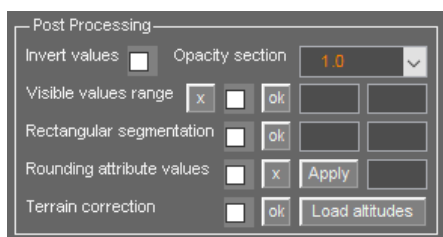
1. Выполнить пункты 1 – 4 раздела <Построение разреза>. Если для всех профилей будет использована одна и та же корректирующая функция, то должен быть отмечен флажок **Lock CF** на панели **Section**. В противном случае КФ будет строиться заново для каждого загружаемого программой профиля, на основе его результатов анализа BSEF. Если пользователю нужно, чтобы КФ строилась заново для каждого загружаемого программой профиля с заданным ограничением значимых атрибутов, то должен быть отмечен флажок **Lock rng** на панели **Section**, а флажок **Lock CF** на этой же панели должен быть в неотмеченном состоянии.
2. Запустить процесс построения разреза, нажав кнопку **Batch mode**, расположенную на панели **Section**. После нажатия кнопки **Batch mode**, рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ блокируется модальным окном информационной панели построения разреза до окончания процесса построения всех разрезов. По окончании процесса построения разреза текущего загруженного профиля, производится автоматическое сохранение изображения разреза в графический файл в соответствии с заданными параметрами на панели **Save in Graphic Format**, принадлежащей нижней группе вкладок. Если отмечен флажок **Batch xzd**, то наряду с сохранением разреза в графический формат, производится сохранение данных разреза в файл формата **xzd**, используемый для создания 3D-сборки (более подробно см. в разделе <Сохранение данных разреза в формат xzd>).

Примечание: если панель настроек сохранения изображения **Save in Graphic Format** не открыта, то после нажатия кнопки **Batch mode** панель **Save in Graphic Format** будет автоматически загружена с настройками по умолчанию, после чего откроется окно выбора файлов **efd** для создания разрезов. Если необходимо внести изменения в настройки сохранения изображений, следует отказаться от выбора файлов, закрыв окно выбора, произвести необходимые настройки на панели **Save in Graphic Format**, после чего вновь нажать кнопку **Batch mode**.

Параметры визуализации разреза

После того, как разрез построен в соответствии с установленными на панелях **Section**, **Settings for attribute "Permittivity"** и **Settings for all attributes** параметрами, пользователь может настроить параметры визуализации разреза, элементы управления которыми расположены на панелях **Post processing**, **Filled contour plot** и **Settings of colormap for section**.

Панель Post processing



На панели **Post Processing** размещены следующие элементы управления параметрами (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Invert values** – при активации данного флажка производится инвертирование значений атрибута разреза;
- **Opacity section** – данный параметр определяет прозрачность разреза от 0 до 1, где значение 1 соответствует полностью непрозрачному изображению разреза. Выбор в выпадающем списке значения менее единицы, запускает процесс наложения разреза на волновую картину профиля с заданным коэффициентом прозрачности. Более подробно – в разделе <Наложение разреза на георадиолокационный профиль>;
- **Visible values range** - данная группа параметров задаёт диапазон отображения атрибута разреза (более подробно – в разделе <Диапазон отображения атрибута>) и имеет следующие настройки (перечисление слева направо):
 - **x** – кнопка возврата к полному диапазону отображения значений атрибута на разрезе;
 - Флажок применения ограничения отображения значений атрибута. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза, отображение значений атрибута будет ограничено в соответствии с заданным, в окнах ввода параметров, диапазоном;
 - **ok** – кнопка запускает процесс ограничения отображения атрибута разреза в соответствии со значениями, заданными в окнах ввода параметров диапазона ограничения. В результате пересчёта изменяются параметры цветовой шкалы, расположенной слева от изображения разреза.
 - Окна ввода диапазона отображения атрибута расположены справа от кнопки **ok**. В окне, расположенном ближе к кнопке **ok** вводится значение нижней границы диапазона. В следующем окне – значение верхней границы. Пользователь вводит значения границ диапазона отображения и нажимает кнопку **ok** – и значения, выходящие за пределы установленных границ, становятся прозрачными.
- **Rectangular segmentation** - данная группа параметров относится к режиму прямоугольной сегментации разреза (более подробно – в разделе <Прямоугольная сегментация>), который имеет следующие настройки (перечисление слева направо):
 - Флажок включения режима прямоугольной сегментации разреза. Если данный флажок отмечен, то при построении, разрез будет отображаться в виде набора прямоугольных сегментов, размер которых задан в окнах ввода параметров. В случае, когда сегментация уже выполнена, снятие галочки с данного флажка возвращает разрез к исходному режиму отображения;

- **ok** – кнопка запускает процесс прямоугольной сегментации разреза в соответствии со значениями, заданными в окнах ввода размера сегментов.
- Окна ввода размера сегментов расположены справа от кнопки **ok**. В окне, расположенном ближе к кнопке **ok**, вводится размер сегмента по вертикали в метрах. В следующем окне – размер сегмента по горизонтали в метрах. Пользователь вводит размеры сегментов и нажимает кнопку **ok** – разрез принимает сегментированный вид.
- **Rounding attribute values** - данная группа параметров относится к режиму округления значений атрибута разреза (более подробно – в разделе <Округление значений атрибута>), который имеет следующие настройки (перечисление слева направо):
 - Флажок включения режима округления разреза. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза, его значения будут округлены в соответствии со значением в окне ввода параметра точности округления.
 - **x** – данная кнопка отменяет округление значений атрибута разреза;
 - **Apply** – кнопка запускает процесс округления в соответствии со значением, заданным в окне ввода параметра точности округления.
 - Окно ввода параметра точности округления расположено справа от кнопки **Apply**. Пользователь вводит значение точности округления и нажимает кнопку **Apply** – значения разреза округляются.
- **Terrain correction** - данная группа параметров относится к режиму учёта поправок за рельеф (более подробно – в разделе **Построение разреза с поправкой за рельеф**), который имеет следующие настройки (перечисление слева направо):
 - Флажок включения режима учёта поправок за рельеф. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза будут учтены данные рельефа местности, на которой был расположен георадиолокационный профиль;
 - **ok** – данная кнопка запускает процесс применения данных рельефа к уже построенному разрезу;
 - **Load altitudes** – кнопка загрузки файла таблицы с данными рельефа.

Наложение разреза на георадиолокационный профиль

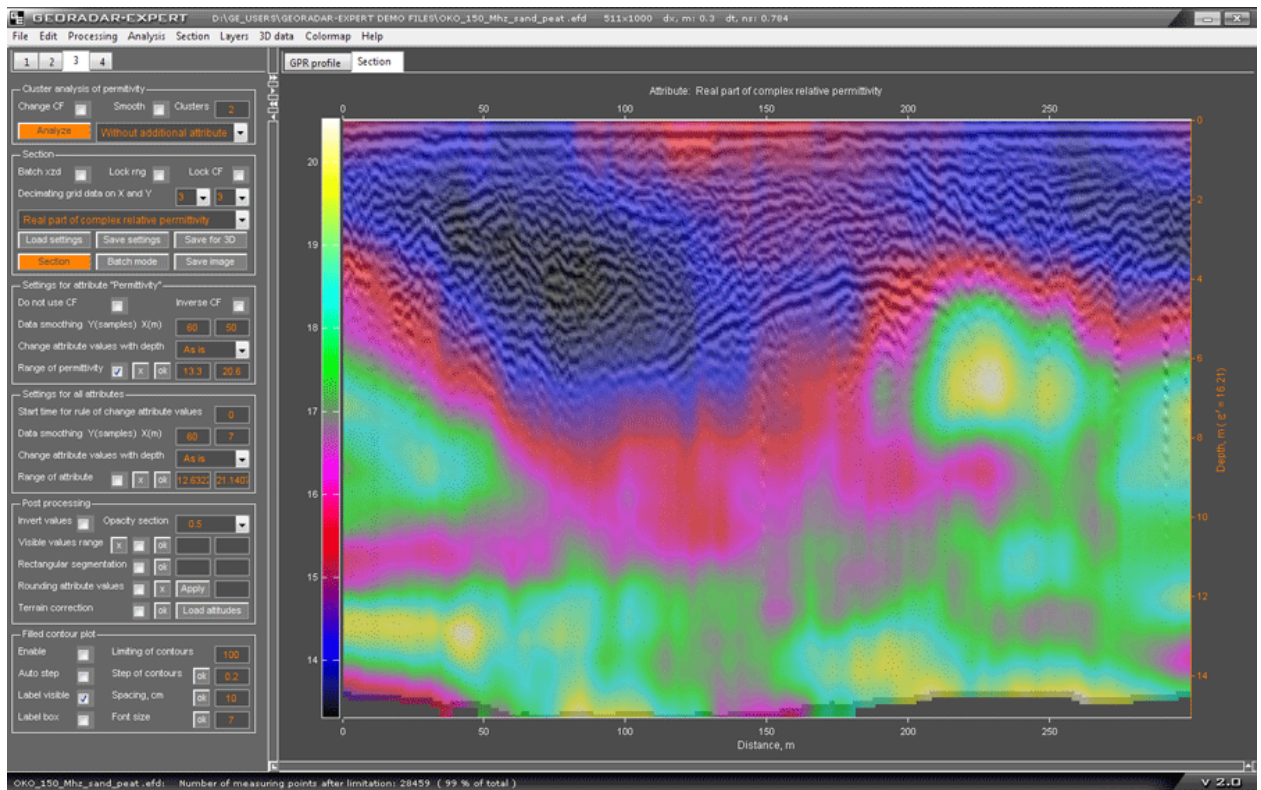
В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена возможность наложения изображения разреза на волновую картину георадиолокационного профиля. Степень прозрачности разреза задаётся параметром **Opacity section** на панели **Post Processing**. Чем меньше значение параметра **Opacity section**, тем прозрачней разрез. Выбор значения 1 делает разрез полностью непрозрачным.

Когда разрез построен, при первом изменении параметра прозрачности программа подготавливает волновую картину профиля к наложению, на что требуется некоторое время, после чего производится наложение. После завершения процесса наложения, изменение степени прозрачности происходит без задержек до следующего запуска процесса построения разреза.

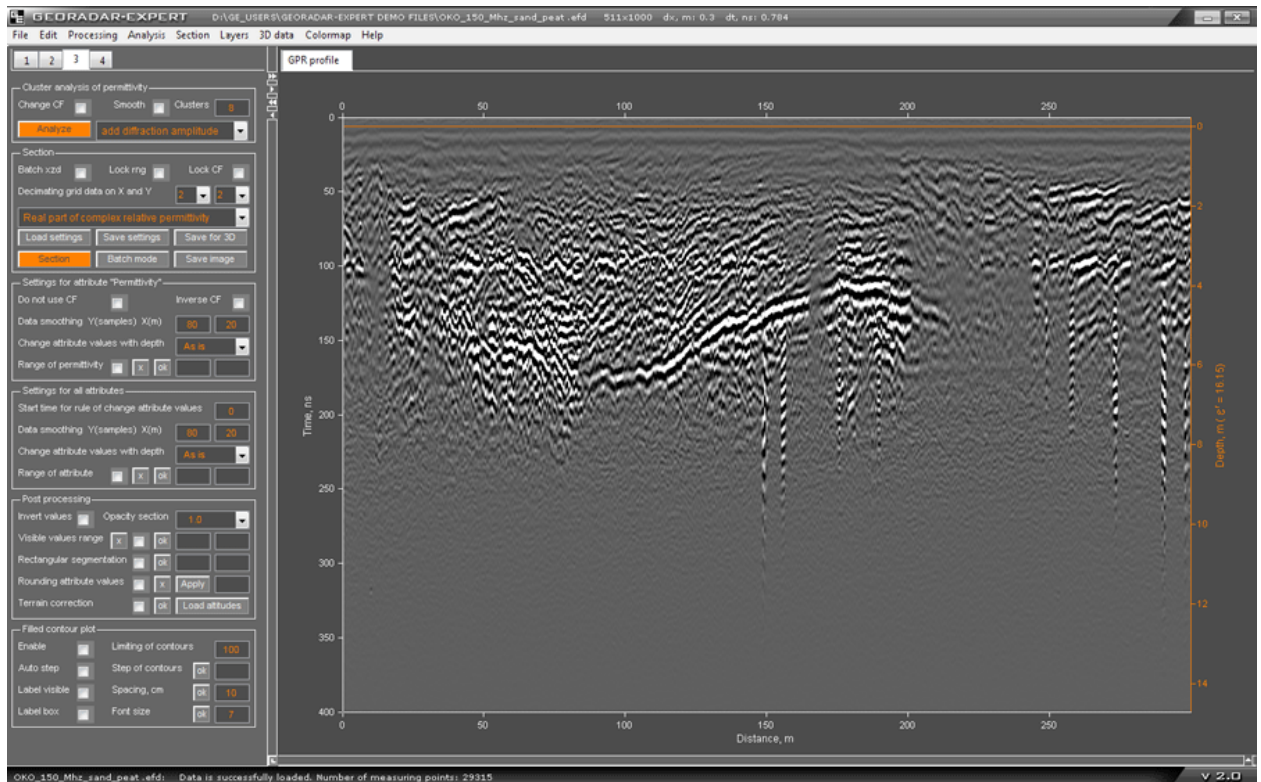
На рисунке ниже показан пример наложения разреза со степенью прозрачности 0.5 (нижняя группа вкладок убрана, ширина левой группы вкладок равна ширине одной панели):

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



На рисунке ниже показано окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с активной вкладкой области визуализации **GPR Profile**. На этой вкладке размещена волновая картина профиля, на которую производилось наложение разреза.

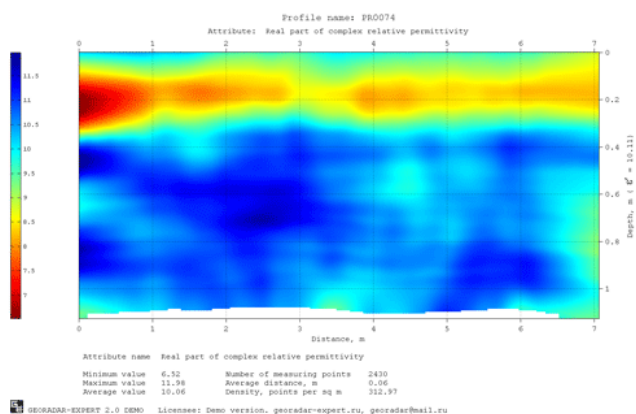


Прямоугольная сегментация

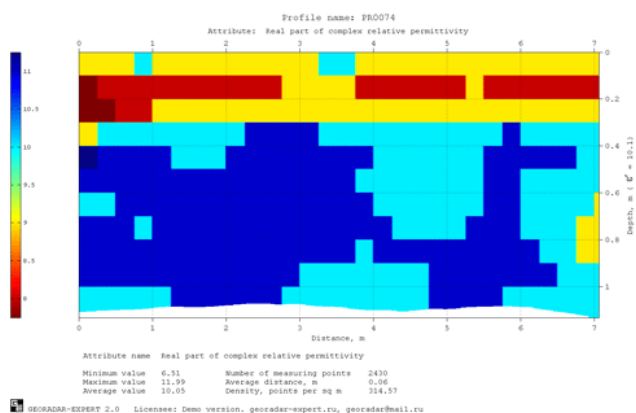
В режиме прямоугольной сегментации разрез представлен в виде прямоугольных сегментов одинакового размера, заданного группой параметров **Rectangular segmentation** на панели **Post Processing** (см. раздел <Панель Post Processing>).

В окне, расположенном ближе к кнопке **ok**, вводится размер сегмента по вертикали в метрах. В следующем окне – размер сегмента по горизонтали в метрах. Кнопка **ok** служит для запуска процесса сегментации. Когда сегментация разреза произведена, автоматически активируется флажок, который расположен слева от кнопки **ok**. Чтобы вернуться к несегментированному разрезу, нужно снять галочку с этого флажка. Если данный флажок отмечен и в окнах ввода размеров сегмента присутствуют значения, то при запуске процесса построения разреза сегментация произведётся автоматически.

Прямоугольная сегментация позволяет более формально визуализировать разрез, представив исследуемую среду и объекты в её толще в виде блоков различного цвета. На рисунке ниже представлен разрез, полученный на основе результатов анализа BSEF георадиолокационного профиля, записанного при исследовании бетонной плиты толщиной около 0.3 м.:



Ниже показан результат сегментирования разреза с вертикальным размером сегмента 0.1 м. Цветовая схема разреза выбрана таким образом, что наиболее сухие участки, соответствующие малым значениям диэлектрической проницаемости, окрашены красным цветом, умеренно влажные участки окрашены голубым цветом, наиболее влажные места окрашены в синий цвет:



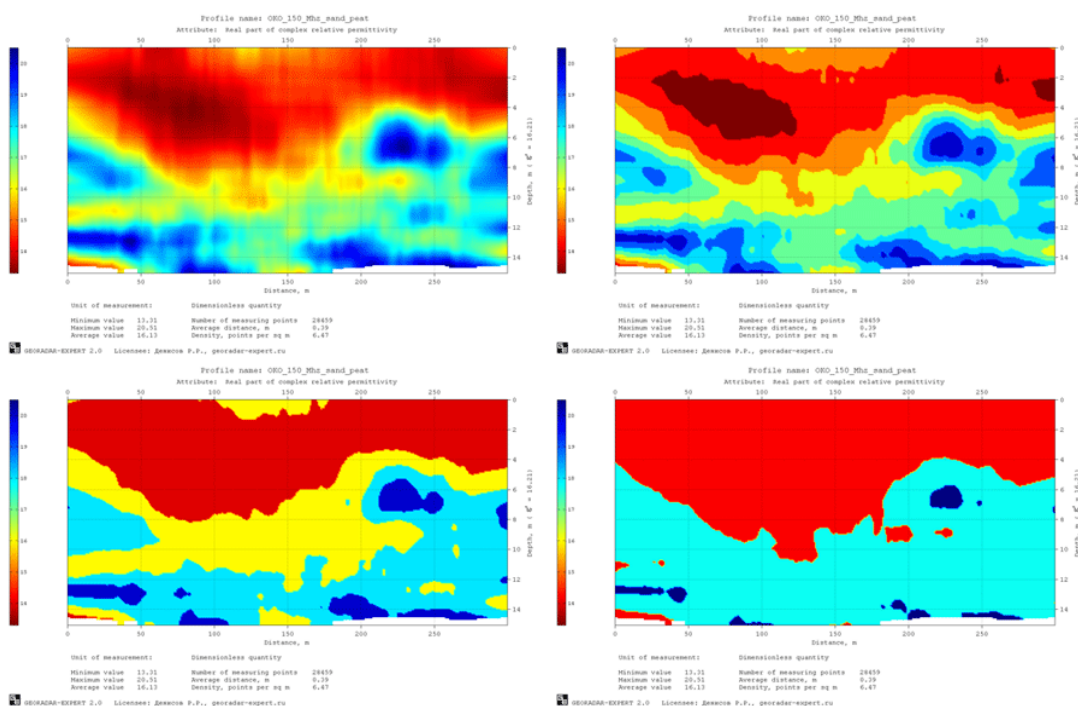
На сегментированном разрезе наглядно выделяется плита и распределение влажности в её толще, а также наиболее влажные участки под плитой.

Округление значений атрибута

В режиме округления значений атрибута происходит сегментация разреза с шагом, равным заданному значению точности округления. Окно ввода точности округления расположено справа от кнопки **Apply** в группе параметров **Rounding attribute values** на панели **Post Processing** (см. раздел <Панель Post processing>).

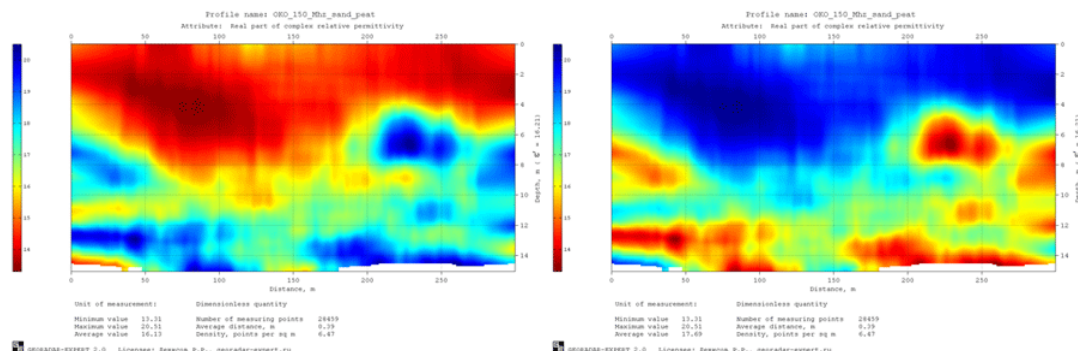
Кнопка **Apply** служит для запуска процесса округления. Чтобы вернуться к исходным, не округлённым значениям разреза, нужно нажать кнопку **x**. Если флажок, расположенный левее кнопки **Apply**, активирован и в окне ввода параметра присутствует значение точности округления, то при запуске процесса построения разреза округление произведётся автоматически.

На рисунках ниже показан разрез с различными значениями округления:



Инвертирование данных

Активация флажка **Invert values** на панели **Post Processing** запускает процесс инвертирования значений атрибута разреза. Для возврата к исходным значениям разреза следует снять галочку с данного флажка. Если флажок **Invert values** при построении разреза находится в активированном состоянии, то значения разреза будут автоматически инвертированы. На рисунке ниже показан пример инвертирования. Слева - исходный разрез, справа – инвертированный:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

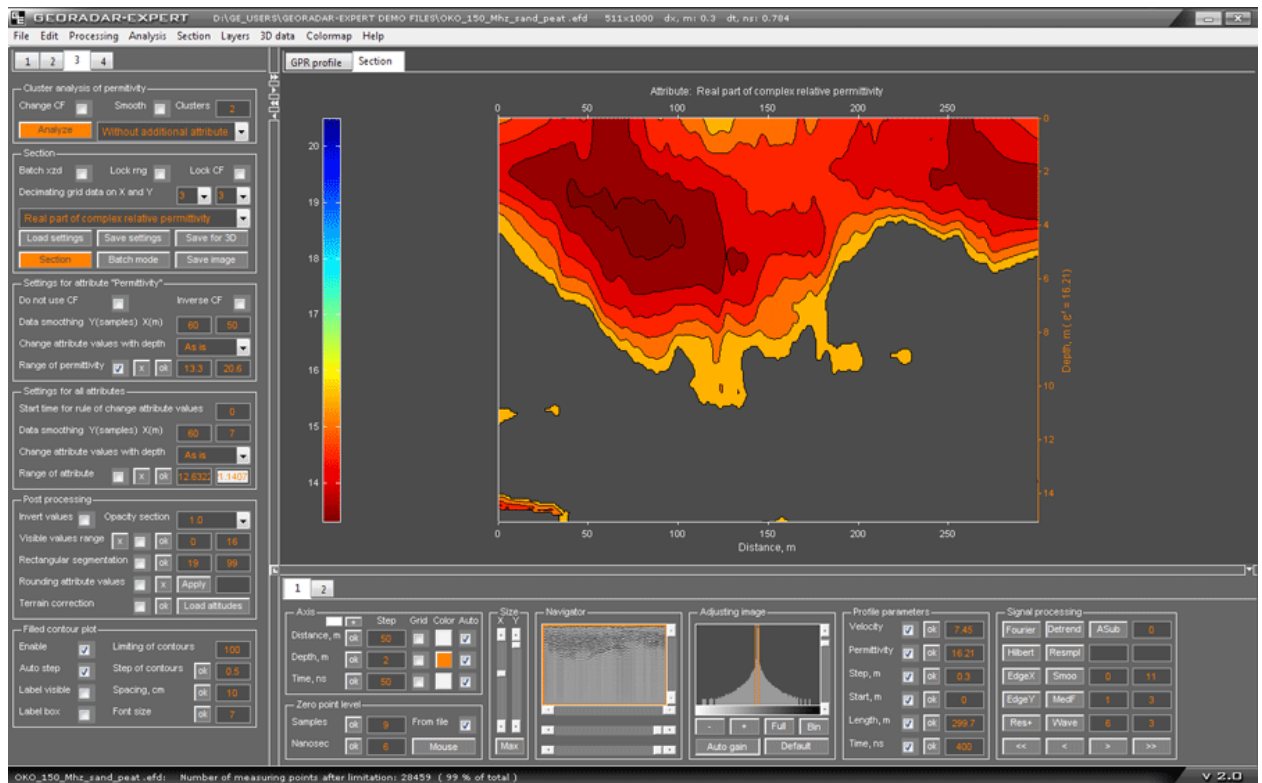
Диапазон отображения атрибута

В режиме ограничения диапазона отображения, области разреза, имеющие значения атрибута, выходящие за границы заданного диапазона, становятся прозрачными.

Настройка ограничения диапазона отображения производится в группе параметров **Visible values range** на панели **Post Processing** (см. раздел <Панель Post Processing>).

Окна ввода границ диапазона расположены справа от кнопки **ok**. В окне, расположенном ближе к кнопке **ok** вводится значение нижней границы диапазона отображения. В следующем окне – значение верхней границы. Кнопка **ok** запускает процесс ограничения отображения атрибута разреза. Для отмены ограничений и возврата к полному диапазону отображения служит кнопка **x**. Если активирован флажок, расположенный слева от кнопки **ok**, то при построении разреза автоматически будет произведено ограничение диапазона отображения.

На рисунке ниже показано окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с разрезом в режиме ограничения диапазона отображения (границы диапазона 12 - 16):

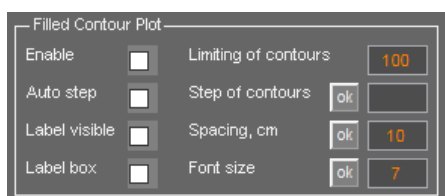


Примечание: Если пользователю нужно задать значение одной из границ диапазона отображения минимальное или максимальное значение, то необязательно вводить точное значение. Достаточно ввести заведомо большее, если речь идёт о максимальном значении атрибута (например, 111, если атрибут – диэлектрическая проницаемость), или заведомо меньшее, если речь идёт о минимальном значении (например, ноль).

Настройка осей и указателя мыши

Настройка параметров осей и указателя мыши для вкладок **Section** и **Terrain Correction** представлена в разделе <Настройка шкал и режимов указателя мыши>.

Контурный график с заливкой

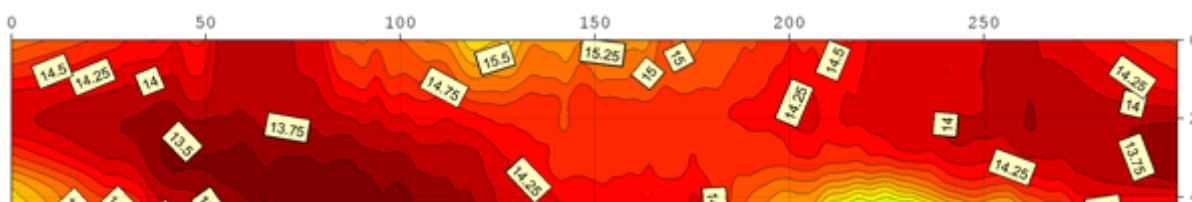


Элементы управления параметрами контурного графика с заливкой в соответствии с текущей цветовой схемой, расположены на панели **Filled Contour Plot**. Данная панель загружается автоматически при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании анализа (если активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section**

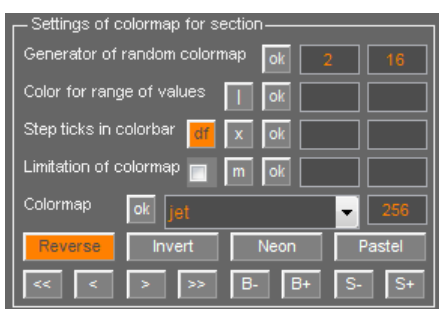
в группе меню **File**). На панели **Filled Contour Plot** размещены следующие элементы управления параметрами (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Enable** – флажок включения режима визуализации разреза в виде контурного графика. Если при построении разреза данный флажок отмечен, то после завершения процесса построения, разрез будет визуализирован в режиме контурного графика;
- **Limiting of contours** – если при расчёте контуров их количество превысит данный параметр, то значение шага контуров **Step of contours** будет автоматически пересчитано таким образом, чтобы число контуров на изображении разреза было близко к значению **Limiting of contours**, но не превышало его. Это сделано для того, чтобы исключить ситуацию задания пользователем столь малого шага, при котором количество контуров возрастает настолько, что компьютер рассчитывает их параметры на протяжении длительного времени;
- **Auto step** – устанавливает шаг между контурами по умолчанию;
- **Step of contours** – шаг между контурами. Кнопка **ok** слева от окна ввода параметра шага, запускает процесс расчёта контуров в соответствии со значением **Step of contours**;
- **Label visible** – данный флажок включает отображение значения атрибута разреза, изолинией которого является контур. Значение атрибута размещается в разрыве контура;
- **Spacing, cm** – расстояние между местами размещения значений атрибута на контуре в сантиметрах. Кнопка **ok** слева от окна ввода данного параметра, изменяет расстояние между значениями атрибута на изолиниях в соответствии с параметром **Spacing, cm**;
- **Label box** – данный флажок включает отображение значения атрибута на изолинии в прямоугольнике со светлым фоном. Применяется, когда значения атрибута на разрезе плохо читаются;
- **Font size** – размер шрифта значения атрибута на изолинии. Кнопка **ok** слева от окна ввода размера шрифта, изменяет его в соответствии заданным размером.

На рисунке ниже показан пример режима контуров с отмеченными флажками **Label visible** и **Label box**:



Управление цветовой схемой разреза



Цветовая схема разреза задаёт соответствие цвета изображения значению атрибута разреза (или 3D сборки). Для визуализации этого соответствия служит цветовая шкала изображения. Цветовая шкала расположена слева от изображения (кроме изображения, сохранённого в масштабе – в этом случае цветовая шкала расположена горизонтально у нижнего края изображения).

Элементы управления цветовой схемой разреза и параметрами цветовой шкалы расположены на панели

Settings of Colormap for Section. Данная панель загружается автоматически при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании анализа (если активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section** в группе меню **File**), а также при загрузке файла 3D сборки.

В следующих разделах будут представлены описания параметров управления цветовой схемой разреза (3D сборки) и цветовой шкалы.

Выбор готовой цветовой схемы

Для выбора готовой цветовой схемы служит группа параметров **Colormap** на панели **Settings of Colormap for Section**. Выпадающий список содержит несколько десятков разновидностей готовых цветовых схем. Наиболее часто используемая - установленная по умолчанию цветовая схема **jet**.

Справа от выпадающего списка выбора цветовой схемы расположено окно ввода количества цветовых градаций, содержащихся в цветовой схеме. Количество градаций не может превышать 256.

Слева от выпадающего списка выбора цветовой схемы расположена кнопка **ok**, при помощи которой применяется выбранная цветовая схема с заданным количеством градаций к изображению.

Примечание: цветовая схема применяется только к изображению разреза, разреза с поправкой за рельеф (который размещается на отдельной вкладке в области визуализации данных) и для всех вкладок области визуализации в режиме 3D. Волновая картина на вкладке **GPR Profile** имеет неизменяемую цветовую схему, состоящую из градаций серого цвета. Практика показывает, что такая цветовая схема является оптимальной для отображения сигналов георадиолокационного профиля.

Генератор случайной цветовой схемы

Для создания цветовых схем при помощи генератора случайных чисел служит группа параметров **Generator of random colormap** на панели **Settings of Colormap for Section** (эта опция не доступна для режима 3D). Запуск процесса создания цветовой схемы осуществляется при помощи кнопки **ok**. Каждый раз после нажатия данной кнопки, случайным образом генерируется новая цветовая схема, параметры создания которой задаются в окнах ввода, расположенных правее кнопки **ok**.

В окне ввода параметра, расположенном рядом с кнопкой **ok** определяется минимальное количество градаций цветовой схемы, в окне правее – максимальное количество градаций цвета.

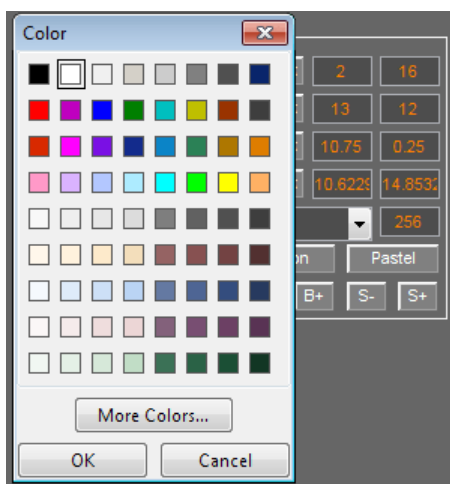
Редактирование цветовой схемы

Редактирование цветовой схемы можно производить как при помощи элементов управления параметрами на панели **Settings of Colormap for Section**, так и при помощи интерактивной цветовой шкалы изображения. После редактирования готовой цветовой схемы, имя текущей цветовой схемы в выпадающем списке выбора цветовых схем изменяется на **User cmap**.

В нижней части панели **Settings of Colormap for Section** расположены следующие кнопки редактирования цветовой схемы:

- **B-** - при помощи данной кнопки производится уменьшение яркости цветовой схемы;
- **B+** - при помощи данной кнопки производится увеличение яркости цветовой схемы;
- **S-** - при помощи данной кнопки производится сдвиг оттенков цветовой схемы на одну градацию вниз, если смотреть на вертикально ориентированную цветовую шкалу. Оттенки, вышедшие за пределы цветовой шкалы снизу, добавляются в цветовую схему сверху;
- **S+** - при помощи данной кнопки производится сдвиг оттенков цветовой схемы на одну градацию вверх, если смотреть на вертикально ориентированную цветовую шкалу. Оттенки, вышедшие за пределы цветовой шкалы сверху, добавляются в цветовую схему снизу;
- **Reverse** – при помощи данной кнопки производится реверсирование цветовой схемы;
- **Invert** - при помощи данной кнопки создаётся новая цветовая схема, которая является цветным негативом предыдущей;
- **Neon** – при помощи данной кнопки создаётся новая цветовая схема, являющаяся результатом дифференцирования предыдущей;
- **Pastel** - при помощи данной кнопки создаётся новая цветовая схема, являющаяся результатом применения преобразования Гильберта к предыдущей цветовой схеме;

Назначение цвета элементами управления



Назначение цвета диапазону значений атрибута разреза производится при помощи группы параметров **Color for range of values** панели **Settings of Colormap for Section**.

Границы диапазона значений атрибута, которому назначается цвет, задаются в окнах ввода, расположенных правее кнопки **ok**. Не важно, в какое окно вводится нижняя граница диапазона, а в какое – верхняя граница. Если введённые значения выходят за границы диапазона, эти значения заменяются на граничные значения диапазона.

После того, как введены границы диапазона, следует нажать кнопку **ok**. После нажатия кнопки **ok** откроется стандартное окно выбора цвета. После выбора цвета и нажатия кнопки **OK** окно закроется, цветовая схема обновится, а на цветовой

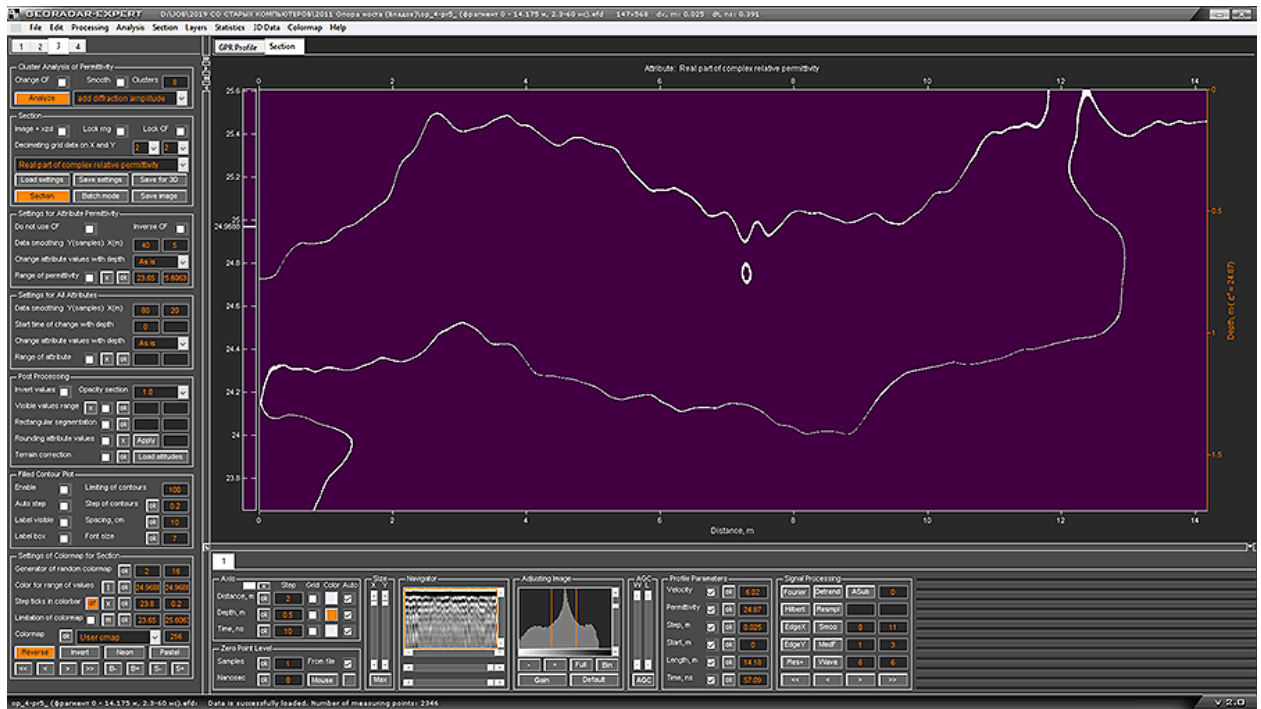
шкале автоматически появятся две дополнительные отметки шкалы, равные значениям границы диапазона.

Если дополнительные отметки шкалы не нужны, их можно удалить, нажав кнопку **x** в группе параметров **Step ticks in colorbar**. Можно, не изменяя цветовой схемы, добавлять дополнительные отметки цветовой шкалы, вводя значения в окна ввода границ диапазона, и нажимая кнопку **|**, расположенную левее кнопки **ok**.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если значение присутствует только в одном из двух окон ввода диапазона, то новый цвет на разрезе будет напоминать изолинию. На рисунке ниже показан разрез, представляющий собой три слоя грунта. В процессе создания цветовой схемы пользователь сначала назначил всему диапазону значений фиолетовый цвет, а потом назначил белый цвет значению атрибута, примерно соответствующему значению атрибута на границе слоёв. Для более точной подгонки значения белого цвета на цветовой схеме пользователь использовал кнопки **S-** и **S+**.



Назначение цвета при помощи мыши

Изменять цветовую схему можно и при помощи взаимодействия с цветовой шкалой. Если привести указатель мыши на цветовое поле цветовой шкалы и однократно щёлкнуть левой кнопкой мыши, то, как и после нажатия кнопки **ok** в группе параметров **Color for range of values**, откроется стандартное окно выбора цвета. Цвет будет назначен тому значению, какому соответствовало положение указателя мыши на цветовой шкале в момент щелчка.

Чтобы произвести градиентную заливку на цветовой шкале при помощи мыши, следует привести указатель мыши на требуемый цвет, нажать правую кнопку мыши, после чего указатель мыши примет вид перекрестья. Далее, удерживая правую кнопку мыши в нажатом положении, плавно переместить указатель мыши в нужное место цветовой шкалы, после чего отпустить правую кнопку мыши. В результате между цветами, которые соответствовали начальному и конечному положениям указателя мыши на цветовой шкале, возникнет градиентная заливка и две дополнительных отметки.

Чтобы произвести заливку одним цветом при помощи мыши, следует привести указатель мыши на требуемый оттенок цветовой шкалы, который будет цветом заливки, нажать среднюю кнопку мыши (или колёсико прокрутки, которое часто используется в качестве средней кнопки) и дождаться, чтобы указатель мыши принял вид перекрестья. После чего, удерживая среднюю кнопку мыши, плавно переместить указатель мыши в то место цветовой шкалы, которое будет являться границей заливки, после чего отпустить среднюю кнопку мыши.

Редактирование отметок цветовой шкалы

Редактирование отметок цветовой шкалы осуществляется при помощи группы параметров **Step ticks in colorbar** на панели **Settings of Colormap for Section**. В данную группу параметров входят следующие элементы управления (перечисление слева направо):

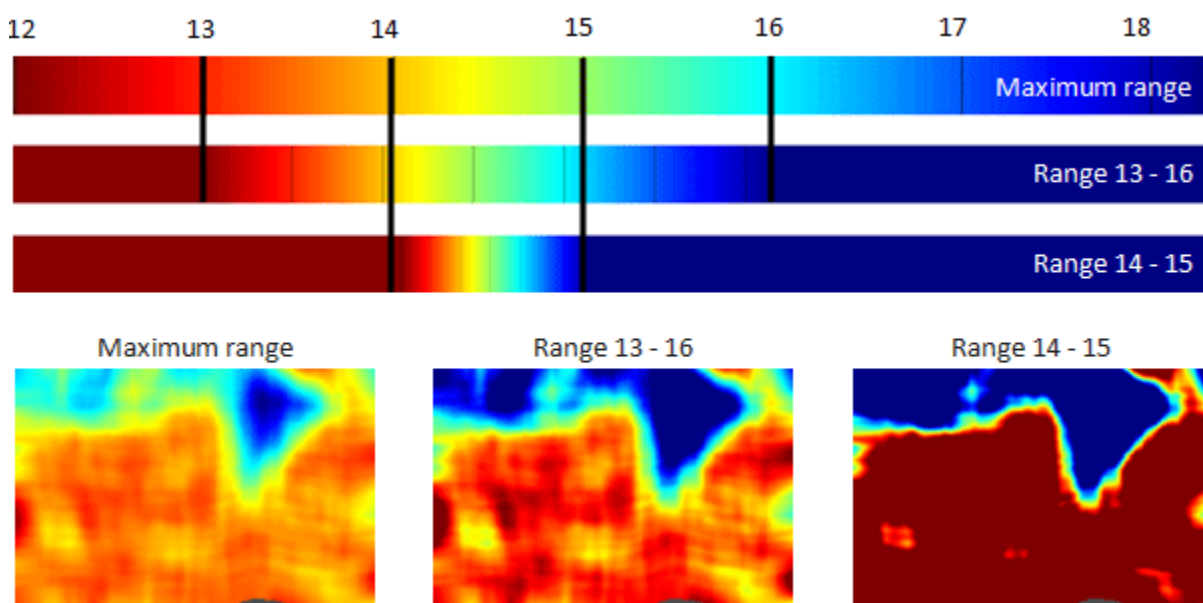
- **df** – кнопка установки отметок цветовой шкалы по умолчанию;
- **x** – кнопка удаления всех дополнительных отметок цветовой шкалы, которые были автоматически созданы в процессе редактирования цветовой схемы;
- **ok** – кнопка применения параметров отметок цветовой шкалы, заданных в окнах ввода, которые расположены правее данной кнопки. В ближайшем, к кнопке **ok** окне ввода, задаётся значение, от которого будет рассчитана градуировка цветовой шкалы с шагом, значение которого задаётся во втором окне ввода;

Установка порогов отображения разреза

Установка порогов отображения разреза осуществляется при помощи группы параметров **Limitation of colormap** на панели **Settings of Colormap for Section**. В группу параметров **Limitation of colormap** входят следующие элементы управления (перечисление слева направо):

- Флажок применения порогов отображения разреза. Если данный флажок отмечен, то при построении разреза, его визуализация будет производиться в соответствии со значениями порогов, которые заданы в окнах ввода параметров;
- **m** – кнопка установки максимальных порогов отображения;
- **ok** – кнопка применения порогов отображения разреза, заданных в окнах ввода параметров, которые расположены правее данной кнопки. В ближайшем, к кнопке **ok** окне ввода, задаётся нижний порог отображения, в следующем окне – верхний порог.

На рисунке ниже показаны цветовые шкалы с различными порогами отображения (максимальным порогом, 13 – 16 и 14 – 15) и изображения разреза в соответствии с этими порогами.

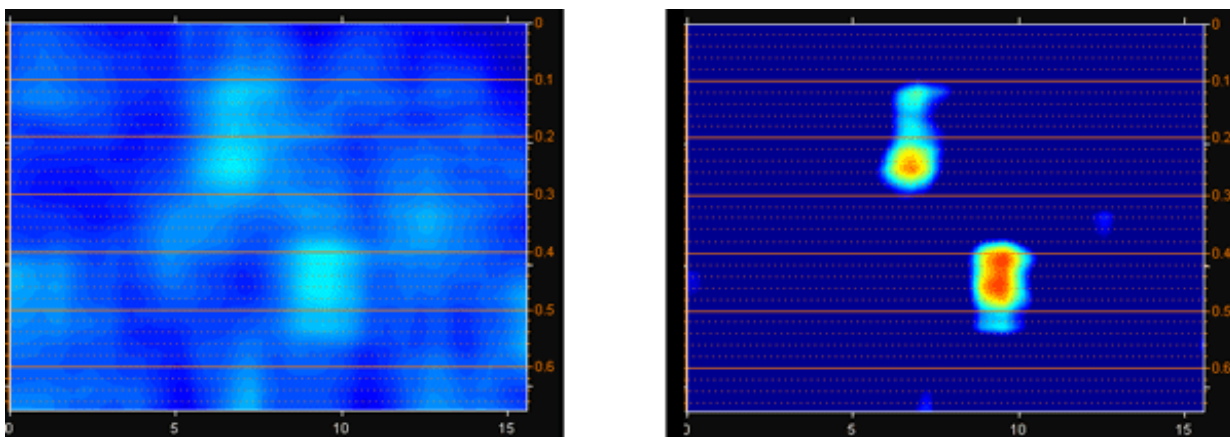


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

При изменении порогов отображения происходит масштабирование цветовой схемы в пределах диапазона значений атрибута, ограниченного этими порогоми, что наглядно показано на рисунке выше.

На рисунке ниже показан разрез атрибута Q-factor, построенный на основе результатов анализа BSEF георадиолокационного профиля, пересекающего закопанные в песок пустотелые пластиковые контейнеры. На рисунке слева показана визуализация разреза с максимальными порогами отображения 1.44 – 4.4. В таком режиме определить положение контейнеров затруднительно. На рисунке справа пороги отображения разреза имеют значения 3.5 – 4.4. Положение контейнеров в этом случае определяется без затруднений.



Навигация по шагам редактирования цветовой схемы

В процесс редактирования цветовой схемы и параметров цветовой шкалы, каждый шаг редактирования записывается в память программы. Навигация по шагам редактирования осуществляется при помощи следующих кнопок, расположенных на панели **Settings of Colormap for Section**:

- << - возврат к исходной (не обработанной) цветовой схеме;
- < - переход к предыдущему шагу редактирования;
- > - переход к следующему шагу редактирования;
- >> - переход к последнему шагу редактирования.

Если текущий шаг редактирования не является последним, и пользователь изменил его параметры, то эти параметры записываются в следующий, за текущим, шаг. При этом все дальнейшие шаги редактирования удаляются из памяти.

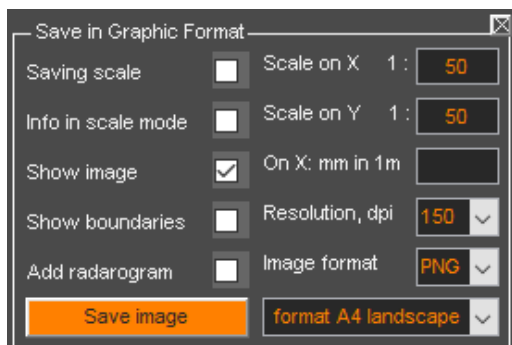
Сохранение и загрузка цветовой схемы

Сохранение текущей цветовой схемы в файл с расширением **gestap** выполняется при помощи пункта меню **Save Colormap**, принадлежащей группе меню **Colormap**.

Загрузка цветовой схемы из файла с расширением **gestap** в программу выполняется при помощи пункта меню **Load Colormap** из группы меню **Colormap**. При загрузке цветовой схемы, существующая история редактирования цветовой схемы, если таковая присутствует в памяти программы, удаляется.

Сохранение результатов обработки

Сохранение изображения в графическом формате



Настройка параметров сохранения разреза (или волновой картины георадиолокационного профиля, или одного из вида 3D сборки) в графическом формате осуществляется на панели **Save in Graphic Format**. Данная панель не загружается автоматически в рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в процессе открытия. Данная панель вызывается пользователем по мере возникновения необходимости при помощи пункта меню **Save in Graphic Format**, расположенным в группе меню **File**, или кнопкой **Save image** на панели **Section** (для

режима 2D визуализации).

После вызова панели **Save in Graphic Format**, она размещается в нижней группе вкладок, после чего открывается стандартное windows-окно сохранения файла. Если пользователю, на момент открытия панели, сохранение не требуется, то следует нажать кнопку отмены сохранения. Если нажата кнопка сохранения, то разрез сохраняется с настройками изображения по умолчанию – формат файла **png**, разрешение изображения 150 dpi, формат изображения – для вставки в лист размера A4 в альбомной ориентации.

Когда панель **Save in Graphic Format** загружена, запускать процесс сохранения изображения можно при помощи кнопки **Save image** на панели **Save in Graphic Format**, пункта меню **Save in Graphic Format**, расположенным в группе меню **File**, или кнопкой **Save image** на панели **Section** (для режима 2D визуализации).

На панели **Save in Graphic Format** размещены следующие элементы управления параметрами сохранения изображения в графическом формате (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Saving scale** – если данный флажок отмечен, то сохранение разреза (или волновой картины георадиолокационного профиля, или одного из сечений 3D сборки) производится в масштабе, значения которого заданы в окнах ввода параметров **Scale on X** и **Scale on Y**. При отмеченном флажке **Saving scale** вместо параметра **On X: mm in 1 m** размещается кнопка **Show image size**, которая служит для вызова информационной панели, где отображаются размеры сохраняемого изображения в зависимости от заданного масштаба. Эта информация позволяет избежать получения слишком малого или очень большого размера изображения вследствие неверно выбранного, пользователем, масштаба;
- **Info in scale mode** – если данный флажок отмечен, то при сохранении изображения в масштабе отображается краткая статистическая информация по атрибуту разреза или 3D сборки;
- **Show image** – если данный флажок отмечен, то на осях разреза присутствует изображение разреза или одного из вида 3D сборки. Если данный флажок не отмечен, на изображении будут присутствовать пустые оси;
- **On X: mm in 1 m** – данный параметр задаёт горизонтальный масштаб изображения – количество миллиметров горизонтальной оси разреза, соответствующих одному метру по шкале расстояний. Если горизонтальная ось разреза выходит за пределы листа, горизонтальный размер листа увеличивается. Если окно ввода параметра **On X: mm in 1 m**

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

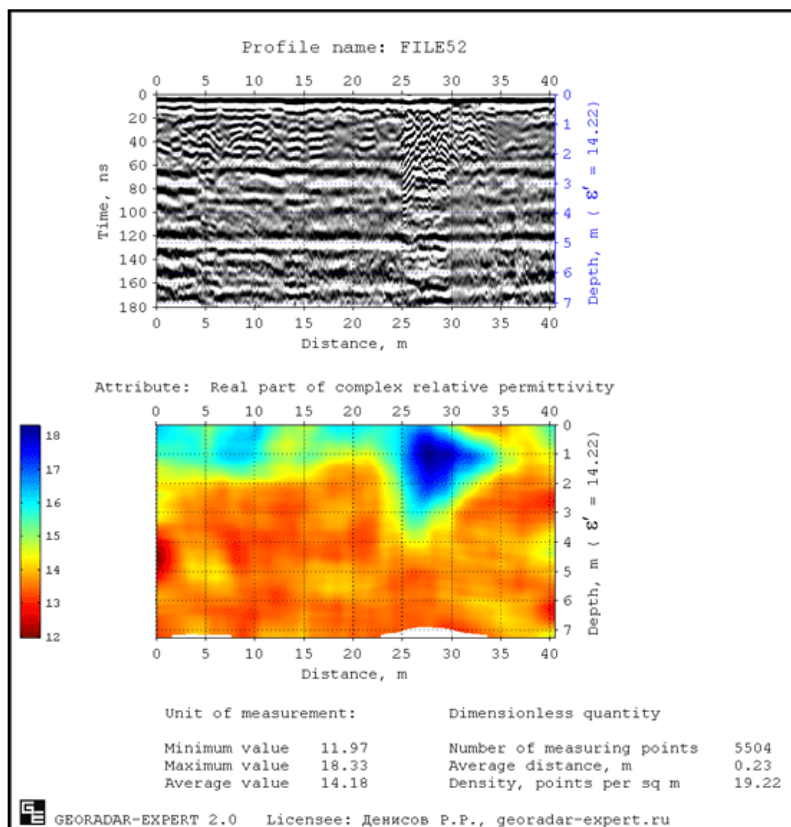
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

пусто, то на сохранённом изображении оси разреза будут занимать всю ширину листа, не изменяя его горизонтального размера;

- **Show boundaries** - если данный флажок отмечен, и на разрезе или волновой картине профиля присутствуют проложенные пользователем границы (слоёв), то на сохранённом изображении эти границы будут отображаться. Данная опция не оказывает влияния на сохранение изображения в режиме 3D визуализации данных;
- **Resolution, dpi** - данный параметр задаёт разрешение сохраняемого изображения в точках на дюйм;
- **Add radarogram** - если данный флажок отмечен, то в верхней части сохраняемого изображения присутствует изображение волновой картины георадиолокационного профиля, ниже которого размещается изображение разреза. Данная опция не оказывает влияния на сохранение изображения в режиме 3D визуализации данных;
- **Image format** – выпадающий список для выбора формата графического файла для сохранения;
- **Save image** – кнопка запуска процесса сохранения изображения. Наряду с сохранением изображения разреза, автоматически сохраняются и параметры построения разреза в формат **geprm** (для режима 2D);
- Выпадающий список, расположенный правее кнопки сохранения изображения **Save image** служит для выбора размера изображения и ориентации листа. Например, значение по умолчанию **format A4 landscape** задаёт размеры изображения для вставки в документ MS WORD размера A4 в альбомной ориентации;

На рисунке ниже показано сохранённое изображение разреза для вставки в лист документа MS WORD альбомной ориентации с отмеченным флажком **Add radarogram**:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В верхней части листа расположено изображение волновой картины георадиолокационного профиля в том виде, в каком она отображалась в окне программы на момент сохранения. Над изображением профиля размещается его имя - FILE52.

Под изображением профиля размещено изображение разреза, сверху которого располагается наименование атрибута разреза. Слева от изображения разреза размещена цветовая шкала разреза.

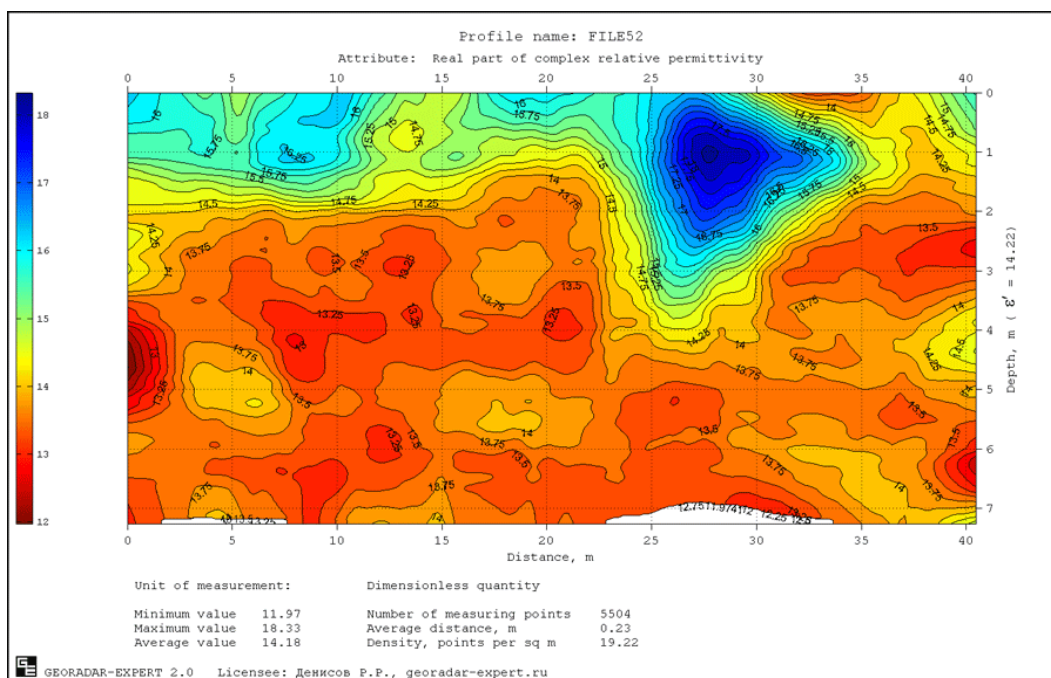
Подпись шкалы глубин содержит среднее значение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ϵ' , в соответствии с которым рассчитывалась шкала глубин профиля и разреза.

В режиме 2D, в нижней части листа, под изображением разреза размещается справочная информация. Она содержит в себе следующие пункты:

- **Unit of measurement** – размерность атрибута. Так как данный атрибут не имеет размерности, об этом свидетельствует надпись **Dimensionless quantity** – безразмерная величина;
- **Minimum value** – минимальное значение атрибута разреза;
- **Maximum value** – максимальное значение атрибута разреза;
- **Average value** – среднее арифметическое значение атрибута разреза;
- **Number of measuring points** – количество опорных точек разреза;
- **Average distance, m** – среднее расстояние между опорными точками разреза в метрах;
- **Density, points per sq m** – среднее количество опорных точек на квадратный метр разреза.

По нижнему краю листа размещён логотип программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и информация о владельце лицензии на использование программы.

На рисунке ниже показано сохранённое изображение разреза в виде контурного графика для вставки в лист документа MS WORD альбомной ориентации на полный лист (флажок **Add radarogram** не активирован):



Сохранение данных разреза в формат xzd

Данные разреза могут быть сохранены в файл данных с расширением **xzd**. Файл данных **xzd** содержит в себе матрицу значений разреза и сопроводительную информацию – наименование атрибута разреза, шаг данных по вертикали и горизонтали и пр.

Файл данных **xzd** можно загружать в программу ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ как обычный георадиолокационный профиль и применять к нему все виды обработки, как к обычному георадиолокационному профилю. Несколько файлов **xzd** можно объединять в набор для трёхмерной визуализации (более подробно – в разделе <Создание 3D сборки >).

Чтобы сохранить данные построенного разреза в файл **xzd**, следует воспользоваться кнопкой **Save for 3D** на панели **Section** или воспользоваться пунктом меню **Save Section in XZD**, расположенным в группе меню **Section**.

Чтобы сохранять данные в формате **xzd** в пакетном режиме построения разрезов, перед запуском пакетного режима следует отметить флажок **Batch xzd** на панели **Section**.

Примечание: после того, как файл формата **xzd** загружен в программу как обычный георадиолокационный профиль, рекомендуется включить автоматическую регулировку профиля выравнивания. Для этого следует нажать на кнопку **Gain** на панели **Adjusting Image** или режим **AGC** (Auto Gain Control).

Сохранение в формат efd

Георадиолокационные профили различных форматов, поддерживаемых программой ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, сохраняются только в формате **efd**. Для сохранения профиля в формате **efd** следует воспользоваться пунктом меню **Save efd**, расположенным в группе меню **File**.

В формате **efd** содержится информация о параметрах георадиолокационного профиля и результатах анализа BSEF, если таковой производился.

Сохранение и загрузка параметров построения разреза

Параметры построения разреза можно сохранять в файл с расширением **geprm**. Для этого следует воспользоваться пунктом меню **Save Settings**, расположенном в группе меню **Section**. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется стандартное окно сохранения файла, в котором пользователь может выбрать директорию сохранения и имя сохраняемого файла. По умолчанию директорией сохранения является место расположения георадиолокационного профиля, а имя файла – имя файла профиля с расширением **geprm**.

Если на георадиолокационном профиле пользователем были проложены границы слоёв, то данные границ слоёв также сохраняются в файл данных параметров построения разреза.

Чтобы загрузить параметры построения разреза, следует воспользоваться пунктом меню **Load Settings**, расположенном в группе меню **Section**. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется стандартное окно открытия файла, в котором пользователь может выбрать требуемый файл с расширением **geprm** и нажать кнопку открытия, после чего начнётся автоматизированная настройка параметров построения разреза в соответствии с сохранёнными в файле настройками.

Если в файле параметров построения разреза будут присутствовать данные о пользовательских слоях, то откроется панель управления построением границ слоёв **Boundaries of Layers** (если она не была открыта) и линии границ визуализируются на изображении георадиолокационного профиля на вкладке **GPR Profile**.

Экспорт данных в таблицу формата TXT



В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрен экспорт данных георадиолокационного профиля, разреза или сечения 3D сборки в таблицу формата **TXT** в виде трёх столбцов. Первый столбец таблицы – горизонтальная координата **X**, второй столбец – вертикальная координата **Y**, третий столбец – значение атрибута или амплитуда сигнала **A** в точке с координатами [**X Y**].

Параметры экспорта в таблицу определяются на панели **Export to Table**. Данная панель загружается в нижнюю группу вкладок при помощи меню **Export to Text Table XYA**, которое расположено в группе меню **File**. Убрать панель **Export to Table** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной

в правом верхнем углу панели.

Панель **Export into table** содержит следующие элементы управления экспортом данных:

- **Min step by X, m** – экспорт с минимально возможным шагом по горизонтали. Для георадиолокационного профиля это шаг между георадиолокационными трассами (шаг профилирования);
- **Min step by Y, m** – экспорт с минимально возможным шагом по вертикали.
- **Decimal places** – количество знаков после десятичной точки;
- **Step by X, m** – шаг экспорта по горизонтали в метрах;
- **Step by Y, m** – шаг экспорта по вертикали в метрах, если кнопка левее окна ввода находится в не нажатом положении. Если эта кнопка находится в нажатом положении, то в её названии **m** меняется на **ns**, и это означает, что шаг экспорта будет задаваться в наносекундах. Состояние данной кнопки имеет значение только для георадиолокационного профиля. Для разрезов и сечений 3D сборки шаг экспорта по вертикали задаётся только в метрах;
- **Export data** – кнопка запуска процесса экспорта. После нажатия данной кнопки откроется стандартное окно сохранения файла, в котором можно изменить имя сохраняемого файла и директорию сохранения, после чего нажать кнопку сохранения.

Экспорт данных в сеточный формат GRD (Surfer)

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрен экспорт данных георадиолокационного профиля, разреза или сечения 3D сборки в сеточный формат программы **Golden Software Surfer**, который имеет расширение **GRD**.

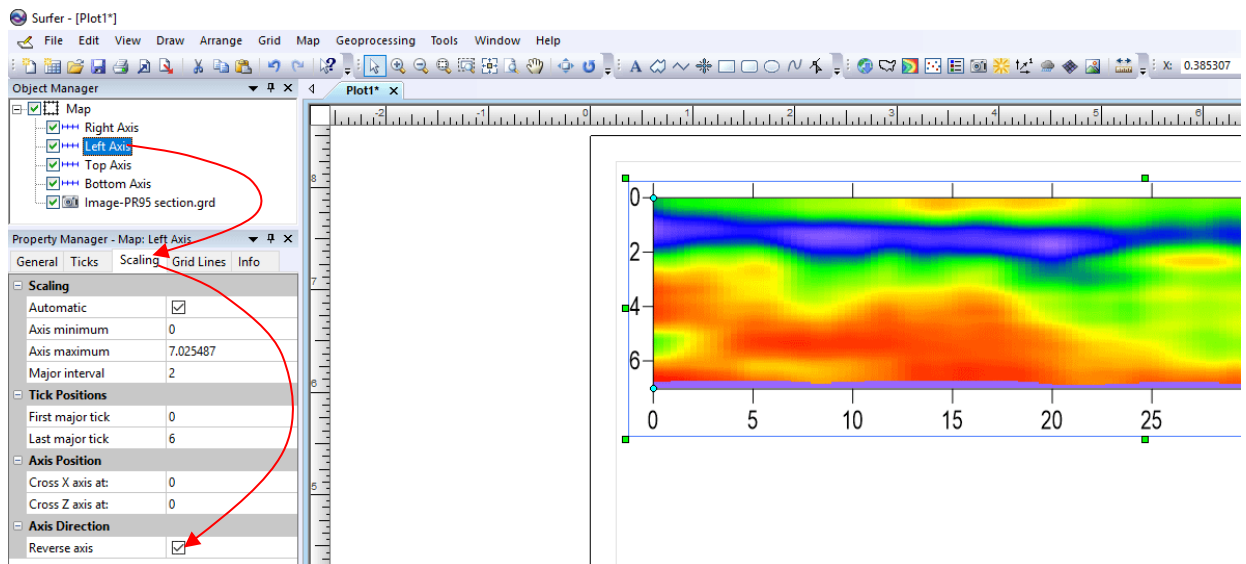
Экспорт данных в сеточный формат **GRD** осуществляется при помощи меню **Export to Surfer Grid File**, которое расположено в группе меню **File**. Экспорт в формат **GRD** не имеет настроек. После щелчка по пункту меню **Export to Surfer Grid File** откроется стандартное окно сохранения файла, в котором можно изменить имя сохраняемого файла и директорию сохранения, после чего нажать кнопку сохранения.

Сохранённый файл в формате **GRD** можно загружать в программу **Surfer** в качестве **Image Map**. Для этого в программе **Surfer** необходимо создать новый документ (комбинация клавиш **Ctrl+N**) и далее, в группе меню **Map**, выбрать **New** и выбрать **Image Map**. В открывшемся окне выбора файла **Open Grid** выбрать файл в формате **GRD**.

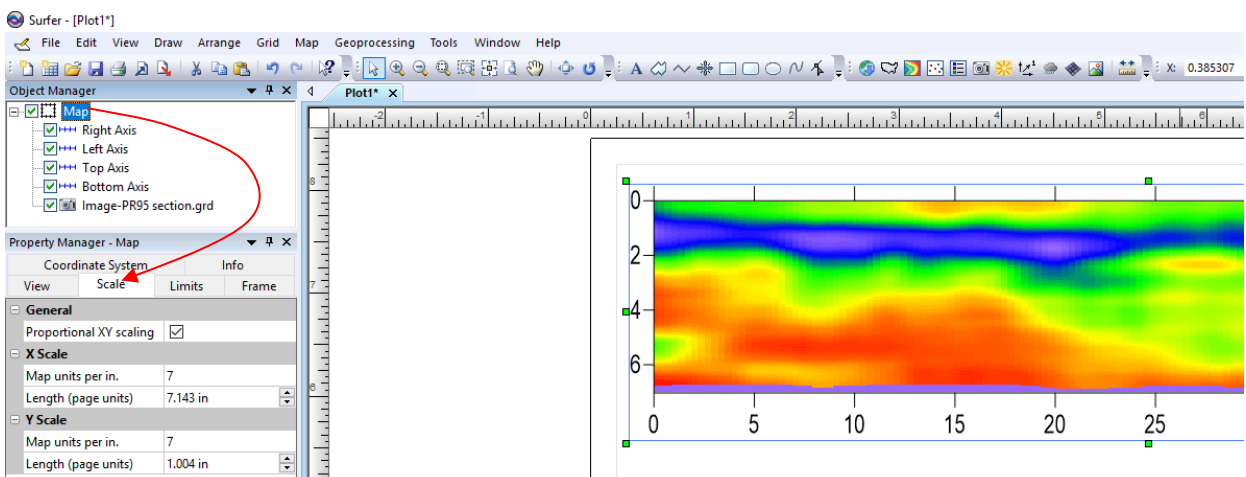
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если файл **GRD** был создан на основе изображения георадиолокационного профиля или разреза атрибута (вкладки **GPR profile** и **Section**), то загруженные в программу **Surfer** данные могут отображаться в перевёрнутом виде. Чтобы это исправить, на панели **Object Manager** программы **Surfer** нужно выбрать группу параметров **Left Axis**, после чего на панели **Property Manager** выбрать вкладку **Scaling** и поставить галочку **Reverse axis**, расположенную в группе **Axis Direction**:



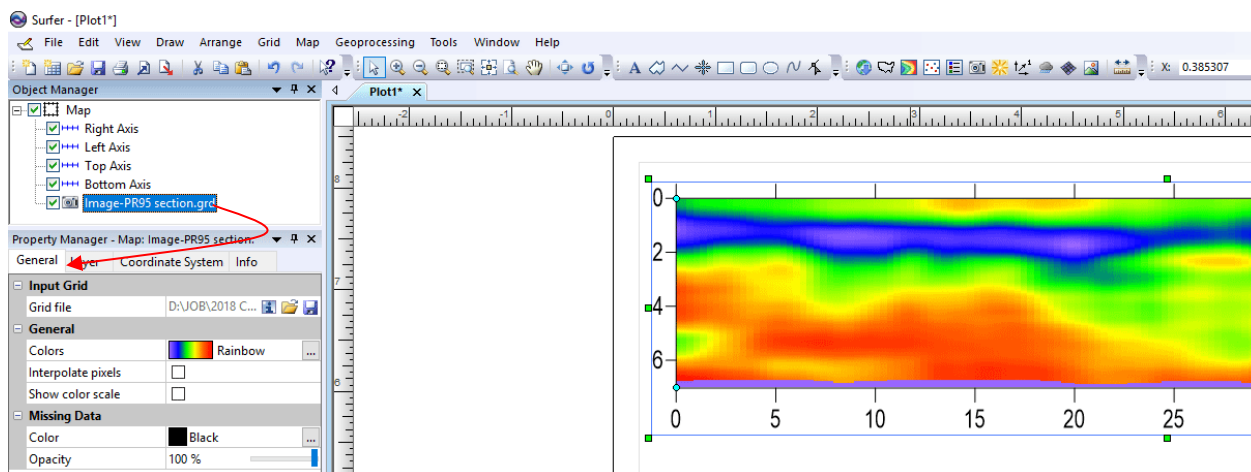
Для изменения размеров отображения загруженных данных, на панели **Object Manager** следует выбрать группу параметров **Map**, после чего на панели **Property Manager** выбрать вкладку **Scale**, которая содержит все необходимые настройки. Если требуется настроить размер каждой оси независимо, нужно снять галочку **Proportional XY scaling**:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Для настройки цветовой схемы отображения загруженных данных, на панели **Object Manager** следует выбрать группу параметров **Image-(имя файла)**, после чего на панели **Property Manager** выбрать вкладку **General** и воспользоваться параметром **Colors** в группе параметров **General**. Там же, для отображения цветовой шкалы, нужно поставить галочку **Show color scale** и, для более гладкого отображения данных, поставить галочку **Interpolate pixels**:



Наличие экспорта из программы **ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ** в формат **GRD** открывает возможность экспортировать результаты обработки георадиолокационных данных через программу **Surfer** в следующие форматы:

- BLN Golden Software Blanking (*.bln)
- BNA Atlas Boundary (*.bna)
- DXF AutoCAD Drawing (*.dxf)
- EMF Windows Enhanced Metafile (*.emf)
- EPS Encapsulated Postscript (*.eps)
- GSB Golden Software Boundary (*.gsb)
- GSI Golden Software Interchange (*.gsi)
- KML Google Earth KML (*.kml)
- KMZ Google Earth KMZ (*.kmz)
- MIF MapInfo Interchange Format (*.mif)
- PDF (Vector) (*.pdf)
- PDF (Raster) (*.pdf)
- PNM Image (*.pnm)
- RGB SGI-RGB Image (*.rgb, *.rgba, *.bw)
- SHP ESRI Shapefile (*.shp)
- SUN Sun Raster Image (*.ras, *.sun)
- TGA Targa (TrueVision) (*.tga)
- TIF Tagged Image (*.tif, *.tiff)
- WMF Windows Metafile (*.wmf)
- X AVS X-Image (*.x, *.ximg)

Построение разреза с поправкой за рельеф

Если при построении разреза требуется учитывать рельеф местности, в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена возможность загрузки данных рельефа из файла электронных таблиц в формате MS EXCEL. Таблица данных рельефа состоит из двух столбцов. Столбец А – расстояния от начала профиля в метрах, столбец В – значения высот в метрах.

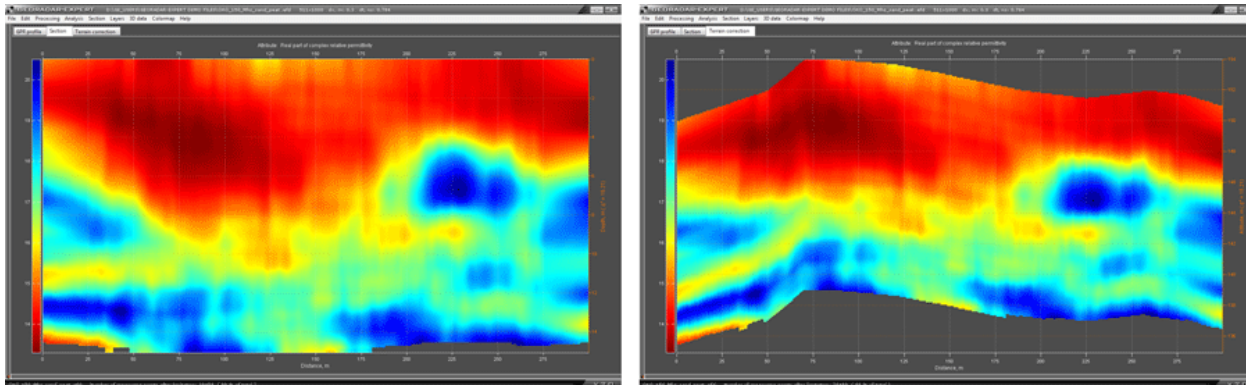
| | А | В | С |
|----|----|-----|---|
| 1 | 0 | 133 | |
| 2 | 5 | 135 | |
| 3 | 10 | 134 | |
| 4 | 20 | 132 | |
| 5 | 30 | 135 | |
| 6 | 35 | 139 | |
| 7 | 40 | 141 | |
| 8 | 45 | 144 | |
| 9 | 50 | 145 | |
| 10 | | | |
| 11 | | | |

Для загрузки таблицы данных рельефа служит кнопка **Load altitudes** в группе параметров **Terrain correction** на панели **Post processing**. После того, как данные рельефа загружены, кнопка **ok**, расположенная слева от кнопки **Load altitudes**, меняет цвет с серого цвета на оранжевый.

Если кнопка **ok** окрашена в оранжевый цвет, то при нажатии на неё запускается процесс построения разреза с поправкой за рельеф, результаты которого размещаются на вкладке **Terrain correction**.

Если отмечен флажок левее кнопки **ok**, то при построении разреза, дополнительно будет строиться разрез с учётом рельефа местности.

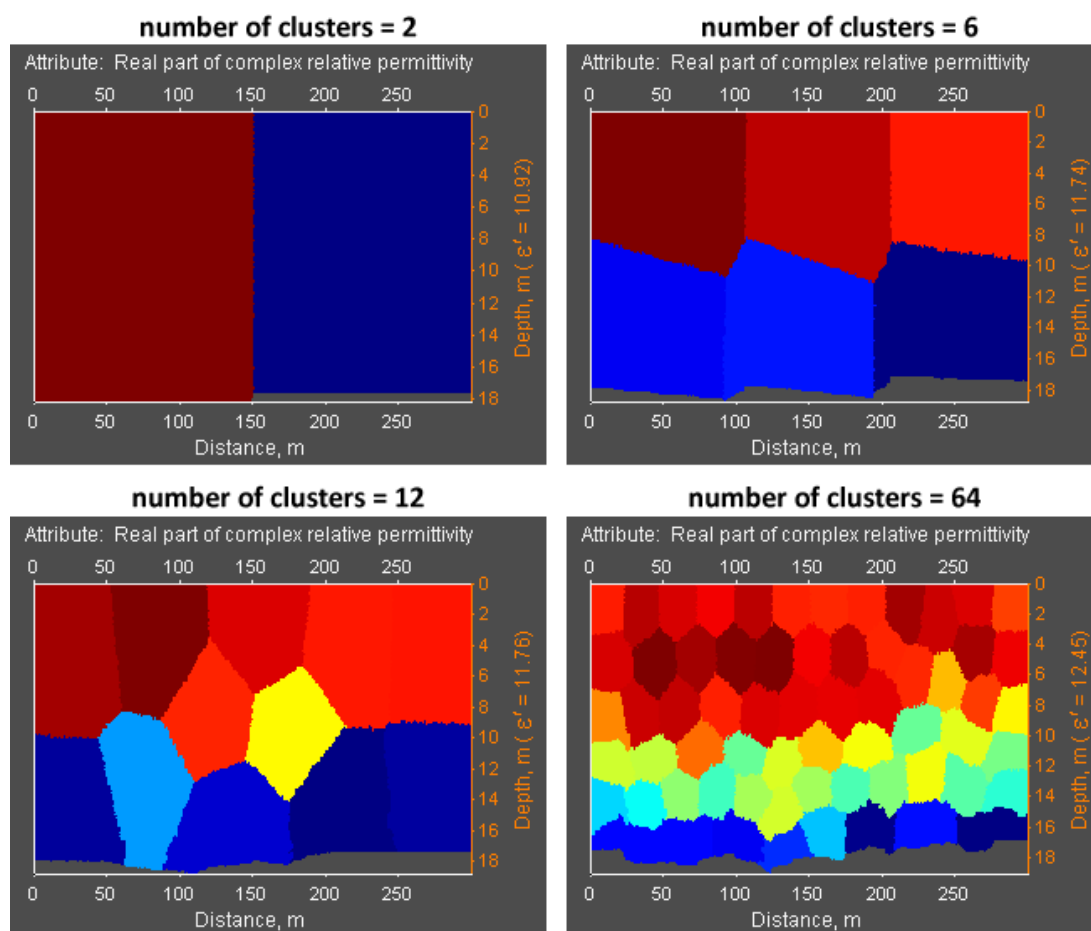
На рисунке ниже представлено рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в режиме максимального размера области визуализации (левая и нижняя вкладки скрыты). Слева – разрез без поправок за рельеф, справа – с введёнными поправками:



Кластерный анализ диэлектрической проницаемости

Кластерный анализ результатов анализа BSEF служит для грубой оценки параметров подповерхностной среды. Разбивая разрез на кластеры на основе значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ϵ' , пользователь получает информацию о строении разреза в заданном, посредством количества кластеров, приближении.

На рисунках ниже показаны результаты кластерных анализов атрибута ϵ' с различным количеством кластеров (исследовался песчаный грунт). Цветовая схема разреза подобрана таким образом, что наименьшее значение атрибута имеет тёмно красный цвет, наиболее высокое – тёмно синий цвет.



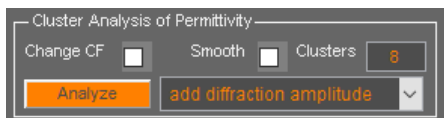
На основе модели подповерхностной среды из двух кластеров (изображение слева сверху) можно сделать вывод, что при самом грубом приближении, левая часть разреза более сухая (малые значения ϵ'), чем правая (высокие значения ϵ').

Шесть кластеров (изображение справа сверху) даёт более подробную картину, из которой видно, что разрез делится на два слоя. Нижний слой более влажный, чем верхний и у обоих слоёв содержание влаги в левой части меньше, по сравнению с правой частью.

С увеличением количества кластеров детализация результата возрастает, но и накапливается ошибка кластеризации. Поэтому наибольший интерес вызывает результат кластерного анализа именно с малым количеством кластеров.

Элементы кластерного анализа диэлектрической проницаемости расположены на панели **Cluster Analysis of Permittivity**. Данная панель принадлежит левой группе вкладок и загружается

автоматически при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании анализа (если активирован пункт меню **Display CF and Parameters of Section** в группе меню **File**).



На панели **Cluster Analysis of Permittivity** размещены следующие элементы управления параметрами (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Change CF** – флажок активации построения корректирующей функции на панели КФ **Corrective function $\epsilon_s(f)$** в соответствии с результатом кластерного анализа;
- **Smooth** – флажок активации сглаживания результатов кластерного анализа в соответствии с параметрами сглаживания, заданными в группе параметров **Data smoothing Y(samples) X(m)** на панели **Settings for attribute “Permittivity”** (более подробно см. раздел <Панель Settings for attribute “Permittivity”>).
- **Clusters** – окно ввода количества кластеров;
- **Analyze** – кнопка запуска процесса кластерного анализа. Результаты анализа в виде разбитого на кластеры разреза размещаются на вкладке **Section**;
- Выпадающий список типов кластерного анализа расположен правее кнопки **Analyze**. В данном выпадающем списке содержатся следующие пункты:
 - **Without additional attribute** – кластерный анализа атрибута действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ϵ' без учёта других атрибутов;
 - **add central frequency** - кластерный анализа атрибута ϵ' с учётом значений центральной частоты f ;
 - **add signal bandwidth** - кластерный анализа атрибута ϵ' с учётом значений атрибута ширины спектра Δf ;
 - **add Q-factor** - кластерный анализа атрибута ϵ' с учётом значений атрибута **Q-factor**;
 - **add diffraction amplitude** - кластерный анализа атрибута ϵ' с учётом значений модуля средней амплитуды дифрагированного отражения;
 - **add probability of BSEF** - кластерный анализа атрибута ϵ' с учётом значений вероятности наличия поля обратного рассеяния;

В окне ввода **Clusters** можно задать не одно значение, а два значения, которые разделены дефисом - например, 10–20. В этом случае, в процессе кластерного анализа создаются одиннадцать кластерных разрезов с количеством кластеров от 10 до 20. Далее, на основе этих кластерных разрезов создаётся один усреднённый кластерный разрез, который является конечным результатом кластерного анализа.

Если задать диапазон в виде трёх чисел, разделённых дефисом - например, 10–5–20, то в этом случае второе значение определяет шаг количества кластеров при расчёте кластерных разрезов. В случае значения 10-5-20 создаётся три кластерных разреза с количеством кластеров 10, 15 и 20. Далее, на основе этих трёх кластерных разрезов создаётся один усреднённый кластерный разрез, который является конечным результатом анализа.

Пространственный анализ атрибутов

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализован пространственный анализ атрибутов SAA (Spatial Analysis Attributes). SAA показывает изменение количества опорных точек разреза или 3D сборки (по каждому уникальному значению атрибута) в зависимости от изменения положения точек по вертикальной координате – т.е. по глубине. По результатам SAA строятся графики, и формируется таблица данных. Анализ работает как для разреза, так и для объема данных в 3D режиме.

Перед началом пространственного анализа, для уменьшения количества уникальных значений атрибута разреза, необходимо произвести округление этих значений. Запуск процесса SAA осуществляется при помощи меню **Spatial Analysis Attributes**, расположенному в группе меню **Analysis**. Для автоматизированного сохранения результатов анализа SAA программа создаёт в директории расположения файла профиля или 3D сборки, папку с именем, состоящим из аббревиатуры пространственного анализа **SAA**, имени открытого файла, наименования атрибута и точности округления. Например, для файла профиля P00079: **SAA P00079 Re(permittivity) rounding 5**.

В папке сохранения данных расположены следующие элементы:

Файл электронной таблицы в формате xls

В таблице содержатся следующие данные:

- **Attribute value** – уникальные значения атрибута разреза или 3D сборки, сортированные по убыванию значения процента от общего количества опорных точек;
- **Percent of total** – процент опорных точек разреза или 3D сборки по каждому значению атрибута от общего количества опорных точек;
- **Square, m²** – суммарная площадь областей разреза по каждому уникальному значению атрибута (если анализируется разрез);
- **Volume, m³** – суммарный объём областей 3D сборки по каждому уникальному значению атрибута (если анализируется 3D сборка);
- **Depths of maximum concentration, m** – диапазон глубины с максимальной концентрацией опорных точек по каждому значению атрибута. В скобках справа от значения диапазона содержится процент опорных точек разреза или 3D сборки, содержащихся в данном диапазоне глубины от общего количества точек данного значения атрибута.

Под таблицей расположены статистические данные по значениям атрибута разреза. На рисунке ниже показан пример таблицы пространственного анализа атрибутов:

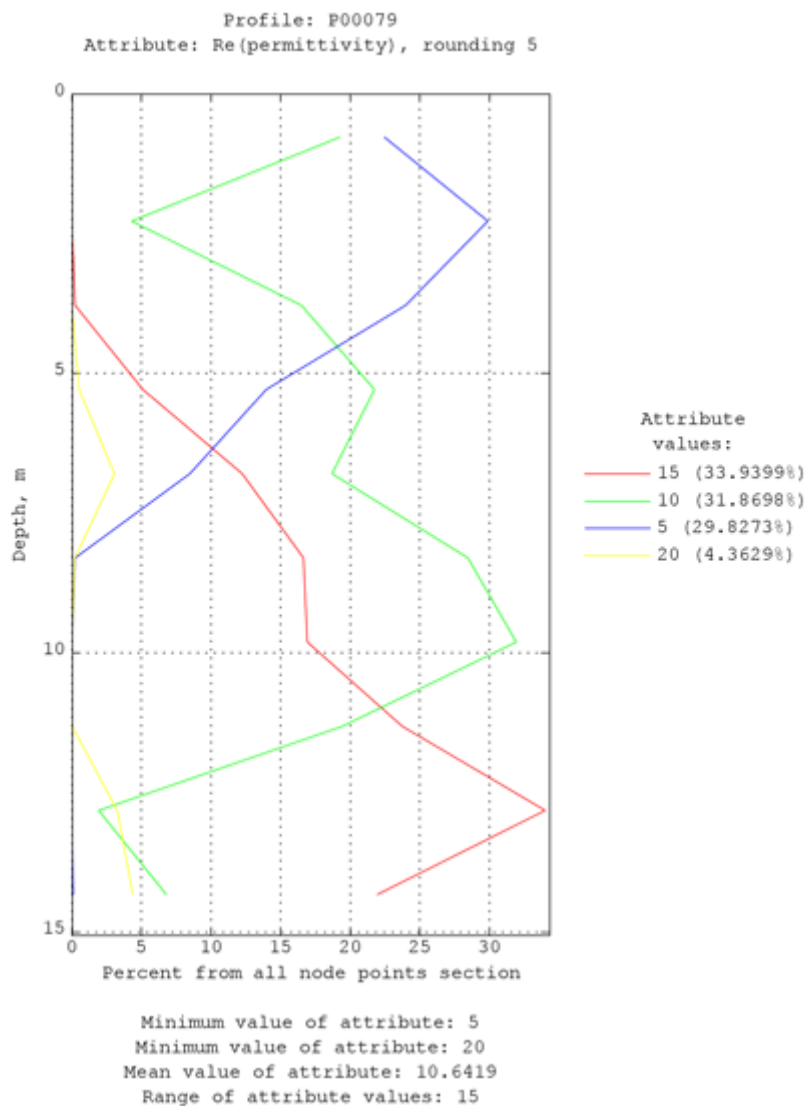
| | A | B | C | D |
|----|--|------------------|------------------------|------------------------------------|
| 1 | Profile: P00079 | | | |
| 2 | Attribute: Re(permittivity) | | | |
| 3 | Attribute value | Percent of total | Square, m ² | Depths of maximum concentration, m |
| 4 | 15 | 33.93991713 | 1522.105436 | 12.0446 - 13.5931 (26.0017%) |
| 5 | 10 | 31.86982044 | 1429.26769 | 9.0334 - 10.582 (18.8929%) |
| 6 | 5 | 29.82734807 | 1337.668813 | 1.5486 - 3.0111 (30.1632%) |
| 7 | 20 | 4.362914365 | 195.6638741 | 13.5931 - 15.0557 (38.2483%) |
| 8 | In profile P00079: | | | |
| 9 | Values interval | 5 | | |
| 10 | Minimum value of attribute | 5 | | |
| 11 | Maximum value of attribute | 20 | | |
| 12 | Mean value of attribute | 10.64191989 | | |
| 13 | Range of attribute values | 15 | | |
| 14 | Standard deviation of values | 4.460158402 | | |
| 15 | | | | |
| 16 | Note: percentages in column "Depths of maximum concentration, m" | | | |
| 17 | calculated on the total amount of data with the value of this attribute. | | | |
| 18 | For example, 100% means that all data with this attribute value | | | |
| 19 | is located in this depth range. | | | |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Общий график зависимости количества опорных точек по значениям атрибута от глубины

Общий график сохраняется в файл с именем **All graphs on one sheet.png**. Данный график показывает, какой процент опорных точек с различными значениями атрибута присутствует на той или иной глубине (имеется в виду процент от общего количества опорных точек). Данный график имеет следующий вид:



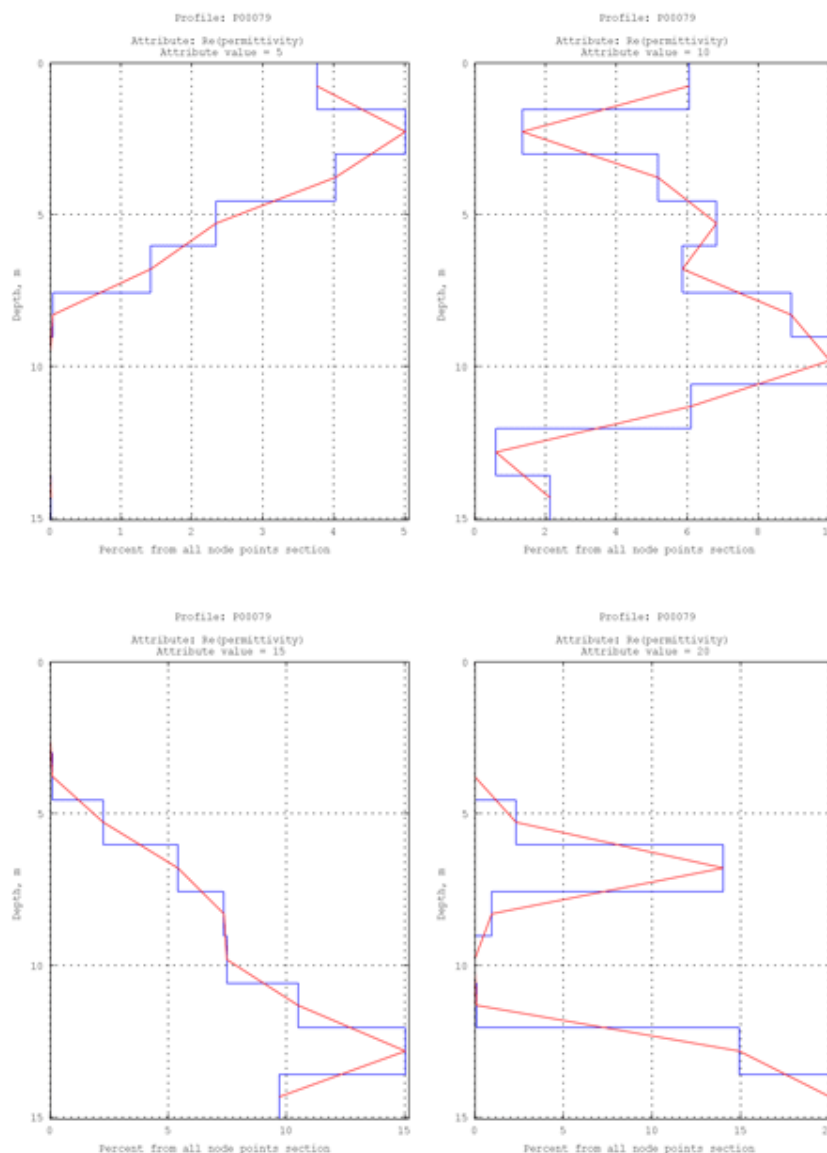
Сверху графика размещено имя профиля или 3D сборки, название атрибута разреза и точность округления. Вертикальная шкала графика – глубина разреза или 3D сборки в метрах. Горизонтальная шкала – процент от общего количества опорных точек разреза или 3D сборки. Каждому значению атрибута соответствует свой тип линии со своей окраской. Соответствие значений и типа линий показано справа от графика. Снизу графика размещены статистические данные по атрибуту разреза или 3D сборки.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Папка For each unique value

В папке **For each unique value** расположены графики зависимости количества опорных точек разреза или 3D сборки от глубины. График рассчитывается для каждого из уникальных значений атрибута и сохраняется в отдельный файл с именем, состоящим из названия атрибута и значения атрибута. Например, **Re(permittivity)=5.png**. На рисунке ниже показан пример графиков, сохранённых в папку **For each unique value**:



Сверху графика размещено имя профиля или название 3D сборки, наименование атрибута и точность округления. Вертикальная шкала графика – глубина разреза или 3D сборки в метрах. Горизонтальная шкала – процент от общего количества опорных точек разреза.

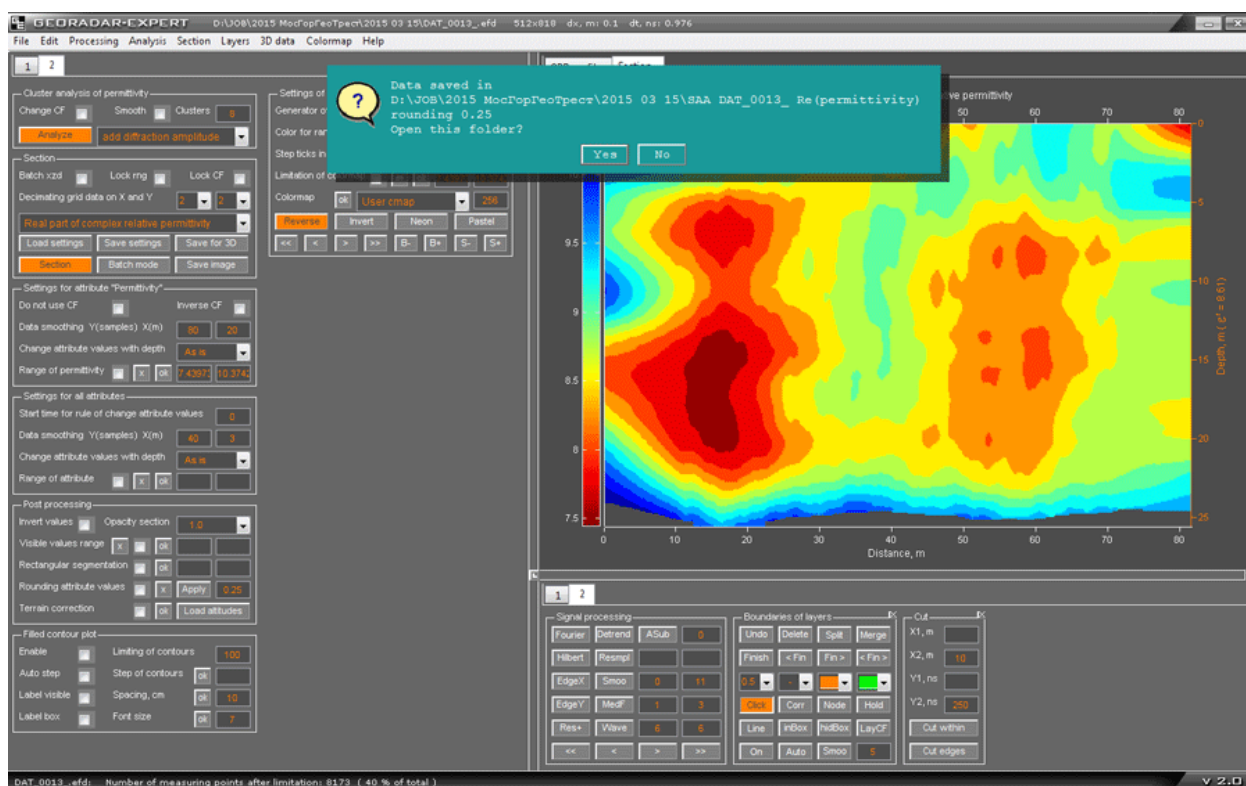
Для рассматриваемого здесь примера разреза, плавное уменьшение количества точек со значениями диэлектрической проницаемости = 5 и плавное увеличение количества точек со значением 10 – это влияние влажности грунта, которая возрастает с глубиной. График для значения 20 показывает два слоя суглинка. Кровля первого слоя располагается на глубине 6 метров, толщина первого слоя около 1 метра. Кровля второго слоя расположена на глубине 12 метров.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

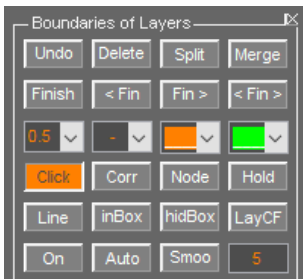
Порядок действий пользователя по выполнению пространственного анализа атрибутов

- Открыть файл георадиолокационного профиля с результатами анализа BSEF или произвести анализ BSEF в случае его отсутствия (более подробно см. в разделе <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>);
- Выбрать атрибут и построить разрез (более подробно см. в разделе <Построение разреза на основе результатов анализа поля обратного рассеяния>);
- Задать параметр точности округления панели **Post Processing**, в группе параметров **Rounding attribute values** и выполнить округление значений атрибута разреза (более подробно см. в разделе <Округление значений атрибута>). Округление необходимо для уменьшения количества уникальных значений атрибута разреза. Если округление не выполнить, то из-за значительного количества уникальных значений может произойти переполнение буфера памяти компьютера;
- Для запуска процесса пространственного анализа атрибутов следует щёлкнуть по пункту меню **Spatial Analysis Attributes**, расположенному в группе меню **Analysis**;
- После завершения процесса пространственного анализа SAA отобразится сообщение об окончании анализа и вопросом о том, хочет ли пользователь открыть директорию сохранения данных анализа. Если пользователь нажмёт на кнопку **Yes**, то окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ автоматически минимизируется (на панели задач отобразится значок программы) и в проводнике Windows откроется окно папки сохранения.



Пользовательские границы слоёв

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализована возможность разделения георадиолокационного профиля или разреза на слои, путём создания пользователем границ слоёв вручную.



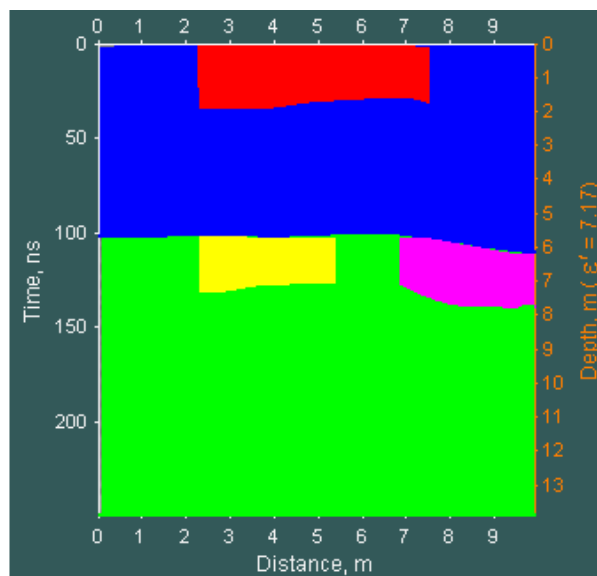
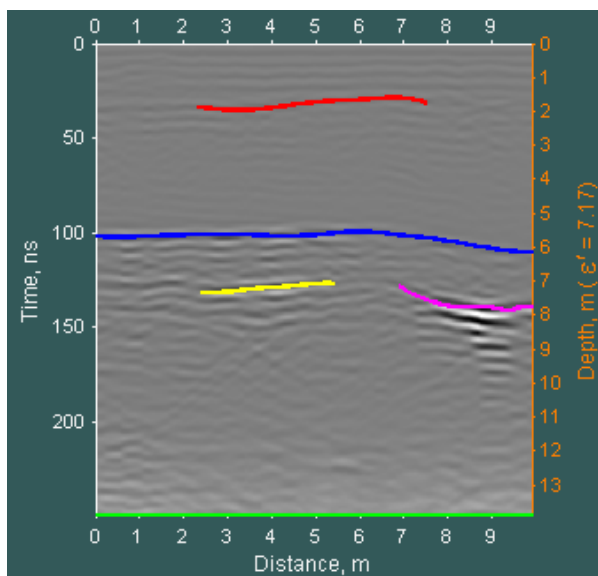
Элементы управления процессом создания границ слоёв расположены на панели **Boundaries of Layers**. Чтобы отобразить панель **Boundaries of Layers**, следует щелкнуть по пункту меню **Create Boundaries of Layers**, расположенному в группе меню **Layers**. Панель откроется в нижней группе вкладок. Убрать панель **Boundaries of Layers** можно при помощи кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Создание пользовательских границ слоёв поддерживают данные, размещённые на вкладках области визуализации **GPR Profile**, **Section** и **Terrain Correction**. Поддерживается создание границ на всех этих вкладках одновременно – т.е. можно, создавая границы на одной вкладке, переключаться на другую и создавать или редактировать границы уже там, после чего опять переключится на первую вкладку и продолжить работу с границами.

Границы, проложенные по изображению георадиолокационного профиля влияют на построение разреза посредством информации, размещённой в полях ввода условий (см. раздел <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>). Границы, проложенные по изображению разреза, служат для выделения того, или иного участка разреза. Линии границ (без полей ввода условий) сохраняются на разрезе или профиле, если отмечен флажок **Show boundaries** на панели параметров сохранения изображения **Save in Graphic Format**.

Принцип формирования слоёв

Линия границы ограничивает слой снизу – т.е. является подошвой слоя. На рисунке ниже наглядно показаны границы слоёв (слева) и слои, соответствующие этим границам (справа):



После включения режима нанесения границ вручную, одна граница создаётся автоматически. Она является нижней границей георадиолокационного профиля (или разреза). На рисунке слева эта граница показана в виде горизонтальной линии зелёного цвета. Её нельзя ни удалить, ни редактировать.

Создание остальных границ происходит следующим образом: пользователь активирует кнопкой **On** режим нанесения границ, и выбирает один из трёх способов создания – по узловым точкам (установлен по умолчанию), непрерывным рисованием и автоматически, по экстремумам сигналов радарограммы. В первом случае пользователь щёлкает левой кнопкой мыши по области отображения георадиолокационного профиля или разреза, создавая узловые точки, которые соединяются между собой линией границы. Во втором случае пользователь, удерживая левую кнопку мыши, рисует линию границы. В третьем случае пользователь задаёт интервал вертикальных координат на георадиолокационном профиле, в пределах которого, по экстремумам сигналов, программа выполняет автопикировку.

Чтобы редактировать уже созданную границу, пользователь щелчком левой кнопки мыши по линии этой границы делает её доступной для редактирования. В режиме редактирования граница отличается по цвету от остальных границ и на её линии отображаются узловые точки (если нажата кнопка отображения узловых точек **Node**). После редактирования границы, пользователь сохраняет изменения при помощи одной из кнопок завершения работы с границей.

Подробные описания действий по созданию, редактированию, сохранению границ слоёв и прочих действий со слоями представлены в соответствующих разделах данного руководства пользователя.

Панель **Boundaries of Layers**

На панели **Boundaries of Layers** размещены следующие элементы управления процессом построения границ слоёв (перечисление слева направо, сверху вниз):

- **Undo** – кнопка удаления последней созданной узловой точки линии границы;
- **Delete** – кнопка удаления границы. Если одна из границ находится в режиме редактирования, то нажатием данной кнопки эта граница удаляется. Если нет границы в режиме редактирования, то удаляются все существующие границы (после дополнительного подтверждения в информационном окне);
- **Split** – кнопка включения режима разделения, или обрезки границы. Более подробно см. в разделе <Разделение границы на две части>;
- **Merge** – кнопка включения режима объединения двух границ. Более подробно см. в разделе <Объединение двух границ>;
- **Finish** – кнопка завершения редактирования границы с сохранением изменений. При этом положения узловых точек начала и конца линии границы не изменяются;
- **<Fin** - кнопка завершения редактирования границы с сохранением изменений. При этом автоматически добавляется ещё одна узловая точка в начало профиля или разреза с вертикальной координатой, равной вертикальной координате начальной узловой точки границы на момент нажатия кнопки **<Fin**. Т.е. линия границы продлевается горизонтально влево;
- **Fin>** - кнопка завершения редактирования границы с сохранением изменений. При этом автоматически добавляется ещё одна узловая точка в конец профиля или разреза с вертикальной координатой, равной вертикальной координате конечной узловой точки границы на момент нажатия кнопки **Fin>**. Т.е. линия границы продлевается горизонтально вправо;
- **<Fin>** - кнопка завершения редактирования границы с сохранением изменений. При этом автоматически добавляются две узловые точки в начало и конец профиля или разреза с вертикальной координатой, равной вертикальной координате, соответственно, начальной и

конечной узловой точки границы на момент нажатия кнопки **<Fin>**. Т.е. линия границы продлевается горизонтально влево и вправо;

- Выпадающий список выбора толщины линии границы в точках (1 точка = 1/72 дюйма). Если одна из границ находится в режиме редактирования, то при помощи данного выпадающего списка толщина линии задаётся только для этой границы. Если нет границы в режиме редактирования, то толщина линии задаётся для всех существующих границ;
- Выпадающий список выбора типа линии границы. Если одна из границ находится в режиме редактирования, то при помощи данного выпадающего списка тип линии задаётся только для этой границы. Если нет границы в режиме редактирования, то тип линии задаётся для всех существующих границ;
- Выпадающий список выбора цвета линии границы в режиме создания (редактирования);
- Выпадающий список выбора цвета линий границ, находящихся в не редактируемом режиме;
- **Cick** – кнопка выбора способа создания границы. Если кнопка **Cick** находится в нажатом состоянии (по умолчанию), то линия границы создаётся при помощи пользовательских узловых точек (более подробно см. раздел <Создание границы по узловым точкам>). Если кнопка находится в отжатом состоянии, то линия границы создаётся методом рисования мышью (более подробно см. раздел <Создание границы в непрерывном режиме (рисование мышью)>);
- **Corr** – кнопка выбора способа корректировки линии границы в режиме редактирования. Если кнопка **Corr** находится в нажатом состоянии (по умолчанию), то доступно добавление узловых точек как в пределах расположения линии по горизонтали, так и вне этого диапазона координат. Если кнопка находится в отжатом состоянии, то добавление узловых точек доступно только вне расположения линии по горизонтали – т.е. линию можно продлить влево или вправо, но нельзя произвести коррекцию уже существующих узловых точек, или добавить новые в пределах положения линии по горизонтали;
- **Node** – кнопка визуализации узловых точек линии границы в режиме редактирования. В нажатом состоянии узловые точки отображаются, в отжатом состоянии – скрыты;
- **Hold** – кнопка сохранения цвета линии границы при завершении редактирования. По умолчанию находится в не нажатом состоянии. Если кнопка не нажата, то после завершения редактирования, окраска линии границы изменяется на цвет, который выбран в раскрывающемся списке выбора цвета линий в не редактируемом состоянии (крайний справа среди выпадающих списков). Если кнопка **Hold** нажата, в не редактируемом состоянии линия границы имеет тот же цвет, что и в редактируемом;
- **Line** – кнопка выбора типа соединения узловых точек при создании и редактировании линии границы. Если кнопка не нажата (по умолчанию), то узловые точки между собой соединяются сплайном, если кнопка **Line** находится в нажатом состоянии, то узловые точки соединяются между собой прямыми линиями;
- **inBox** – кнопка создания или удаления полей ввода условий для границы слоя (более подробно см. в разделе <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>). Если одна из границ находится в режиме редактирования, то после нажатия на данную кнопку, поле ввода условий создаётся только для этой границы. В противном случае поле ввода создаётся для всех границ сразу. Для удаления поля ввода условий одной из границ следует щелчком мыши по её линии перевести границу в режим редактирования и один раз нажать кнопку **inBox**. Повторное нажатие на эту кнопку вновь создаст поле ввода для этой границы. Для удаления всех полей ввода одновременно, нужно, чтобы все существующие границы

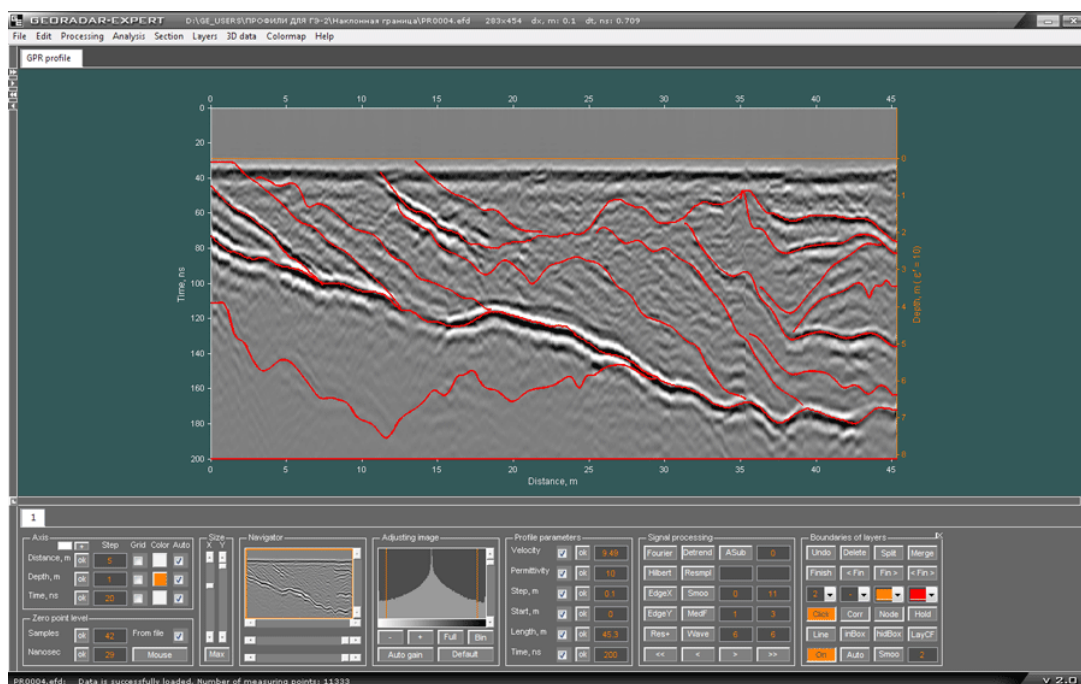
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

были в не редактируемом состоянии. После однократного нажатия на кнопку **inBox**, все поля ввода условий (программа попросит подтвердить удаление), будут удалены.


- **hidBox** – кнопка скрытия полей ввода условий без их удаления. Если поля ввода информации скрыты, то цвет кнопки **hidBox** становится темнее. Чтобы отобразить скрытые поля нужно ещё раз нажать на эту кнопку. Если одна из границ находится в режиме редактирования, то кнопка **hidBox** работает только для редактируемой границы;
- **LayCF** – кнопка создания локальной корректирующей функции для слоя. Более подробно см. в разделе <Локальная корректирующая функция для слоя>;
- **On** – кнопка включения режима нанесения границ вручную. Сразу после загрузки панели **Boundaries of Layers** данная кнопка находится в не нажатом состоянии и нанесение границ слоёв вручную не доступно;
- **Auto** – кнопка активации автоматического способа создания границы слоя, по экстремумам значений георадиолокационного профиля или разреза в заданном пользователем диапазоне вертикальных координат (глубин). Более подробно см. в разделе <Создание границы в автоматическом режиме>.
- **Smoo** – кнопка применения сглаживания линии границы. Граница должна быть создана автоматическим способом и находится в режиме редактирования. Окно ввода значения сглаживания в метрах расположено правее кнопки **Smoo**;
- Окно ввода параметра сглаживания. При создании границы в автоматическом режиме будет применено сглаживание с данным параметром в метрах. После создания границы в автоматическом режиме, всегда можно изменить степень сглаживания, изменив данный параметр и нажав кнопку **Smoo**. При этом граница должна быть переведена в режим редактирования.

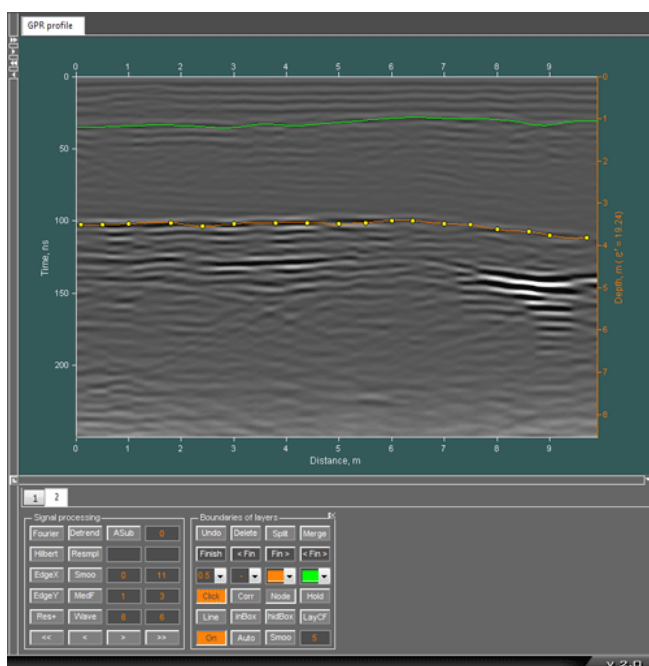
На рисунке ниже показано окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в режиме нанесения пользовательских границ:



Создание границы по узловым точкам

Чтобы создать границу слоя по узловым точкам, пользователь должен выполнить следующие действия:

1. Открыть панель **Boundaries of Layers** (если таковой нет в нижней группе вкладок), щёлкнув мышью по пункту меню **Create boundaries of Layers**, расположенному в группе меню **Layers**. Панель откроется в нижней группе вкладок;
2. Нажать кнопку **On** на панели **Boundaries of Layers**. В результате текущая вкладка области визуализации (если визуализируемые на этой вкладке данные поддерживают прокладку границ), изменит цвет с серого на тёмно-сине-зелёный. Цвет кнопки **On** в нажатом состоянии изменяется с серого на оранжевый;
3. Навести указатель мыши на область визуализации георадиолокационного профиля или разреза и однократно щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. В результате появится первая узловая точка линии границы (круглый маркер жёлтого цвета), а цвет кнопок сохранения изменений при редактировании и завершения построения границы **Finish**, **<Fin, Fin>** и **<Fin>** станет более тёмным;
4. Переместить указатель мыши в пределах области визуализации и ещё раз щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. В результате появится вторая узловая точка, которая будет автоматически соединена линией с первой узловой точкой.
5. Повторять пункт 4 нужное количество раз. Каждый раз, при создании новой узловой точки линия границы будет рассчитываться заново, в соответствии с типом линии, задаваемым кнопкой **Line**. Если данная кнопка находится в нажатом состоянии, то узловые точки соединяются прямыми линиями, если в не нажатом – то сплайнами. Цвет создаваемой линии границы слоя соответствует выбранному цвету в выпадающем списке, третьему слева среди выпадающих списков на панели **Boundaries of Layers**: ;
6. Для завершения создания границы слоя следует нажать одну из кнопок **Finish**, **<Fin, Fin>** или **<Fin>** (о назначении кнопок более подробно см. в разделе <Панель Boundaries of layers>).



Если в процессе создания линии границы требуется удалить одну, или несколько последних узловых точек, то следует воспользоваться кнопкой **Undo**.

На рисунке показана вкладка **GPR Profile** в режиме нанесения границ. Создание одной границы (зелёного цвета) уже завершено, другая граница находится в процессе нанесения. На линии границы отображаются маркеры узловых точек (жёлтого цвета). Ряд кнопок редактирования и завершения построения границы **Finish**, **<Fin, Fin>** и **<Fin>** имеют более тёмный, чем остальные кнопки, цвет.

Создание границы в непрерывном режиме (рисование мышью)

Чтобы нарисовать границу слоя мышью, пользователь должен выполнить следующие действия:

1. Открыть панель **Boundaries of Layers** (если таковой нет в нижней группе вкладок), щёлкнув мышью по пункту меню **Create boundaries of Layers**, расположенному в группе меню **Layers**. Панель откроется в нижней группе вкладок;
2. Нажать кнопку **On** на панели **Boundaries of Layers**. В результате текущая вкладка области визуализации (если визуализируемые на этой вкладке данные поддерживают прокладку границ), изменит цвет с серого на тёмно-сине-зелёный. Цвет кнопки **On** в нажатом состоянии изменяется с серого на оранжевый;
3. Навести указатель мыши на область визуализации, нажать на левую или правую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом положении, перемещать указатель мыши в пределах осей визуализации – рисуемая линия границы будет повторять траекторию движения указателя мыши;
4. Для завершения рисования границы следует остановить перемещение указателя и отжать кнопку мыши. Граница будет создана.
5. Для создания новой границы требуется повторить пункты 3 и 4 данного раздела.

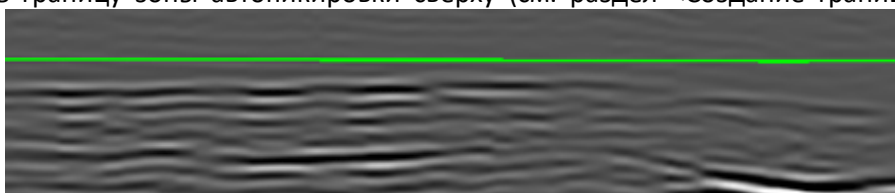
Создание границы в автоматическом режиме

В автоматическом режиме пользователь грубо, несколькими щелчками мыши, определяет область расположения автоматически пикируемой границы, после чего запускается процесс автопикировки по экстремумам значений в заданной пользователем области.

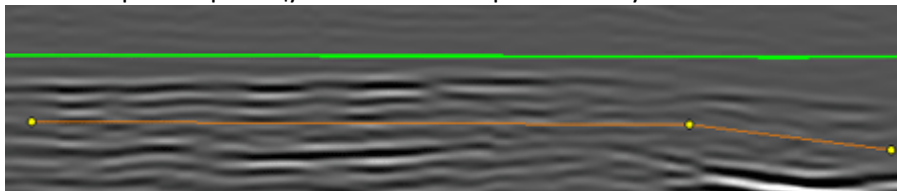
Чтобы создать границу слоя в автоматическом режиме пользователь должен выполнить следующие действия:

1. Открыть панель **Boundaries of Layers** (если таковой нет в нижней группе вкладок), щёлкнув мышью по пункту меню **Create boundaries of Layers**, расположенному в группе меню **Layers**. Панель откроется в нижней группе вкладок;
2. Нажать кнопку **On** на панели **Boundaries of Layers**. В результате текущая вкладка области визуализации (если визуализируемые на этой вкладке данные поддерживают прокладку границ), изменит цвет с серого на тёмно-сине-зелёный. Цвет кнопки **On** в нажатом состоянии изменяется с серого на оранжевый;
3. Задать окно сглаживания линии границы в метрах (окно ввода параметра левее кнопки **Smoo**);
4. Нажать кнопку **Auto**. Данная кнопка будет находиться в нажатом состоянии на протяжении всего процесса создания границы в автоматическом режиме. После создания границы кнопка переходит в не нажатое состояние;
5. Если кнопка **Click** находится в не нажатом состоянии – перевести данную кнопку в нажатое состояние;
6. Построить границу зоны автопикировки сверху (см. раздел <Создание границы по узловым

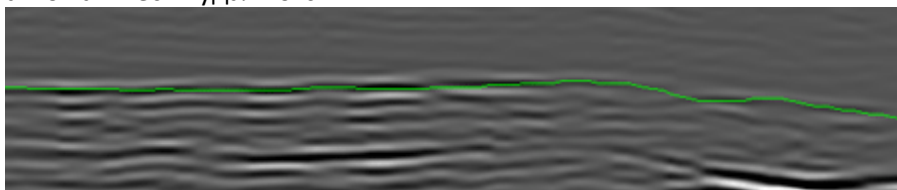
точкам>):



7. Начать строить границу зоны автопикировки снизу:



8. Нажать кнопку завершения прокладки границы слоя **<Fin>** (или одну из кнопок **Finish**, **<Fin** или **Fin>**). После нажатия кнопки завершения прокладки выполняется процесс автопикировки в рамках заданной зоны, граница создаётся, а вспомогательные границы зоны автопикировки автоматически удаляются:



Редактирование границы

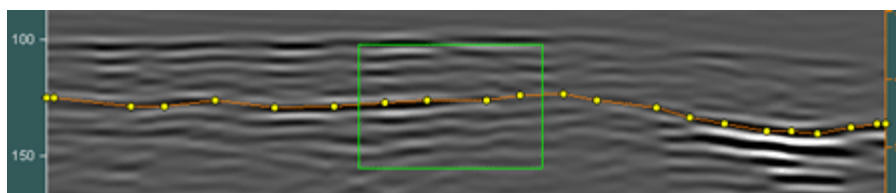
Чтобы перевести границу слоя в режим редактирования, надо навести указатель мыши на линию границы, и щёлкнуть левой или правой кнопкой мыши. Граница изменит цвет и отобразятся маркеры узловых точек (если кнопка **Node** находится в нажатом положении). В режиме редактирования доступны следующие операции над линией границы:

Добавление узловых точек линии границы

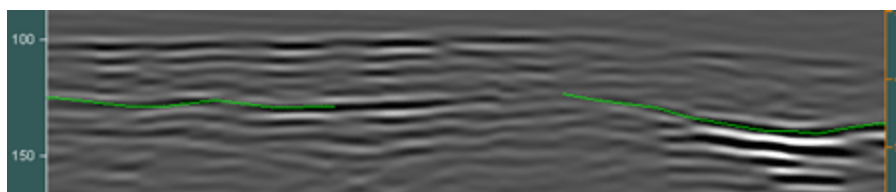
Добавлять узловые точки одним щелчком мыши можно по краям границы и, если нажата кнопка **Corr**, между существующими узловыми точками. Если указатель мыши находится под или над существующей узловой точкой, то по щелчку левой кнопкой мыши эта точка перемещается по вертикальной координате на место положения указателя.

Разделение границы на две части

Чтобы разделить линию границы на две части, надо перевести кнопку **Split** в нажатое положение, переместить указатель мыши выше линии границы, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом положении, переместить указатель мыши по диагонали, создавая прямоугольное выделение, захватывающее требующие удаления узлы:



При отпускании кнопки мыши узловые точки, попавшие в область выделения, удаляются, и создаются две новые границы слоя, а кнопка **Split** переходит в не нажатое состояние:

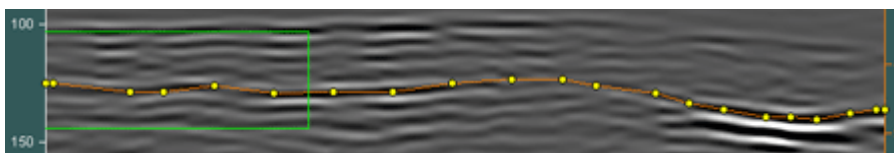


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

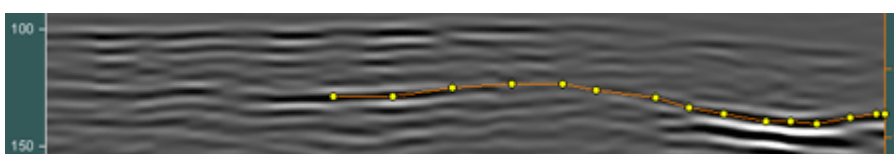
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Обрезка границы

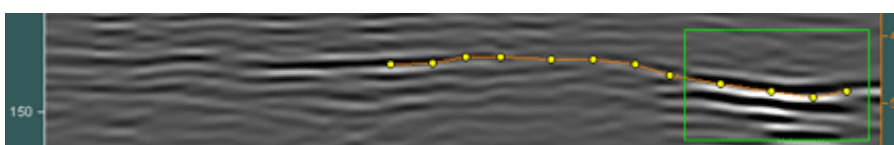
Для обрезки границы слева требуется выполнить действия, похожие на действия по разделению границы на две части, только указатель мыши должен располагаться в начале границы после обрезки, а движение мыши при создании области выделения должно быть справа налево:



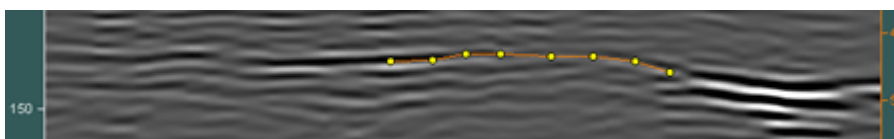
При отпускании кнопки мыши узловые точки, попавшие в область выделения, удаляются, и граница обрезается слева, а кнопка **Split** переходит в не нажатое состояние:



Те же действия следует выполнить для обрезки границы справа, только указатель мыши должен располагаться в конце границы после обрезки, а движение мыши при создании области выделения должно быть слева направо:

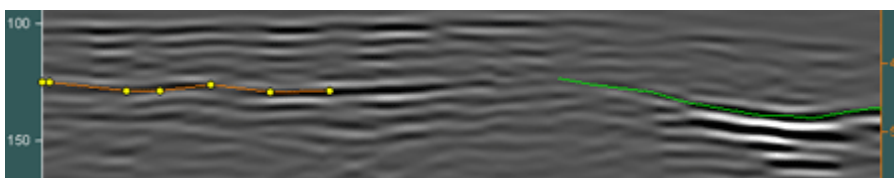


При отпускании кнопки мыши узловые точки, попавшие в область выделения, удаляются, и граница обрезается справа, а кнопка **Split** переходит в не нажатое состояние:

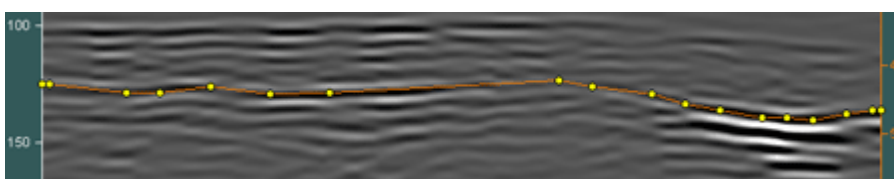


Объединение двух границ

Для того чтобы объединить две границы слоя в одно целое, следует одну из границ перевести в режим редактирования:



После перевода одной из объединяемых границ в режим редактирования, следует перевести кнопку **Merge** в нажатое положение, навести указатель мыши на вторую границу и однократно щёлкнуть мышью. Границы объединятся в одно целое, а кнопка **Merge** перейдёт в не нажатое положение:

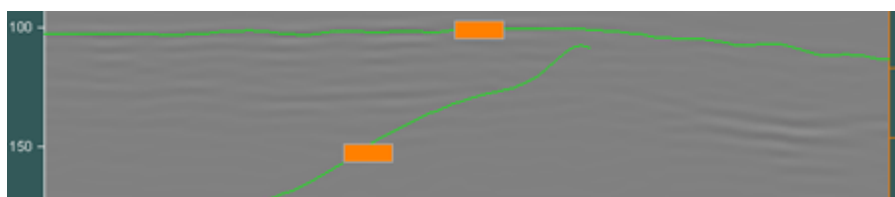


Удаление узловых точек

Для удаления узловых точек сначала требуется выполнить действия по разделению границы на две части, а затем действия по объединению получившихся двух границ в одно целое.

Поле ввода условий построения разреза для границы слоя

Для размещения информации (т.н. условий), которая будет использована программой во время построения разреза с учётом существующих на георадиолокационном профиле границ, предусмотрено создание полей ввода условий. Поле ввода условий представляет собой небольшое окно ввода оранжевого цвета, прикрепленное к линии границы слоя:



В поле ввода вводятся условия, которые выполняются программой во время построения разреза с учётом границ слоёв. Условие применяется к слою, ограниченному снизу линией, к которой принадлежит поле ввода информации (более подробно см. раздел <Принцип формирования слоёв>).

Чтобы ввести условие, нужно щёлкнуть мышью поле ввода, после чего внутри этого поля будет мигать курсор ввода и пользователь может вводить при помощи клавиатуры компьютера выражение условия. После ввода выражения условия, горизонтальный размер окна ввода автоматически подгоняется по длине введенного выражения.

Условие вводится в виде выражения, или двух выражений, между которыми расположен вертикальный разделитель: **Условие1|Условие2**. **Условие1** - условие, расположенное левее вертикального разделителя, является условием для разреза **Re(permittivity)**, который рассчитывается всегда, вне зависимости от атрибута разреза (разрез данного атрибута строится в процессе расчета разрезов всех атрибутов (кроме своего собственного) в качестве вспомогательного, на основании значений которого производится коррекция участков разреза основного атрибута по глубине).

Условие2 – условие, расположенное правее вертикального разделителя, является условием для основного атрибута разреза. Если строится разрез атрибута **Re(permittivity)**, то выражение в поле ввода информации состоит из одного условия, без вертикального разделителя.

Если строится разрез другого атрибута (не **Re(permittivity)**) и для вспомогательного атрибута **Re(permittivity)** не требуется определять условие, а условие вводится только для основного атрибута, то выражение выглядит так: **|Условие2**.

В поле ввода информации могут вводиться следующие условия:

- **Цифровое значение** – все значения разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, принимают данное значение. Например:
 - - все значения внутри слоя на разрезе атрибута **Re(permittivity)** равны 9;
 - - все значения внутри слоя на вспомогательном разрезе атрибута **Re(permittivity)** равны 9, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя равны 5;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **|5** - все значения внутри слоя на вспомогательном разрезе атрибута **Re(permittivity)** не изменяются, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя, все значения равны 5;
- **Диапазон значений** - все значения разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, пересчитываются в соответствии с данным диапазоном значений. Например:
 - **4.5-9** - все значения внутри слоя на разрезе атрибута **Re(permittivity)** пересчитываются в диапазон от 4.5 до 9;
 - **4.5-9|250-350** - все значения внутри слоя на разрезе атрибута **Re(permittivity)** пересчитываются в диапазон от 4.5 до 9, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя значения атрибута пересчитываются в диапазон от 250 до 350;
 - **|250-350** - все значения внутри слоя на вспомогательном разрезе атрибута **Re(permittivity)** не изменяются, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя, значения атрибута пересчитываются в диапазон от 250 до 350;
- **=** – все значения разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, принимают среднее арифметическое значение атрибута внутри этого слоя. Например:
 - **=** - все значения внутри слоя на разрезе атрибута **Re(permittivity)** равны среднему арифметическому значению атрибута внутри этого слоя;
 - **9-12|=** - все значения внутри слоя на разрезе атрибута **Re(permittivity)** пересчитываются в диапазон от 9 до 12, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя значения равны среднему арифметическому значению атрибута внутри этого слоя;
- **==** – значения каждого столбца матрицы атрибута разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, становятся равными средней арифметической величине, рассчитанной по значениям атрибута соответствующего столбца, расположенным в пределах этого слоя. Например, **9-12|==**;
- **min** - все значения разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, принимают минимальное значение атрибута внутри этого слоя;
- **max** - все значения разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, принимают максимальное значение атрибута внутри этого слоя;
- **min=** - значения каждого столбца матрицы атрибута разреза внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, становятся равными минимальной величине из значений атрибута соответствующего столбца, расположенных в пределах этого слоя. Например, **9-12|min=**. Более подробно см. в разделе <Построение разреза с учётом границ слоёв>;
- **max=** - тоже самое, что и в предыдущем пункте, только равные максимальной величине. Например, **9-12|max=**. Более подробно см. в разделе <Построение разреза с учётом границ слоёв>;

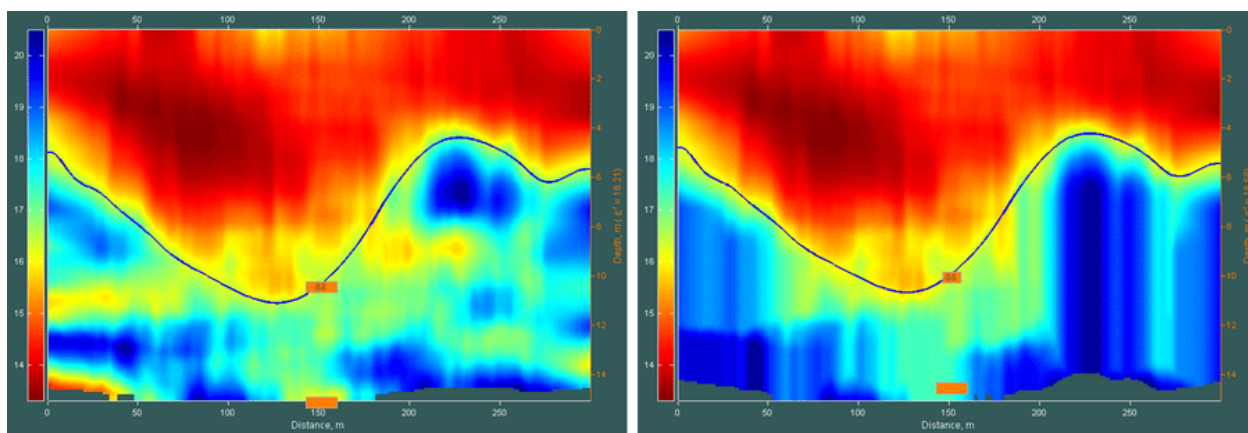
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

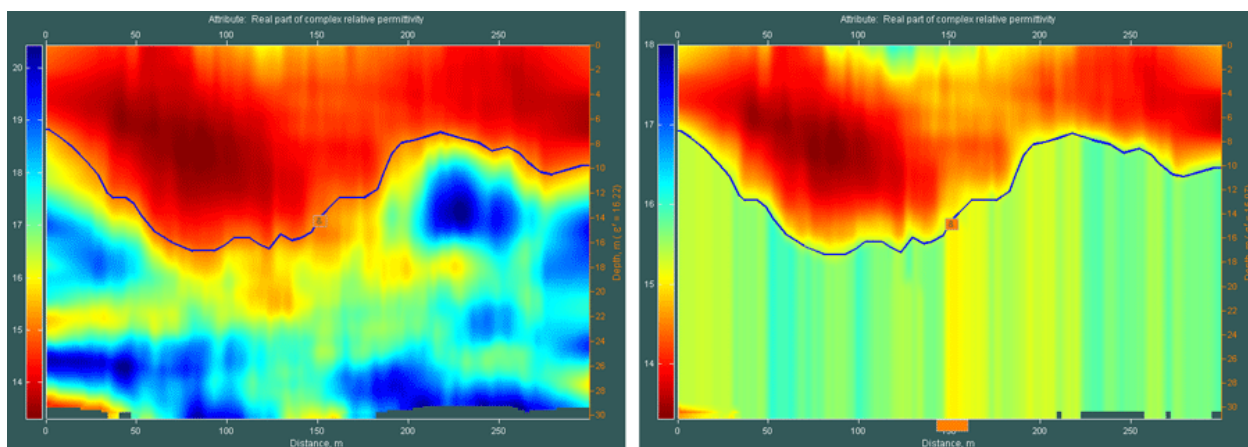
Все вышеперечисленные выражения действуют для полей ввода, которые принадлежат границам, проложенным по георадиолокационному профилю на вкладке **GPR profile**. Для границы, проложенной по уже построенному разрезу на вкладке **Section**, существуют только два выражения условия, которые влияют на процесс построения разреза:

- **&** - ниже линии границы, которой принадлежит поле ввода с данным символом, значение атрибута по мере увеличения глубины уменьшается, если оно меньше предыдущего, или становится равным предыдущему, если оно больше предыдущего значения;
- **&&** - ниже линии границы, которой принадлежит поле ввода с данным символом, значение атрибута по мере увеличения глубины увеличивается, если оно больше предыдущего, или становится равным предыдущему, если оно меньше предыдущего значения.

На рисунке ниже слева показан разрез, на который пользователь нанёс границу и прикрепил к ней поле ввода условия с выражением **&&** - т.е. увеличения значения атрибута с возрастанием глубины. На рисунке справа показан результат повторного построения разреза с учётом данного условия.



На рисунке ниже слева показан разрез, на который пользователь нанёс границу и прикрепил к ней поле ввода условия с выражением **&** - т.е. уменьшения значения атрибута с возрастанием глубины. На рисунке справа показан результат повторного построения разреза с учётом данного условия.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если в поле ввода условий присутствуют какие-либо другие символы или поле ввода остаётся пустым, то при построении разреза значения, расположенные внутри слоя, ограниченного снизу границей, которой принадлежит поле ввода, не изменяются.

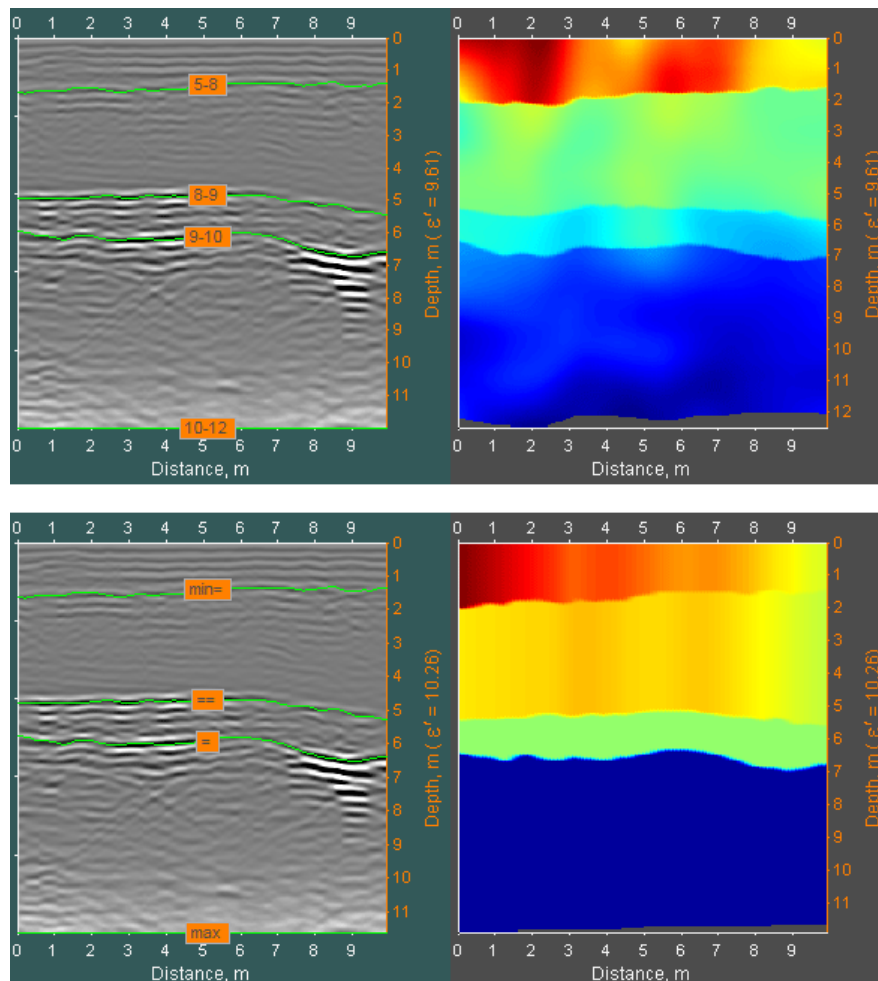
Для того, чтобы отобразить поля ввода условий сразу для всех существующих границ, следует редактируемую границу (если таковая присутствует) перевести в не редактируемый режим при помощи кнопок **Finish**, **<Fin, Fin>** или **<Fin>**, и нажать кнопку **inBox**.

Для удаления всех существующих полей ввода условий, следует ещё раз нажать кнопку **inBox** – программа спросит пользователя, действительно ли он хочет удалить все поля ввода и, если пользователь нажмёт кнопку **Yes** на диалоговой панели вопроса, удалит их.

Чтобы отобразить или удалить поле ввода условий для одной границы, её следует перевести в редактируемый режим и нажать кнопку **inBox** – если поля ввода у этой границы отсутствуют – оно будет создано, а если присутствует – оно будет удалено.

Построение разреза с учётом границ слоёв

На рисунках ниже показаны примеры построения разреза с учётом проложенных на георадиолокационном профиле границ с полями ввода условий. Слева размещено изображение георадиолокационного профиля с границами слоёв, справа – результат построения разреза с учётом информации, содержащейся в полях ввода (более подробно см. в разделе <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>):




Если у границы поле ввода условий не создано, или в поле ввода отсутствует информация, или она не соответствует условиям, описанным в разделе <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>, то наличие границы не учитывается при построении разреза.

Локальная корректирующая функция для слоя

Информация о корректирующей функции (КФ) размещена в разделах <Корректирующая функция>, <Настройки корректирующей функции>, <Построение корректирующей функции в автоматическом режиме> и <Построение корректирующей функции в ручном режиме>. В этих разделах КФ – это корректирующая функция, которая рассчитывается на основе данных анализа BSEF всего георадиолокационного профиля.

Однако, корректирующую функцию можно строить не только для всего профиля, но и для каждого слоя индивидуально. Корректирующая функция, построенная на основе данных анализа BSEF, содержащихся внутри слоя, называется локальной корректирующей функцией (ЛКФ). При построении разреза ЛКФ корректирует данные только внутри своего слоя.

Чтобы рассчитать ЛКФ для слоя, требуется выполнить следующие действия (полагается, что границы слоёв уже созданы):

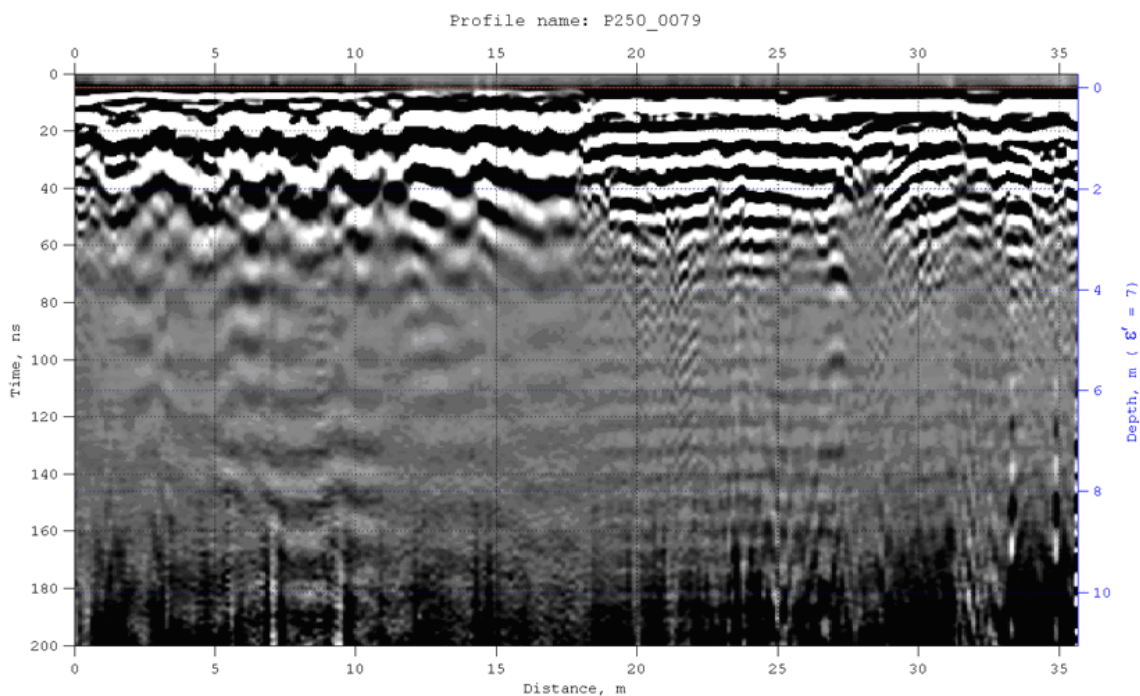
1. Перевести границу слоя в режим редактирования, наведя на линию границы указатель мыши и щёлкнув левой или правой кнопкой мыши;
2. Нажать кнопку **LayCF** на панели **Boundaries of Layers**. После того, как данная кнопка перейдёт в нажатое положение, графики на панелях визуализации данных анализа BSEF и корректирующих функций будут отображать данные не целого георадиолокационного профиля, а слоя, подошвой которого является выбранная граница (более подробно см. в разделе <Принцип формирования слоёв>). После перевода кнопки **LayCF** в нажатое состояние, поле ввода условий, если таковое у выбранной границы существует, изменит свой цвет с оранжевого на зелёный. Если поле ввода отсутствует, то оно будет создано автоматически и, также, будет иметь зелёный цвет.
3. Если требуется, уточнить диапазоны значимых атрибутов (см. раздел <Ограничение диапазона значимых атрибутов>), выбрать тип ЛКФ и параметры её построения (см. разделы <Настройки корректирующей функции> и <Построение корректирующей функции в автоматическом режиме>). Можно построить КФ вручную (см. раздел <Построение корректирующей функции в ручном режиме>). Если после нажатия на кнопку **LayCF** ЛКФ не нуждается в настройке, то можно сразу перейти к следующему пункту последовательности действий;
4. Ещё раз нажать кнопку **LayCF** на панели **Boundaries of Layers**. Кнопка перейдёт в не нажатое состояние, а данные корректирующей функции для слоя будут сохранены для дальнейшего использования во время построения разреза. После перевода кнопки **LayCF** в не нажатое состояние, поле ввода условий изменит свой цвет с зелёного на оранжевый, и будет содержать символ %, который является условием применения локальной корректирующей функции при построении разреза: . Если граница слоя содержит данные ЛКФ, но в поле ввода отсутствует символ %, то при построении разреза, ЛКФ применяться не будет.

При сохранении данных границ слоёв в файл с расширением **gelay**, данные ЛКФ также сохраняются. Более подробно о сохранении и загрузке данных границ слоёв см. в разделе <Сохранение и загрузка границ слоёв>.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

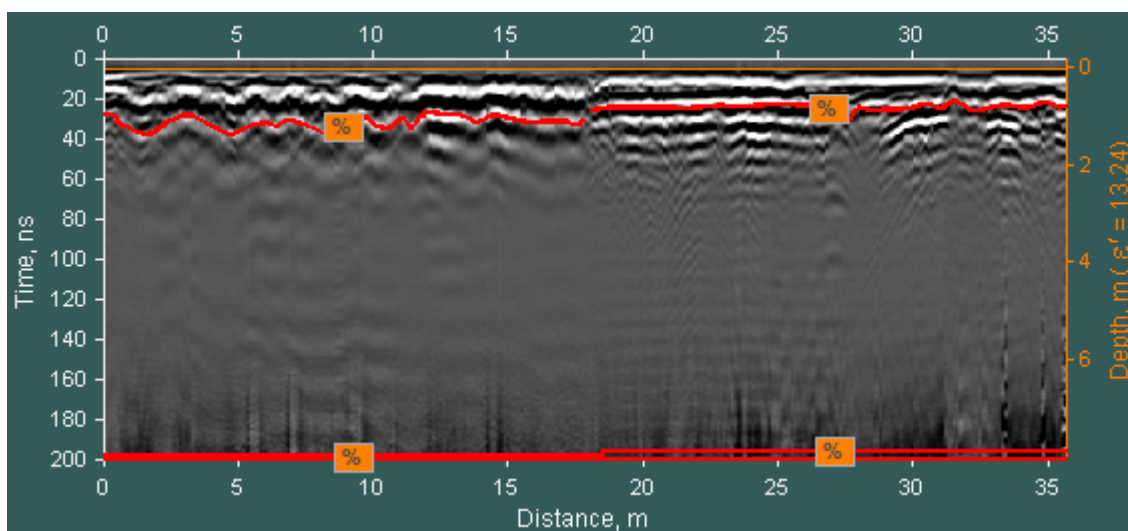
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Применять ЛКФ рекомендуется в случае неоднородности разреза, которая визуально выражается в заметном изменении характера волновой картины в пределах георадиолокационного профиля. На рисунке ниже показан пример подобного профиля (характер отражённых волн резко меняется с отметки 18 метров по шкале расстояний):



GEORADAR-EXPERT 2.0 Licensee: Денисов Р.Р., georadar-expert.ru

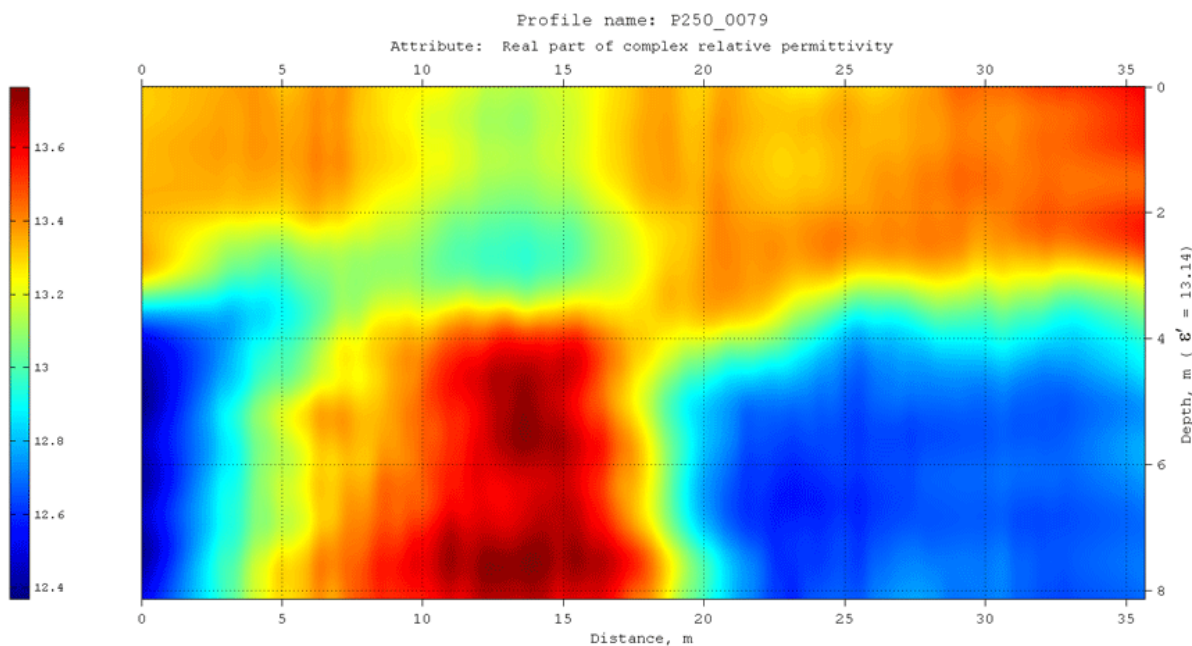
В этом случае рекомендуется рассчитать ЛКФ для каждого участка профиля. Для этого пользователю нужно создать для каждого участка с однотипным характером волновой картины границу слоя и для каждой границы выполнить последовательность действий по созданию ЛКФ, как описано в данном разделе. На рисунке ниже показано изображение георадиолокационного профиля с границами слоёв, для которых рассчитывалась ЛКФ:



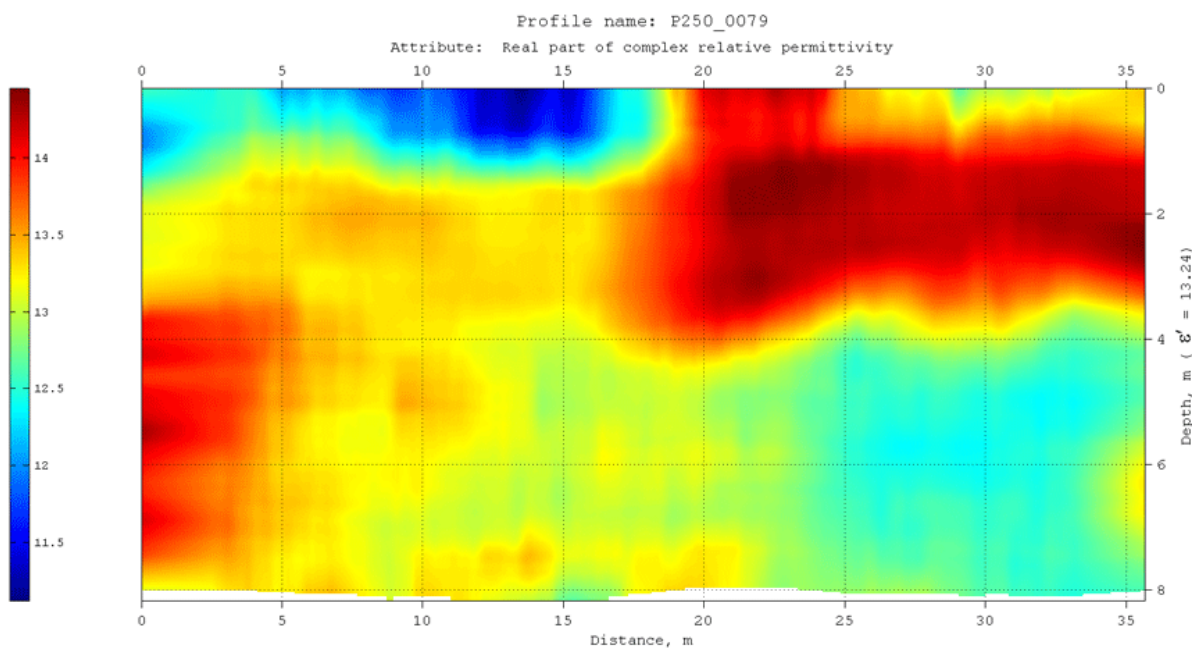
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На следующем рисунке представлен разрез диэлектрической проницаемости, построенный без ЛКФ – т.е. корректирующая функция рассчитывалась для всего разреза. В случае сильно неоднородного разреза КФ выражает весьма приблизительную зависимость между диэлектрической проницаемостью и частотными характеристиками отражённых сигналов см. раздел <Корректирующая функция>. В результате построенный разрез в некоторых местах не соответствует априорной информации – т.е. имеет невысокую достоверность:

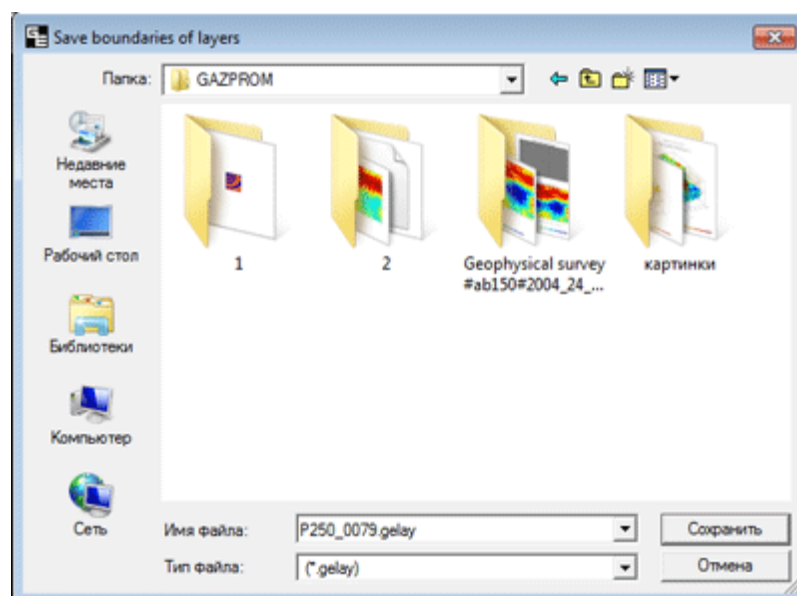


А это результат с применением ЛКФ. Очевидно, что применение ЛКФ для сильно неоднородного разреза исправляет искажения, вызванные излишне обобщённой КФ, и даёт более детализированную картину:



Сохранение и загрузка границ слоёв

Границы слоёв, проложенные на георадиолокационном профиле или разрезе, можно сохранять в файл с расширением **gelay**. Для этого следует воспользоваться пунктом меню **Save Boundaries of Layers**, расположенном в группе меню **Layers**. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется стандартное окно сохранения файла, в котором пользователь может выбрать директорию сохранения и имя сохраняемого файла. По умолчанию директорией сохранения является место расположения георадиолокационного профиля, а имя файла – имя файла профиля с расширением **gelay**.



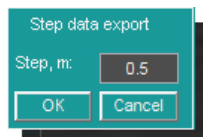
В файл данных границ слоёв, помимо положения линий границ, сохраняется информация о наличии и содержимом полей ввода условий, а также данные о локальных корректирующих функциях.

Чтобы загрузить границы слоёв из файла с расширением **gelay**, следует воспользоваться пунктом меню **Load Boundaries of Layers**, расположенном в группе меню **Layers**. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется стандартное окно открытия файла, в котором пользователь может выбрать требуемый файл с расширением **gelay** и нажать кнопку открытия. Если панель управления построением границ слоёв **Boundaries of Layers** ещё не открыта, она будет загружена в нижнюю группу вкладок автоматически.

Информацию о границах слоёв можно сохранить и в файл параметров построения разреза с расширением **geprm**, а также загрузить границы из такого файла. Более подробно см. в разделе <Сохранение и загрузка параметров построения разреза>.

Сохранение данных по слоям в таблицу

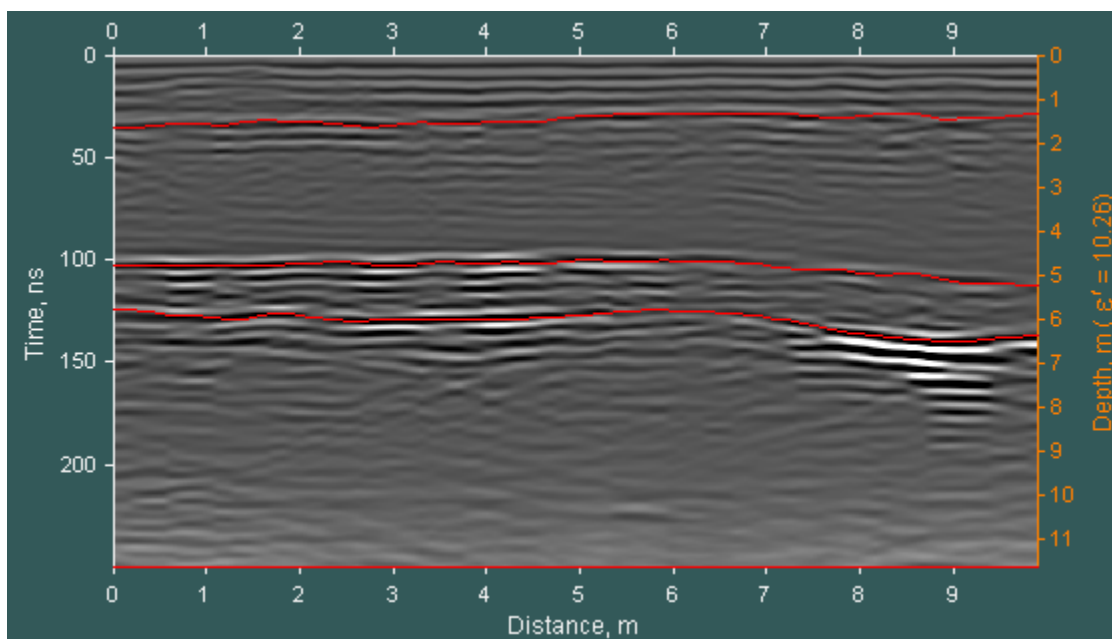
Чтобы сохранить данные границ слоёв в электронную таблицу формата MS Excel **xls** с заданным шагом (в метрах), следует воспользоваться пунктом меню **Save Table of Layer**, расположенном в группе меню **Layers**. После щелчка мыши по данному пункту меню отобразится модальное окно выбора шага экспорта данных в таблицу:



По умолчанию, значение шага экспорта в окне параметра **Step, m** равно шагу записи георадиолокационного профиля, которому принадлежат пользовательские границы.

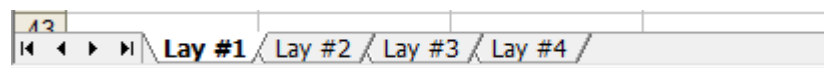
После нажатия кнопки **OK** запустится процесс формирования таблицы с последующим её автоматическим сохранением в директорию нахождения файла профиля. Для отмены экспорта следует нажать кнопку **Cancel**.

На рисунке ниже представлен георадиолокационный профиль с границами слоёв, результат экспорта данных которых будет представлен далее:



При формировании таблицы, слоям присваиваются порядковые номера в соответствии со средним значением глубины положения нижней границы слоя (см. раздел <Принцип формирования слоёв>). Так слою с наименьшим значением средней глубины положения нижней границы будет присвоен номер 1, и так далее, в порядке возрастания средней глубины. Самый нижний слой, имеющий нижнюю границу, созданную автоматически при активации режима пользовательских границ, будет иметь самое большое значение номера.

Таблица каждого слоя размещена на своей вкладке с именем, состоящим из номера слоя:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Таблица слоя состоит из следующих столбцов:

- **Distance, m** – расстояние от начала профиля в метрах по шкале расстояний;
- **Top, m** – положение верхней границы (кровли) слоя в метрах по шкале глубин;
- **Bottom, m** – положение нижней границы (подшвы) слоя в метрах по шкале глубин;
- **Thickness, m** – толщина слоя в метрах.

В самой верхней строке таблицы отображается имя профиля и номер слоя. Предпоследней строкой таблицы является строка **Mean**, в ячейках которой отображаются средние значения по каждому столбцу. В самой нижней строке содержится информация о площади слоя в квадратных метрах.

На рисунке ниже показан результат экспорта данных слоёв с шагом 0.5 метров:

| Profile name: P906 000 001, lay #1 | | | |
|---------------------------------------|--------|-----------|--------------|
| Distance, m | Top, m | Bottom, m | Thickness, m |
| 0 | 0 | 1.653 | 1.653 |
| 0.5 | 0 | 1.604 | 1.604 |
| 1 | 0 | 1.592 | 1.592 |
| 1.5 | 0 | 1.506 | 1.506 |
| 2 | 0 | 1.506 | 1.506 |
| 2.5 | 0 | 1.608 | 1.608 |
| 3 | 0 | 1.611 | 1.611 |
| 3.5 | 0 | 1.579 | 1.579 |
| 4 | 0 | 1.543 | 1.543 |
| 4.5 | 0 | 1.543 | 1.543 |
| 5 | 0 | 1.406 | 1.406 |
| 5.5 | 0 | 1.359 | 1.359 |
| 6 | 0 | 1.36 | 1.36 |
| 6.5 | 0 | 1.358 | 1.358 |
| 7 | 0 | 1.359 | 1.359 |
| 7.5 | 0 | 1.399 | 1.399 |
| 8 | 0 | 1.396 | 1.396 |
| 8.5 | 0 | 1.338 | 1.338 |
| 9 | 0 | 1.467 | 1.467 |
| 9.5 | 0 | 1.432 | 1.432 |
| Mean | 0 | 1.481 | 1.481 |
| Sectional area of layer: 14.81 sq. m. | | | |

| Profile name: P906 000 001, lay #2 | | | |
|---------------------------------------|--------|-----------|--------------|
| Distance, m | Top, m | Bottom, m | Thickness, m |
| 0 | 1.653 | 4.811 | 3.159 |
| 0.5 | 1.604 | 4.811 | 3.208 |
| 1 | 1.592 | 4.81 | 3.219 |
| 1.5 | 1.506 | 4.816 | 3.31 |
| 2 | 1.506 | 4.775 | 3.269 |
| 2.5 | 1.608 | 4.738 | 3.13 |
| 3 | 1.611 | 4.823 | 3.212 |
| 3.5 | 1.579 | 4.738 | 3.159 |
| 4 | 1.543 | 4.765 | 3.222 |
| 4.5 | 1.543 | 4.774 | 3.231 |
| 5 | 1.406 | 4.689 | 3.283 |
| 5.5 | 1.359 | 4.705 | 3.346 |
| 6 | 1.36 | 4.699 | 3.34 |
| 6.5 | 1.358 | 4.727 | 3.368 |
| 7 | 1.359 | 4.811 | 3.453 |
| 7.5 | 1.399 | 4.897 | 3.498 |
| 8 | 1.396 | 4.987 | 3.591 |
| 8.5 | 1.338 | 4.993 | 3.655 |
| 9 | 1.467 | 5.181 | 3.713 |
| 9.5 | 1.432 | 5.215 | 3.783 |
| Mean | 1.481 | 4.838 | 3.357 |
| Sectional area of layer: 33.57 sq. m. | | | |

| Profile name: P906 000 001, lay #3 | | | |
|---------------------------------------|--------|-----------|--------------|
| Distance, m | Top, m | Bottom, m | Thickness, m |
| 0 | 4.811 | 5.803 | 0.992 |
| 0.5 | 4.811 | 5.913 | 1.102 |
| 1 | 4.81 | 5.987 | 1.177 |
| 1.5 | 4.816 | 5.992 | 1.177 |
| 2 | 4.775 | 5.95 | 1.175 |
| 2.5 | 4.738 | 6.071 | 1.333 |
| 3 | 4.823 | 6.041 | 1.218 |
| 3.5 | 4.738 | 6.029 | 1.291 |
| 4 | 4.765 | 6.059 | 1.294 |
| 4.5 | 4.774 | 6.015 | 1.241 |
| 5 | 4.689 | 5.955 | 1.265 |
| 5.5 | 4.705 | 5.853 | 1.148 |
| 6 | 4.699 | 5.84 | 1.14 |
| 6.5 | 4.727 | 5.892 | 1.165 |
| 7 | 4.811 | 5.999 | 1.187 |
| 7.5 | 4.897 | 6.185 | 1.288 |
| 8 | 4.987 | 6.381 | 1.395 |
| 8.5 | 4.993 | 6.482 | 1.489 |
| 9 | 5.181 | 6.545 | 1.365 |
| 9.5 | 5.215 | 6.464 | 1.249 |
| Mean | 4.838 | 6.073 | 1.235 |
| Sectional area of layer: 12.35 sq. m. | | | |

| Profile name: P906 000 001, lay #4 | | | |
|---------------------------------------|--------|-----------|--------------|
| Distance, m | Top, m | Bottom, m | Thickness, m |
| 0 | 5.803 | 11.606 | 5.803 |
| 0.5 | 5.913 | 11.606 | 5.693 |
| 1 | 5.987 | 11.606 | 5.62 |
| 1.5 | 5.992 | 11.606 | 5.614 |
| 2 | 5.95 | 11.606 | 5.656 |
| 2.5 | 6.071 | 11.606 | 5.535 |
| 3 | 6.041 | 11.606 | 5.566 |
| 3.5 | 6.029 | 11.606 | 5.577 |
| 4 | 6.059 | 11.606 | 5.547 |
| 4.5 | 6.015 | 11.606 | 5.591 |
| 5 | 5.955 | 11.606 | 5.652 |
| 5.5 | 5.853 | 11.606 | 5.754 |
| 6 | 5.84 | 11.606 | 5.766 |
| 6.5 | 5.892 | 11.606 | 5.715 |
| 7 | 5.999 | 11.606 | 5.608 |
| 7.5 | 6.185 | 11.606 | 5.421 |
| 8 | 6.381 | 11.606 | 5.225 |
| 8.5 | 6.482 | 11.606 | 5.125 |
| 9 | 6.545 | 11.606 | 5.061 |
| 9.5 | 6.464 | 11.606 | 5.142 |
| Mean | 6.073 | 11.606 | 5.534 |
| Sectional area of layer: 55.34 sq. m. | | | |

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Трёхмерная визуализация

Для получения наиболее полной информации о подповерхностной среде применяется метод площадного георадарного обследования, который заключается в том, что исследуемый объект (например, строительная площадка, дорожное полотно, поверхность железобетонной плиты перекрытия здания) покрывается сетью георадиолокационных профилей с точной привязкой их положения.

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена визуализация результатов площадного георадарного обследования в виде 3D сборки разрезов, полученных на основе анализа BSEF георадиолокационных профилей неодинаковой длины и произвольной ориентации.

3D сборка формируется из файлов данных разреза с расширением **xzd** (X-coordinate and Z-coordinate Data). Для сохранения данных уже построенного разреза в файл **xzd**, следует воспользоваться кнопкой **Save for 3D** на панели **Section** или пунктом меню **Save Section in XZD**, расположенным в группе меню **Section**.

Для сохранения данных в формате **xzd** в пакетном режиме построения разрезов, перед запуском пакетного режима следует отметить флажок **Batch xzd** на панели **Section** (более подробно о пакетном режиме см. в разделе <Построение разреза в пакетном режиме>).

Создание 3D сборки разрезов по координатам XY

Когда георадарные профили, на основе которых были получены разрезы для формирования 3D сборки, представляют собой прямые линии, то для позиционирования каждого разреза в 3D сборке необходима информация о положении двух точек – начала и конца соответствующего георадарного профиля. Эта информация размещается в электронной таблице формата **MS Excel** с расширением **xls** или **xlsx** и произвольным именем файла. На рисунке ниже представлен пример такой таблицы координат:

| | A | B | C | D | E |
|----|-----|--------|-------|--------|--------|
| 1 | P07 | 108.92 | 4.24 | 141.1 | 23.37 |
| 2 | P08 | 107.9 | 9.11 | 135.26 | 29.62 |
| 3 | P09 | 106.06 | 19.8 | 130.24 | 36.82 |
| 4 | P10 | 98.68 | 24.36 | 122.62 | 46.09 |
| 5 | P11 | 88.51 | 32.56 | 115.43 | 54.82 |
| 6 | P12 | 85.09 | 38.42 | 114.26 | 71.87 |
| 7 | P13 | 79.03 | 49.87 | 105.81 | 74.73 |
| 8 | P14 | 75.46 | 55.66 | 100.46 | 76 |
| 9 | P15 | 59.49 | 58.58 | 97.86 | 82.1 |
| 10 | P16 | 53.46 | 67.7 | 96.26 | 95.8 |
| 11 | P18 | 43.6 | 73.2 | 90.8 | 106.2 |
| 12 | P22 | 45.19 | 81.63 | 80.39 | 106.93 |
| 13 | P23 | 41.16 | 86.3 | 79.24 | 114.9 |
| 14 | P24 | 35.49 | 90.33 | 79.66 | 142.5 |
| 15 | P25 | 28.06 | 93.1 | 58.16 | 124.7 |
| 16 | P26 | 19.06 | 93.4 | 50.86 | 123 |
| 17 | P27 | 10.76 | 90.6 | 45.92 | 127.6 |
| 18 | P28 | 0.46 | 91.1 | 38.46 | 126.98 |

Таблица координат состоит из следующих столбцов:

- **A** – имена файлов данных разреза в формате **xzd**. Имена файлов пишутся без расширения. Например, файл данных разреза **P18.xzd** должен быть записан в столбец **A** как **P18**. Имя файла в столбце **A** должно точно совпадать с именем файла с расширением **xzd**, иначе, во время формирования 3D сборки программа выдаст ошибку;
- **B** – координата X начала профиля;
- **C** – координата Y начала профиля;
- **D** – координата X конца профиля;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

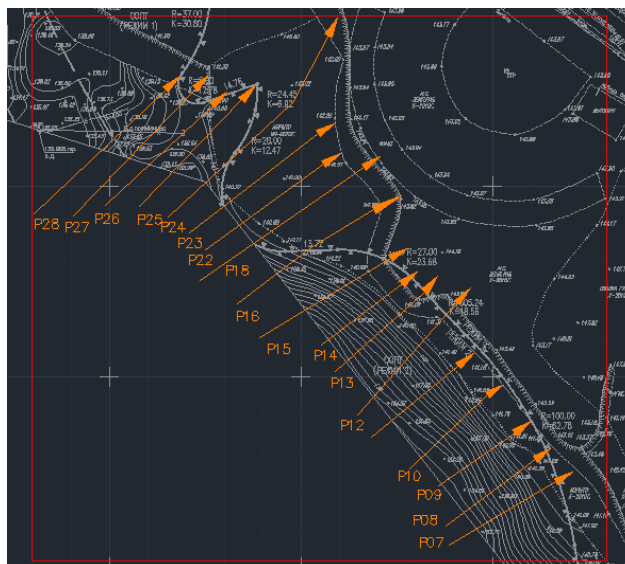
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **Е** – координата Y конца профиля.

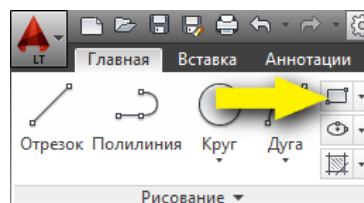
Удобно создавать таблицу координат для 3D сборки на основе таблицы объёма работ. Нужно создать таблицу объёма работ с файлами для 3D сборки (более подробно см. в <Таблица объёма работ>), после чего удалить в этой таблице самый верхний ряд, два самых нижних ряда и столбец **В**. В результате останется только столбец **А** с именами файлов. Далее в эту таблицу добавляются значения координат в столбцы **В С D E**, так как это будет показано ниже.

Для создания таблицы координат рекомендуется нанести положение георадиолокационных профилей на план местности в программе AutoCAD и создать вокруг площадки георадарного обследования прямоугольную рамку. Эта рамка служит ориентиром для измерения координат профилей и для наложения изображения сечения 3D сборки на план местности.

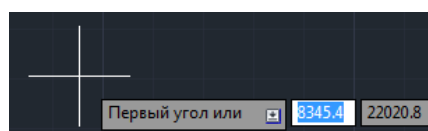
На рисунке ниже положение георадиолокационных профилей показано оранжевым цветом, имена профилей расположены в начале профиля, концу профиля соответствует острие стрелки, область площадки исследования заключена рамку красного цвета:



Чтобы получать значения координат, удобно использовать инструмент **Прямоугольник**, расположенный на вкладке **Главная**, в группе **Рисование** (для примера используется AutoCAD LT 2014):



Для активации инструмента **Прямоугольник** проще всего щёлкнуть левой кнопкой мыши по значку данного инструмента (жёлтая стрелка на рисунке выше указывает на этот значок). Когда инструмент **Прямоугольник** активирован, указатель мыши принимает вид перекрестья, рядом с которым отображаются окна со значениями координат перекрестья указателя:



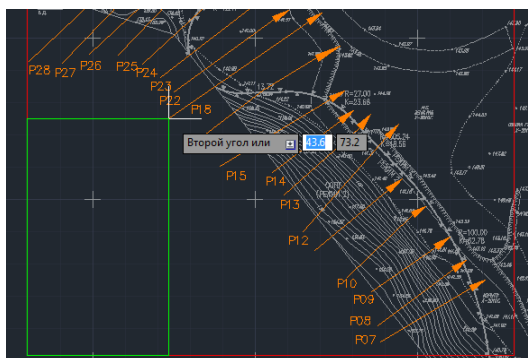
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

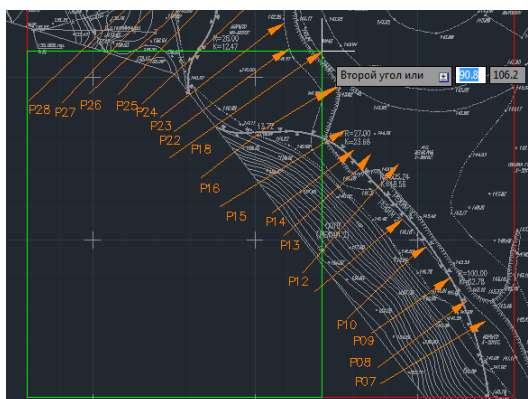
Первое окно слева служит для отображения координаты X, во втором окне отображается координата Y.

Чтобы создать точку отсчёта координат, пользователь наводит перекрестье указателя мыши на левый нижний угол рамки, ограничивающей площадку георадарного исследования на плане местности, и один раз щёлкает левой кнопкой мыши. Таким образом, закрепляется первый угол прямоугольника, от которого будут измеряться все расстояния. Для более точного позиционирования, можно включить объектную привязку (горячая клавиша **F3**).

После закрепления первого угла прямоугольника, пользователь перемещает указатель мыши в начало профиля на плане. Для примера, на рисунке ниже показаны координаты начала профиля **P18**:



Пользователь записывает значение из первого окна слева (43.6) в ячейку столбца **B**, расположенную в строке с именем профиля **P18**, а значение из второго окна (73.2) – в ячейку столбца **C**, после чего указатель мыши перемещается в конечную точку профиля на плане. Она соответствует острию стрелки на линии положения профиля:



Пользователь записывает значение из первого окна слева (90.8) в ячейку столбца **D**, а значение из второго окна (106.2) – в ячейку столбца **E**. На этом запись координат профиля **P18** завершена. Пользователь перемещает указатель мыши в начало следующего профиля на плане и повторяет действия по получению координат. Заполненную таблицу координат пользователь сохраняет в директорию расположения файлов с расширением **xzd**.

Если в таблице используются глобальные координаты, то необходимо ввести параметры точки отсчёта координат, положение которой соответствует положению левого нижнего угла прямоугольника. Координата X точки отсчёта вводится в поле F1, координата Y – в поле G1 (см. рисунок ниже).

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

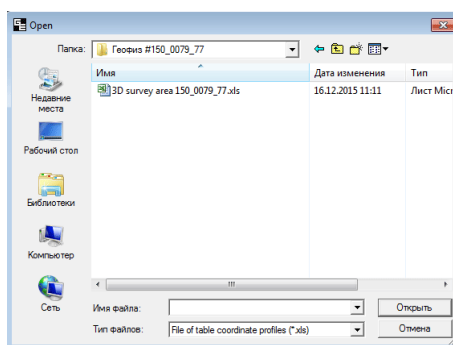
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

| | A | B | C | D | E | F | G |
|---|--------|----------|---------|----------|---------|------------|-------------|
| 1 | Пр01 | 686373.8 | 5114820 | 686389.8 | 5114819 | 686368.732 | 5114745.942 |
| 2 | Пр02 | 686373.5 | 5114817 | 686389.4 | 5114816 | | |
| 3 | Пр03 | 686373.2 | 5114815 | 686389.2 | 5114814 | | |
| 4 | Пр04_1 | 686373 | 5114812 | 686380.2 | 5114812 | | |
| 5 | Пр04_2 | 686380.2 | 5114812 | 686387 | 5114811 | | |
| 6 | Пр05_1 | 686372.9 | 5114810 | 686380.1 | 5114809 | | |

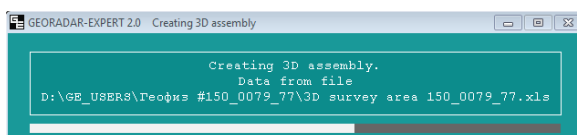
Перед запуском процесса формирования 3D сборки рекомендуется проверить следующее:

- Имена, размещённые в столбце **A** таблицы координат, должны совпадать с именами файлов разрезов с расширением **xzd**, но без этого расширения. Например, по имени **P18** программа во время формирования 3D сборки найдёт файл **P18.xzd**, а по имени **P 18** или **P18.xzd** – нет;
- Файл таблицы координат с расширением **xls** должен быть расположен в той же директории, что и файлы данных разреза для формирования 3D сборки с расширением **xzd**.

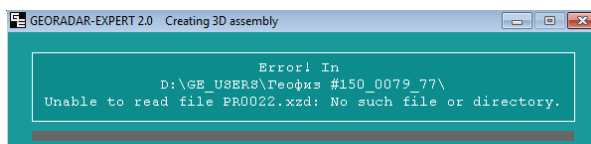
Создание 3D сборки запускается при помощи пункта меню **Create 3D Assembly by XY Coordinates**, расположенному в группе меню **3D Data**. Сначала откроется стандартное окно выбора файла электронной таблицы **xls** с координатами профилей для 3D сборки:



После того, как пользователь выберет файл таблицы координат и нажмёт кнопку открытия файла, автоматически запускается процесс формирования 3D сборки. Во время процесса формирования рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ скрыто, вместо него отображается информационная панель с индикатором выполнения:



Если во время формирования 3D сборки, хотя бы один из файлов, имя которого присутствует в таблице координат, не будет обнаружен в директории расположения файла таблицы, программа остановит процесс и сообщит об ошибке:



В этом случае следует закрыть информационную панель и запустить программу ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ заново.

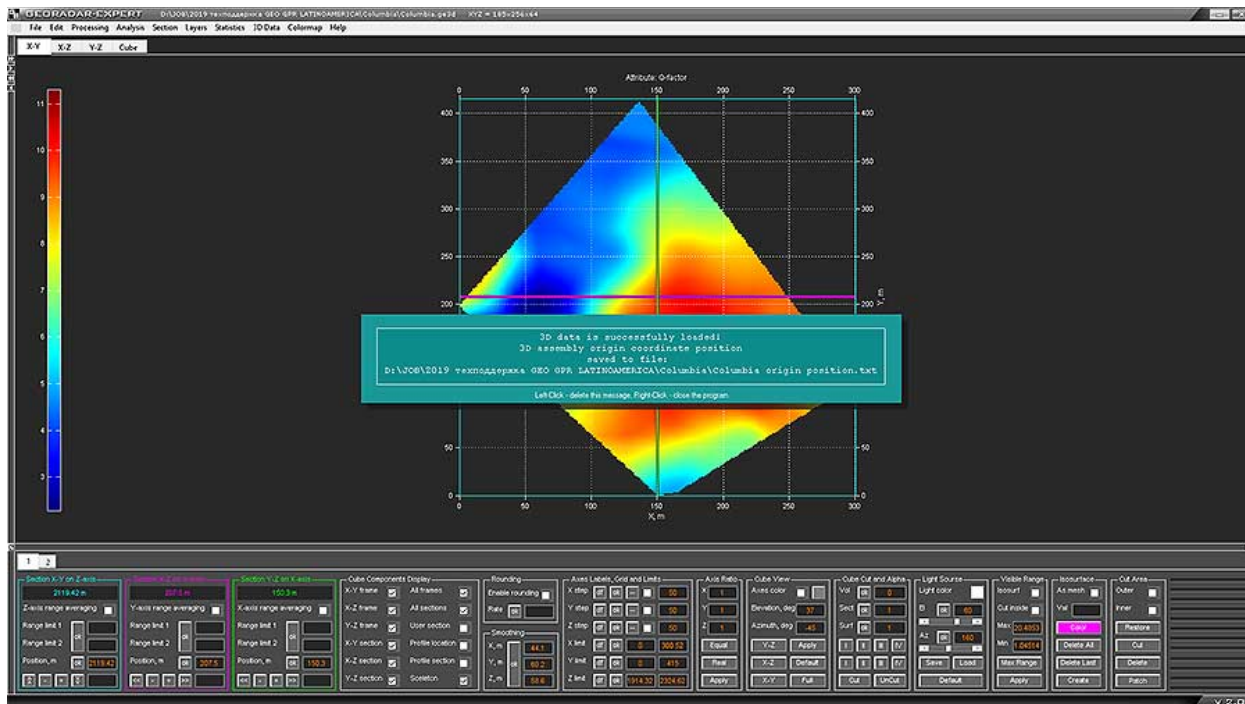
По окончании процесса формирования 3D сборки, её данные сохраняются в файл, который имеет такое же имя, что и файл таблицы координат, и расширение **ge3d**, после чего из этого файла 3D сборка загружается в программу.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В процессе загрузки производится оценка размеров памяти, которая выделяется операционной системой для программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, и по результатам этой оценки вычисляется оптимальный размер 3D сборки.

Информация о завершении процесса загрузки 3D сборки отобразится в информационной панели:



Если требуется самостоятельно задать размер 3D сборки, пользователю нужно создать в директории расположения файлов **xzd** файл с расширением **cubeseize**. Это легко сделать, создав при помощи контекстного меню, вызванного щелчком правой кнопки мыши в окне проводника windows, пустой текстовый файл и изменив его расширение с **txt** на **cubeseize**. Вся информация о размере создаваемой 3D сборки будет считываться из имени этого файла. Имя файла должно быть следующего вида: **xNyNzN**, где **x**, **y** и **z** - это обозначение осей 3D сборки, а **N** - это количество точек данных для оси, имя которой расположено левее значения **N**. Например, если в директории создания 3D сборки будет присутствовать файл с именем **x256y128z64.cubeseize**, то размер 3D куба будет равен 256 точкам по оси **X**, 128 точкам по оси **Y** и 64 точкам по оси **Z**.

Не рекомендуется задавать слишком большие размеры, т.к. использование оперативной памяти при этом резко возрастает и компьютер может зависнуть. Лучше всего использовать данный способ задания размера 3D сборки лишь в случае крайней необходимости.

Создание 3D сборки разрезов по координатам XYZ

Для того случая, когда известны координаты положения каждой георадарной трассы, из которых состоят георадарные профили, на основе которых были получены разрезы для 3D сборки, в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализована возможность учитывать эти координаты в ходе формирования 3D сборки.

Таким образом, 3D сборка может быть создана не только на основе прямолинейных георадарных профилей (более подробно см. раздел <Создание 3D сборки разрезов по координатам XY>), но и на основе профилей произвольной траектории, с учётом рельефа местности. Координаты положения георадарных трасс можно получить при помощи устройства глобального позиционирования GPS, используя это устройство в ходе георадарных работ.

Для учёта положения георадарных трасс в ходе формирования 3D сборки, для каждого файла разреза в формате **xzd**, в той же директории должен располагаться файл текстового формата с расширением **gexyz**, который содержит информацию о координатах **XYZ** в метрах. Данный файл должен иметь такое же имя, что и соответствующий файл с расширением **xzd**.

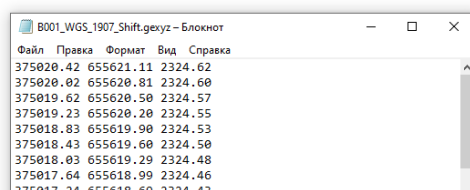
Таблицу **XYZ** координат можно создать самостоятельно, а можно воспользоваться программным модулем извлечения координат из файла георадарного профиля. Пока доступно извлечение координат из текстового файла профиля георадара ЛОЗА. Возможность извлечения координат **XYZ** из файла профиля других производителей георадаров будет добавляться в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ по просьбе пользователей и по мере предоставления этими пользователями форматов файлов георадарных профилей, содержащих информацию от GPS навигатора о положении георадарных трасс.

Создание таблицы координат XYZ вручную

Для создания таблицы координат **XYZ** вручную можно воспользоваться любым текстовым редактором, в котором предусмотрено сохранение документа в текстовом формате **txt**. Например, использовать **Блокнот** или **WordPad**, которые входят в состав операционной системы Windows.

Файл координат состоит из трёх столбцов. В первом столбце содержатся значения горизонтальных координат **X** в метрах, во втором – значения горизонтальных координат **Y** в метрах, в третьем – значения вертикальных координат **Z** в метрах. В качестве разделителя целой и дробной частей значений в таблице используется точка, значения на одной строке разделены пробелом.

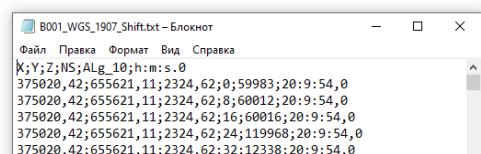
Количество строк должно быть равно количеству георадарных трасс в профиле. В самой верхней, первой строке, содержатся координаты первой трассы, в самой нижней, последней строке, содержатся координаты последней трассы георадарного профиля. На рисунке ниже показан пример таблицы координат:



После сохранения созданного документа с координатами, необходимо изменить его расширение с **txt** на **gexyz** и проверить, чтобы имя этого файла совпадало с именем файла соответствующего ему георадарного профиля.

Автоматизированное создание таблицы координат XYZ

Автоматизированное создание таблицы координат **XYZ** доступно для файла георадарного профиля с координатной привязкой от георадара **ЛОЗА**. Информация в этом файле располагается по столбцам, где столбцы № 1, 2 и 3 – это координаты в метрах **X**, **Y**, и высота **Z**; столбец №4 – время распространения зондирующего импульса в наносекундах, столбец №5 – амплитуда отражённого сигнала, столбец №6 – время измерения в формате h:m:s. На рисунке ниже – пример файла профиля в данном формате:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

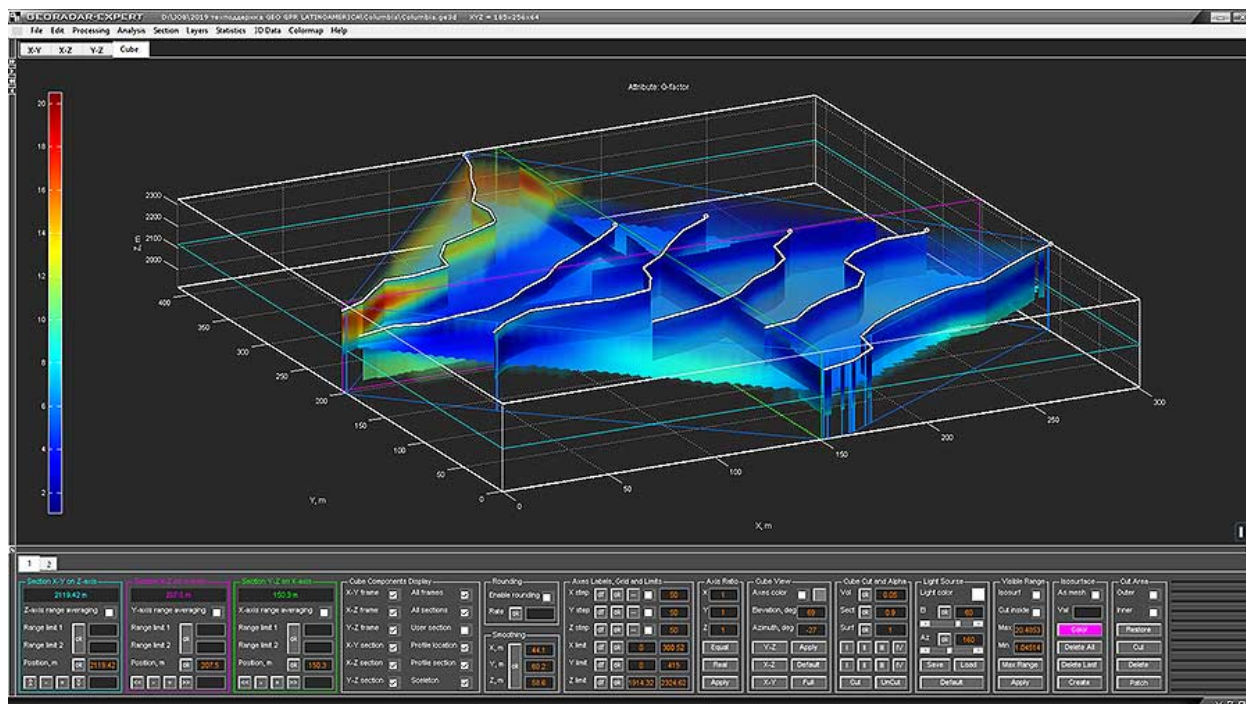
Для извлечения координат следует щелкнуть мышью по пункту меню **Get XYZ from LOZA Txt Format**, который расположен в группе меню **3D Data**. В результате откроется окно выбора файла профиля в формате **txt**. Пользователь в этом окне выделяет все необходимые файлы и нажимает кнопку **Открыть** (Open), после чего из каждого выбранного файла профиля извлекаются координаты **XYZ** и сохраняются в таблицу текстового формата **gexyz**. Сохранение таблиц с координатами **XYZ** производится в директорию расположения файлов георадарных профилей, из которых были извлечены эти координаты.

Чтобы просмотреть содержимое файлов с расширением **gexyz** нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши по этому файлу в **Проводнике Windows**, выбрать пункт меню **Открыть с помощью** и выбрать из списка программ **Блокнот**, **WordPad** или другую программу, поддерживающую просмотр файла текстового формата.

Сборка разрезов по координатам XYZ

Запуск процесса создания 3D сборки осуществляется при помощи пункта меню **Create 3D Assembly by XYZ Coordinates**, расположенному в группе меню **3D Data**. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется окно выбора файла в формате **gexyz**. Пользователь выбирает эти файлы и нажимает кнопку **Открыть** (Open), после чего запускается процесс сборки с последующим сохранением и загрузкой файла 3D сборки с расширением **ge3d** в программу так, как это описано в разделе <Создание 3D сборки разрезов по координатам XY>.

На рисунке ниже показан вид 3D сборки по координатам **XYZ** в изометрической проекции с включенным отображением положений георадарных профилей.

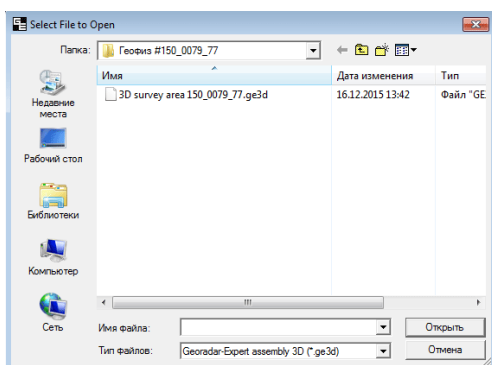


Значение начала шкалы отсчёта координатных осей **X** и **Y** 3D сборки равно 0 метров и градуировка этих шкал производится от этого нулевого значения, т.е. в локальных координатах. Положение точки начала отсчёта координатных осей **X** и **Y** в глобальных координатах сохраняется в файл текстового формата, имя которого автоматически генерируется в виде **Name3D origin position.txt**, где **Name3D** - это наименование 3D сборки. Этот файл сохраняется в ту же директорию, что и файл 3D сборки. Шкала **Z** градуируется в высотных отметках.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Загрузка 3D сборки



Для того, чтобы загрузить уже созданный файл 3D сборки в программу ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, следует щелкнуть мышью пункт меню **Open** из группы меню **File**. В результате откроется стандартное окно выбора файла, в котором нужно выбрать файл с расширением **ge3d** и нажать кнопку открытия. В результате 3D сборка будет загружена в программу.

Если файл с расширением **ge3d** не отображается в окне открытия файла, то следует выбрать этот тип файла для отображения в выпадающем меню **Тип файлов**.

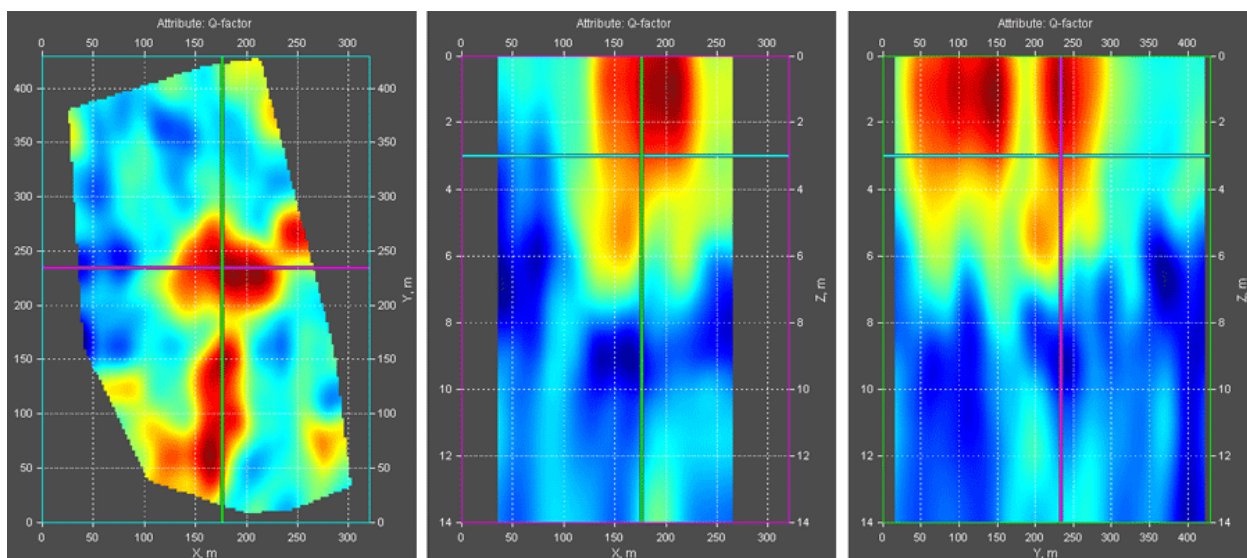
Визуализация данных 3D сборки

В процессе загрузки 3D сборки в области визуализации данных создаются четыре вкладки. Первые три – для отображения ортогональных секущих плоскостей 3D сборки (**X-Y**, **X-Z** и **Y-Z**), а четвёртая вкладка - **Cube**, которая предназначена для отображения 3D сборки в изометрической проекции.

Левая группа вкладок в режиме 3D не задействована и скрыта, а нижняя группа вкладок, на которой размещаются панели управления параметрами визуализации 3D сборки, не может быть скрыта. Таким образом, в отличие от режима работы с 2D данными, в режиме работы с 3D сборкой размеры вкладок остаются неизменными.

Вкладки X-Y, X-Z и Y-Z

Вкладки X-Y, X-Z и Y-Z предназначены для визуализации ортогональных сечений 3D сборки. На рисунке ниже показаны ортогональные сечения 3D сборки в порядке расположения вкладок в области визуализации:



Каждое сечение расположено на своей вкладке и имеет цветную рамку. Горизонтальное сечение – **X-Y** рамку голубого цвета, сечение – **X-Z** фиолетового цвета и сечение – **Y-Z** зелёного цвета. По цветам рамок удобно определять принадлежность сечений на изображении 3D сборки в изометрической проекции на вкладке **Cube**. Рамки панелей управления положением сечений также имеют цвет своего сечения.

Далее, в порядке расположения вкладок в области визуализации, слева направо перечислены ортогональные сечения и даны пояснения по данным сечениям:

- Сечение **X-Y**. Горизонтальная линия фиолетового цвета на изображении горизонтального сечения – положение сечения **X-Z**, вертикальная линия зелёного цвета – положение сечения **Y-Z**. Изображение горизонтального сечения, сохранённое в масштабе, удобно накладывать на план местности в программе AutoCAD;
- Сечение **X-Z**. Параллельно линии Запад-Восток на плане местности. Горизонтальная линия голубого цвета на изображении сечения – положение горизонтального сечения **X-Y**, вертикальная линия зелёного цвета – положение сечения **Y-Z**;
- Сечение **Y-Z**. Параллельно линии Север-Юг на плане местности. Горизонтальная линия голубого цвета на изображении сечения – положение горизонтального сечения **X-Y**, вертикальная линия фиолетового цвета – положение сечения **X-Z**;

Вкладка Cube

Вкладка **Cube** предназначена для визуализации 3D сборки в изометрической проекции. Пространство 3D сборки на вкладке **Cube** ограничено параллелограммом с прозрачными гранями и непрозрачными рёбрами, которые являются осями 3D сборки **X**, **Y** и **Z**. Внутри параллелограмма могут быть отображены ортогональные сечения 3D сборки, пользовательские вертикальные сечения, линии георадарных профилей и вертикальные сечения 3D сборки по этим профилям, а также объём 3D сборки с возможностью вырезать заданные области из этого объёма.

Углы обзора 3D сборки на вкладке **Cube** можно изменять при помощи мыши (см. раздел <Вращение осей 3D сборки мышью на вкладке Cube>) или путём задания точных значений азимута и угла места (см. раздел <Панель Cube View>).

Изменение положения ортогональных сечений при помощи мыши

Оси визуализации сечений на вкладках **X-Y**, **X-Z** и **Y-Z** являются интерактивными. Если навести указатель мыши на одно из трёх сечений и однократно щёлкнуть мышью, точка пересечения двух других сечений сместится на место положения указателя мыши на момент щелчка.

Этот метод позволяет быстро управлять сечениями, так как за один щелчок мыши изменяется положение сразу двух сечений. Если пользователю требуется точно задать значение положения, то следует воспользоваться панелями управления положениями сечений **Position X-Y on Z**, **Position X-Z on Y** и **Position Y-Z on X** – более подробно см. раздел <Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis>.

Интерфейс пользователя в режиме 3D

Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis

Панели **Position X-Y on Z-axis**, **Position X-Z on Y-axis** и **Position Y-Z on X-axis** служат для управления положением ортогональных сечений, а также для определения принципа формирования сечения, так как ортогональное сечение может быть срезом 3D объёма на заданной отметке или результатом осреднения данных в заданном диапазоне 3D объёма.

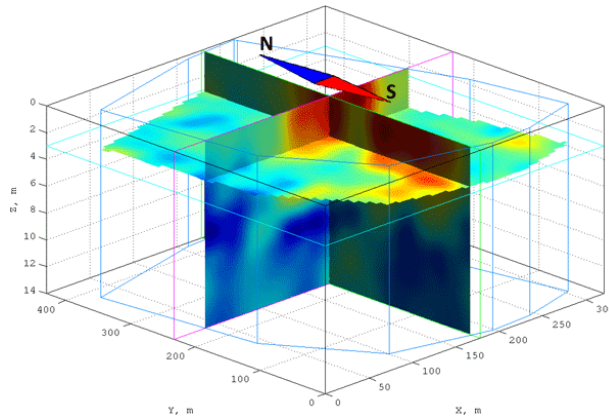
Каждое ортогональное сечение, если оно является срезом 3D объёма, может перемещаться вдоль перпендикулярной ему оси (см. рисунок ниже):

- Горизонтальное сечение **X-Y** (рамка голубого цвета) перемещается вдоль перпендикулярной ему вертикальной оси **Z**.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Вертикальное сечение **X-Z** (рамка фиолетового цвета) перемещается вдоль горизонтальной оси **Y**, параллельной линии Север-Юг на плане местности.
- Вертикальное сечение **Y-Z** (рамка зелёного цвета) перемещается вдоль горизонтальной оси **X**, параллельной линии Запад-Восток на плане местности.



Положение сечений можно изменять с помощью элементов управления, расположенных на следующих панелях:

- Панель **Position X-Y on Z-axis** предназначена для управления положением горизонтального сечения **X-Y** вдоль вертикальной оси **Z**;
- Панель **Position X-Z on Y-axis** предназначена для управления положением вертикального сечения **X-Z** (параллельного линии Запад-Восток на плане местности) вдоль горизонтальной оси **Y** (параллельной линии Север-Юг на плане местности – см. рисунок выше);
- Панель **Position Y-Z on X-axis** предназначена для управления положением вертикального сечения **Y-Z** (параллельного линии Север-Юг на плане местности) вдоль горизонтальной оси **X** (параллельной линии Запад-Восток на плане местности– см. рисунок выше).

Значение положения ортогонального сечения на перпендикулярной ему оси в метрах отображается в верхней части соответствующей ему панели.



Все три панели имеют однотипные элементы интерфейса, за исключением кнопок перемещения сечения в начало и в конец оси. Для панели горизонтального сечения **Position X-Y on Z-axis** это кнопки и , а для остальных панелей – это кнопки и .







Управление положением ортогонального сечения возможно только тогда, когда сечение является результатом среза 3D объёма на заданной отметке перпендикулярной этому сечению оси и осуществляется при помощи следующих элементов интерфейса:

- **Position, m** – положение ортогонального сечения на перпендикулярной ему оси в метрах;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

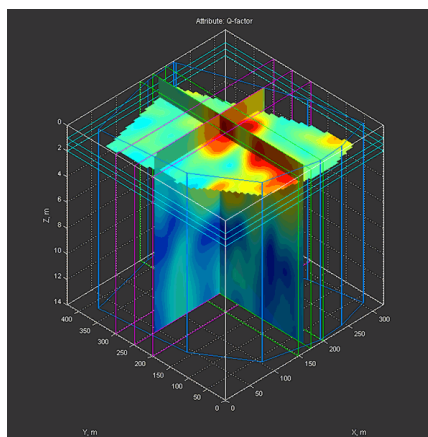
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **ok** – кнопка применения положения сечения на перпендикулярной ему оси в соответствии со значением в окне ввода параметра **Position, m**, которое расположено правее данной кнопки;
-  - кнопка перемещения сечения в начало перпендикулярной ему оси. Для панели **Position X-Y on Z-axis** это кнопка ;
-  - кнопка перемещения сечения вдоль перпендикулярной ему оси в сторону начала координат на величину, заданную в окне ввода параметра, расположенного правее нижнего ряда кнопок;
-  - кнопка перемещения сечения вдоль перпендикулярной ему оси в направлении удаления от начала координат на величину, заданную в окне ввода параметра, расположенного правее нижнего ряда кнопок;
-  - кнопка перемещения сечения в конец перпендикулярной ему оси. Для панели **Position X-Y on Z-axis** это кнопка .

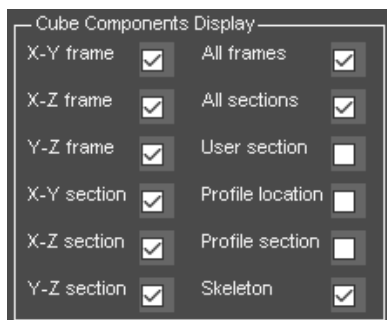
Управление принципом формирования сечения осуществляется при помощи следующих элементов интерфейса:

- **Z-axis (Y-axis, X-axis) range averaging** – активация режима осреднения сечения. Когда данный флажок не отмечен, то сечение является результатом среза 3D объёма на заданной отметке перпендикулярной этому сечению оси. Когда флажок отмечен, то сечение является результатом осреднения заданного пользователем диапазона 3D объёма. В этом случае кнопки управления положением сечения становятся недоступными;
- **Range limit 1** – положение ближней к началу координат границы диапазона осреднения на перпендикулярной ортогональному сечению оси в метрах;
- **Range limit 2** – положение дальней от начала координат границы диапазона осреднения на перпендикулярной ортогональному сечению оси в метрах;

Для тех сечений, у которых активирован режим осреднения, на осях 3D сборки, на вкладке **Cube**, отображаются дополнительные рамки соответствующего цвета по границам диапазона осреднения, а результирующее сечение располагается посередине диапазона осреднения – см. рисунок ниже, где все три ортогональных сечения являются результатом осреднения. В данном примере сечение **X-Y** является результатом осреднения диапазона от 1 до 2 метров по оси **Z**, сечение **X-Z** – осреднение диапазона от 200 до 300 м по оси **Y**, сечение **Y-Z** – осреднение диапазона 150 – 200 м по оси **X**.



Панель Cube Components Display

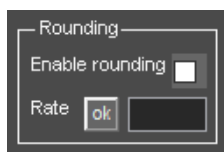


Флажки, расположенные на панели **Cube Components Display**, предназначены для управления видимости элементов, входящих в состав визуализации 3D сборки на вкладке **Cube**. Если флажок не отмечен, то соответствующий ему элемент не виден, если флажок отмечен, то данный элемент становится видимым.

Ниже перечислены элементы визуализации 3D сборки, отображением которых можно управлять на панели **Cube Components Display**:

- **X-Y frame** – рамка горизонтального ортогонального сечения X-Y голубого цвета;
- **X-Z frame** – рамка вертикального ортогонального сечения X-Z фиолетового цвета;
- **Y-Z frame** – рамка вертикального ортогонального сечения Y-Z зелёного цвета;
- **X-Y section** – горизонтальное ортогональное сечение X-Y;
- **X-Z section** – вертикальное ортогональное сечение X-Z;
- **Y-Z section** – вертикальное ортогональное сечение Y-Z;
- **All frames** – рамки всех ортогональных сечений одновременно;
- **All sections** – все ортогональные сечения одновременно;
- **User section** – дополнительное сечение, созданное пользователем;
- **Profile location** – положение георадарных профилей;
- **Profile section** – вертикальные разрезы в местоположении георадарных профилей;
- **Skeleton** – линии границ объёма 3D сборки в виде каркаса синего цвета.

Панель Rounding



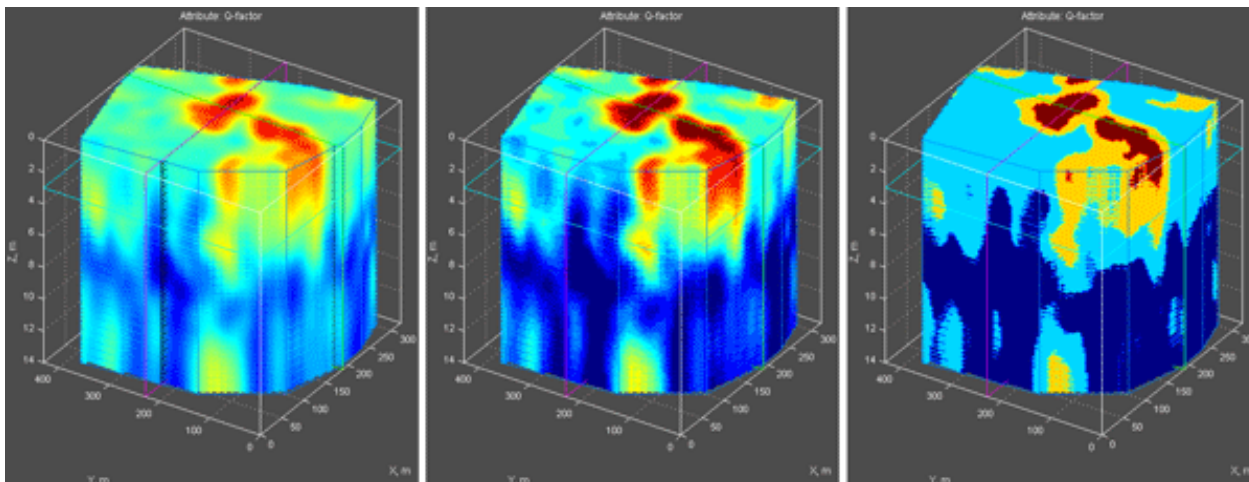
Управление параметрами округления данных 3D сборки осуществляется на панели **Rounding**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Enable rounding** – флажок режима отображения данных 3D сборки в округлённом виде. Позволяет быстро переключаться между отображением данных 3D сборки в округлённом и неокруглённом виде;
- **Rate** – окно ввода значения точности округления;
- **ok** – кнопка применения округления данных 3D сборки с точностью округления, заданной в окне ввода **Rate**. При нажатии кнопки применения округления флажок **Enable rounding** автоматически переходит в отмеченное состояние.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

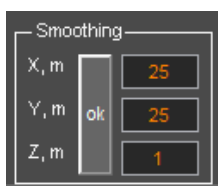
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунке ниже показана 3D сборка в изометрической проекции без округления данных (слева), с точностью округления 0.1 (в центре) и с точностью округления 0.5 (справа).



Значение точности округления влияет на результаты пространственного анализа атрибутов (более подробно см. в разделе <Пространственный анализ атрибута 3D сборки>).

Панель Smoothing



Управление параметрами сглаживания данных объема 3D сборки осуществляется на панели **Smoothing**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **X, m** – окно сглаживания по оси X в метрах;
- **Y, m** – окно сглаживания по оси Y в метрах;
- **Z, m** – окно сглаживания по оси Z в метрах;
- **ok** – кнопка запуска процесса сглаживания в соответствии с установленными значениями окон сглаживания.

Сразу после формирования 3D сборки значение окна сглаживания для каждой оси устанавливается равным 15% от длины соответствующей оси. При сохранении 3D сборки в файл с расширением **ge3d**, параметры сглаживания также сохраняются.

Панель Axes Labels, Grid and Limits



Управление параметрами осей для отображения сечений и изометрической проекции 3D сборки, осуществляется на панели **Axes Labels, Grid and Limits**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

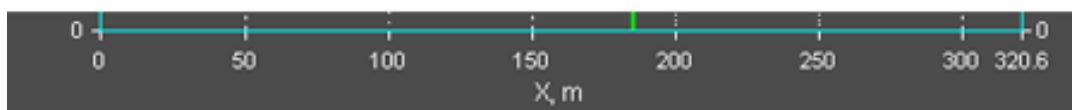
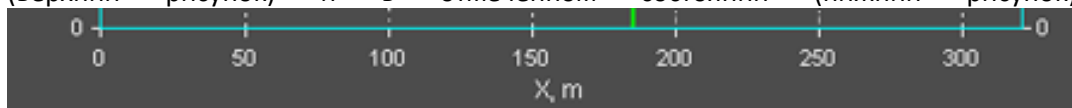
- **X step (Y step, Z step)** – группа элементов управления шагом градуировки шкалы на оси X (Y, Z). Каждая группа состоит из следующих элементов управления:
 - **df** – кнопка установки значения шага градуировки шкалы по умолчанию;
 - **ok** – кнопка применения шага градуировки шкалы в соответствии со значением в окне ввода (крайнее справа в соответствующем ряду элементов интерфейса пользователя);

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

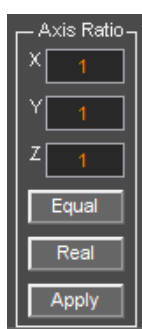
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- кнопка визуализации координатной сетки. Если координатная сетка отображается, то при нажатии на данную кнопку координатная сетка скрывается, если координатная сетка скрыта, то при нажатии на данную кнопку координатная сетка становится видимой;
- Флажок режима отображения максимального значения шкалы. В качестве примера, на рисунке ниже показана шкала оси **X** с данным флажком в неотмеченном состоянии (верхний рисунок) и в отмеченном состоянии (нижний рисунок):



- Окно ввода значения шага градуировки шкалы расположено правее чекбокса отображения максимального значения шкалы. Значение шага шкалы вводится в метрах.
- X limit (Y limit, Z limit)** – группа элементов управления диапазоном шкалы **X (Y, Z)**. Изменяется именно диапазон шкалы, а не область отображения 3D сборки в соответствии с этим диапазоном. Данная возможность применяется в случае необходимости корректировки ошибок привязки при выполнении полевых работ по площадному исследованию. Каждая группа состоит из следующих элементов управления:
 - df** – кнопка установки начального значения диапазона шкалы;
 - ok** – кнопка применения заданного диапазона шкалы;
 - Окно ввода параметра правее кнопки **ok** служит для определения минимального значения шкалы (по умолчанию - ноль);
 - Окно ввода параметра, расположенное правее окна ввода начального значения шкалы, служит для определения максимального значения шкалы.

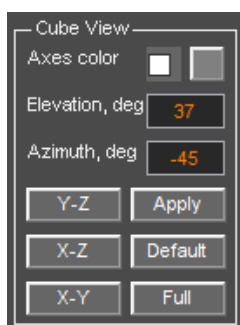
Панель Axis Ratio



Управление пропорциями осей 3D сборки осуществляется на панели **Axis Ratio**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- X (Y, Z)** – окна ввода значений пропорций осей 3D сборки;
- Equal** – кнопка применения равных пропорций осей. Когда во всех трёх окнах ввода присутствуют одинаковые значения, тогда длина осей **X, Y и Z** будет равной;
- Real** - кнопка применения пропорций осей в соответствии с отношением длин шкал этих осей;
- Apply** – кнопка применения пропорций, заданных в окнах ввода **X, Y и Z** к соответствующим осям на всех вкладках визуализации 3D сборки.

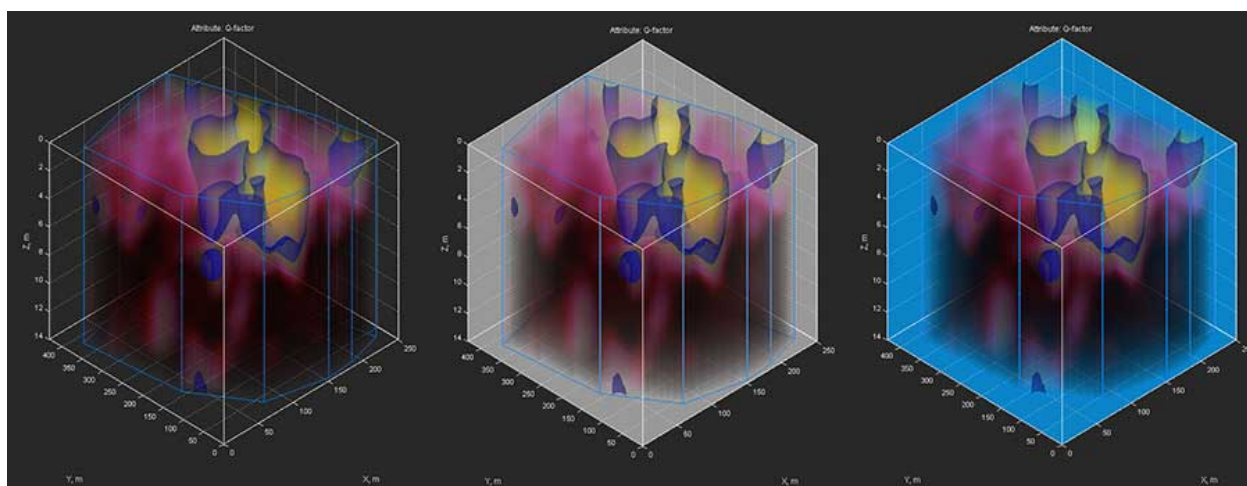
Панель Cube View



Управление углами обзора осей 3D сборки на вкладке **Cube** и фоновым цветом осей осуществляется на панели **Cube View**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Axes color** – выбор и применение фонового цвета осей. Флажок, расположенный правее надписи **Axes color** управляет видимостью фонового цвета – если флажок отмечен, фон осей имеет такой же цвет, что и кнопка, расположенная правее данного флажка. В результате нажатия данной кнопки выбора цвета, появляется окно выбора цвета. После того, как в этом окне выбран требуемый цвет, нужно нажать кнопку **OK** в окне выбора цвета, после

чего окно выбора цвета закроется, а выбранный цвет применится к кнопке выбора цвета и фону осей. Если флажок, расположенный правее надписи **Axes color**, не отмечен, то фон осей устанавливается прозрачным. Непрозрачный фон, в зависимости от примененной цветовой схемы, может улучшить визуализацию 3D сборки – см. рисунок ниже (на левом изображении фон осей установлен прозрачным):



- **Elevation, deg** – окно ввода значения вертикального угла обзора осей изометрической проекции (угол места) в градусах;
- **Azimuth, deg** – окно ввода значения горизонтального угла обзора осей изометрической проекции (азимут) в градусах;
- **Apply** - кнопка применения угла обзора осей изометрической проекции 3D сборки в соответствии со значениями **Elevation, deg** и **Azimuth, deg**;
- **Default** – установка угла обзора осей изометрической проекции 3D сборки по умолчанию – азимут равен -45° , угол места равен 37° ;
- **Full** – установка размеров осей изометрической проекции 3D сборки так, чтобы они полностью заполняли область визуализации на вкладке **Cube**;
- **X-Y** - кнопка применения углов обзора изометрической проекции 3D сборки, перпендикулярных плоскости сечения **X-Y**;
- **X-Z** - кнопка применения углов обзора изометрической проекции 3D сборки, перпендикулярных плоскости сечения **X-Z**;
- **Y-Z** - кнопка применения углов обзора изометрической проекции 3D сборки, перпендикулярных плоскости сечения **Y-Z**;

Наряду с описанным в данном разделе способе изменения углов обзора осей изометрической проекции, эти углы можно менять при помощи вращения осей мышью— более подробно см. раздел <Вращение осей 3D сборки мышью на вкладке Cube>.

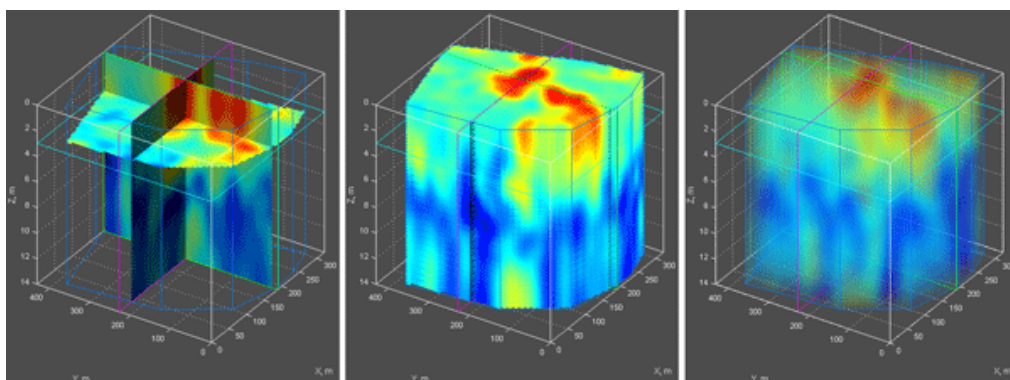
Панель Cube Cut and Alpha



Управление прозрачностью объема 3D сборки, сечений и изоповерхностей на вкладке **Cube** расположены на панели **Cube Cut and Alpha**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Vol** – установка степени прозрачности набора горизонтальных сечений, из которых формируется объем 3D сборки. Диапазон значений степени прозрачности лежит в пределах от 0 (полностью прозрачный, т.е. скрытый объект) до 1 (непрозрачный объект). Кнопка **ok**, которая расположена слева от окна ввода степени прозрачности применяет степень прозрачности к объёму 3D сборки.

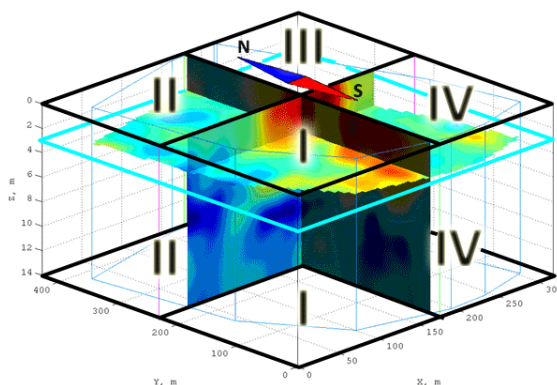
На рисунке ниже слева показана изометрическая проекция 3D сборки со скрытым объёмом (значение степени прозрачности = 0), в центре – объём полностью непрозрачен (значение степени прозрачности = 1), справа – объёма со степенью прозрачности = 0.1.



- **Sect** – установка степени прозрачности всех сечений 3D сборки. Диапазон значений степени прозрачности лежит в пределах от 0 (полностью прозрачный, т.е. скрытый объект) до 1 (непрозрачный объект). Кнопка **ok**, которая расположена слева от окна ввода степени прозрачности применяет степень прозрачности ко всем сечениям 3D сборки;
- **Surf** – установка степени прозрачности всех изоповерхностей 3D сборки (более подробно см. раздел <Панель Isosurface>). Диапазон значений степени прозрачности лежит в пределах от 0 (полностью прозрачный, т.е. скрытый объект) до 1 (непрозрачный объект). Кнопка **ok**, которая расположена слева от окна ввода степени прозрачности применяет степень прозрачности ко всем изоповерхностям;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



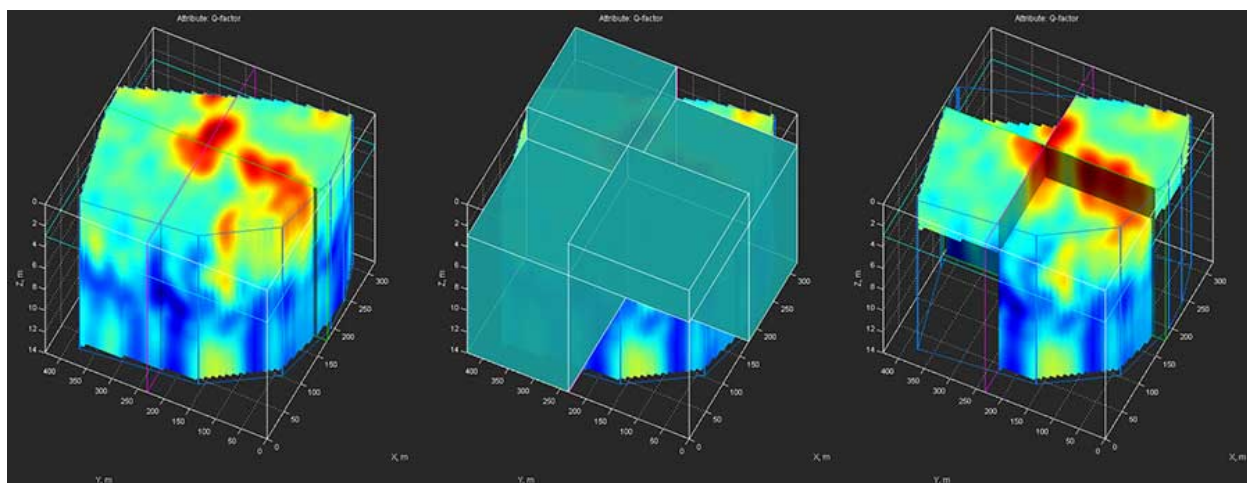
■ I II III IV – кнопки-переключатели выбора прямоугольного региона объёма 3D сборки для вырезания – см. рисунок слева. Данные кнопки расположены в два ряда. Кнопками верхнего ряда выбираются регионы для вырезания, расположенные над горизонтальным сечением X-Y, кнопками нижнего ряда – регионы, расположенные под горизонтальным сечением X-Y. Кнопка в нажатом положении – регион выбран, в отжатом положении – регион для вырезания не выбран. Выбранный регион до

нажатия кнопки **Cut** отображается в виде прямоугольного блока сине-зелёного цвета (см. рисунок ниже, в центре).

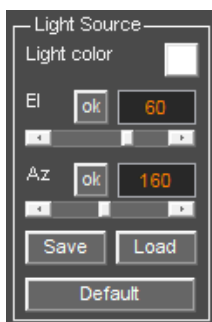
- **Cut** – кнопка применения вырезания прямоугольных регионов в соответствии с состояниями кнопок-переключателей I, II, III, и IV. Вырезанные регионы объёма 3D сборки становятся невидимыми;
- **UnCut** – восстановление вырезанных прямоугольных регионов. Вырезанные регионы становятся видимыми. Когда объём 3D сборки имеет вырезанные регионы, кнопка **UnCut** окрашена в оранжевый цвет.

На рисунке ниже слева показан объём 3D сборки без вырезанных регионов. Чтобы вырезать один, или несколько прямоугольных регионов из объёма 3D сборки, пользователю необходимо выполнить следующие действия:

1. Кнопками выбрать регион. В качестве примера, выбраны верхние регионы I и III, нижние регионы II и IV. Выбранные регионы отображаются в виде прямоугольных блоков сине-зелёного цвета (рисунок в центре);
2. Нажать кнопку **Cut**, после чего выбранные регионы объёма 3D сборки становятся полностью прозрачными (рисунок ниже справа).



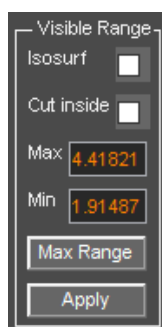
Панель Light Source



Панель **Light Source** предназначена для управления цветом и положением источника освещения 3D сборки на вкладке **Cube**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Light color** – кнопка выбора цвета источника освещения. Источник освещения имеет тот же цвет, что и данная кнопка. В результате нажатия кнопки **Light color** появляется окно выбора цвета. После того, как в этом окне выбран требуемый цвет, нужно нажать кнопку **OK** в окне выбора цвета, после чего окно выбора цвета закроется, а выбранный цвет применится к кнопке выбора цвета и к источнику освещения. По умолчанию, источник освещения имеет белый цвет;
- **El** – группа элементов управления вертикальным углом положения источника освещения. Группа состоит из окна ввода значения вертикального угла в градусах, кнопки **ok**, которая служит для применения значения вертикального угла и ползунковый регулятор изменения вертикального угла. Крайнее левое положение ползунка соответствует вертикальному углу 0 градусов, крайнее правое положение – 90 градусов. При изменении положение ползунка изменяется значение в окне ввода вертикального угла;
- **Az** – группа элементов управления горизонтальным углом положения источника освещения. Группа состоит из окна ввода значения горизонтального угла в градусах, кнопки **ok**, которая служит для применения значения горизонтального угла и ползунковый регулятор изменения горизонтального угла. Крайнее левое положение ползунка соответствует вертикальному углу 0 градусов, крайнее правое положение – 360 градусов. При изменении положение ползунка изменяется значение в окне ввода горизонтального угла;
- **Save** – кнопка сохранения информации о положении источника освещения и осей 3D сборки на вкладке **Cube**, а также пропорций осей. Данная информация сохраняется в файл с именем файла 3D сборки и расширением **cubaset**;
- **Load** – кнопка загрузки информации о положении источника освещения и осей 3D сборки на вкладке **Cube**, а также пропорций осей из файла с расширением **cubaset**. После нажатия данной кнопки открывается окно выбора файла, в котором пользователь выбирает файл настроек для загрузки и нажимает кнопку **Открыть** (Open), после чего настройки из загруженного файла применяются к осям 3D сборки;
- **Default** – кнопка установки положения источника освещения по умолчанию.

Панель Visible Range



Панель **Visible Range** предназначена для управления диапазоном отображения данных 3D сборки. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Isosurface** – флажок включения отображения изоповерхности по границе диапазона отображения данных после ограничения диапазона. Цвет изоповерхности выбирается при помощи кнопки **Color** на панели **Isosurface** (более подробно см. раздел <Панель Isosurface>). Чтобы выключить отображение уже существующей изоповерхности, нужно перевести флажок **Isosurface** в неотмеченное состояние;
- **Cut inside** – флажок активации режима отображения данных 3D сборки за пределами установленного диапазона. Когда данный флажок не отмечен, данные внутри установленного диапазона отображаются, а данные вне этого диапазона скрыты. Когда

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

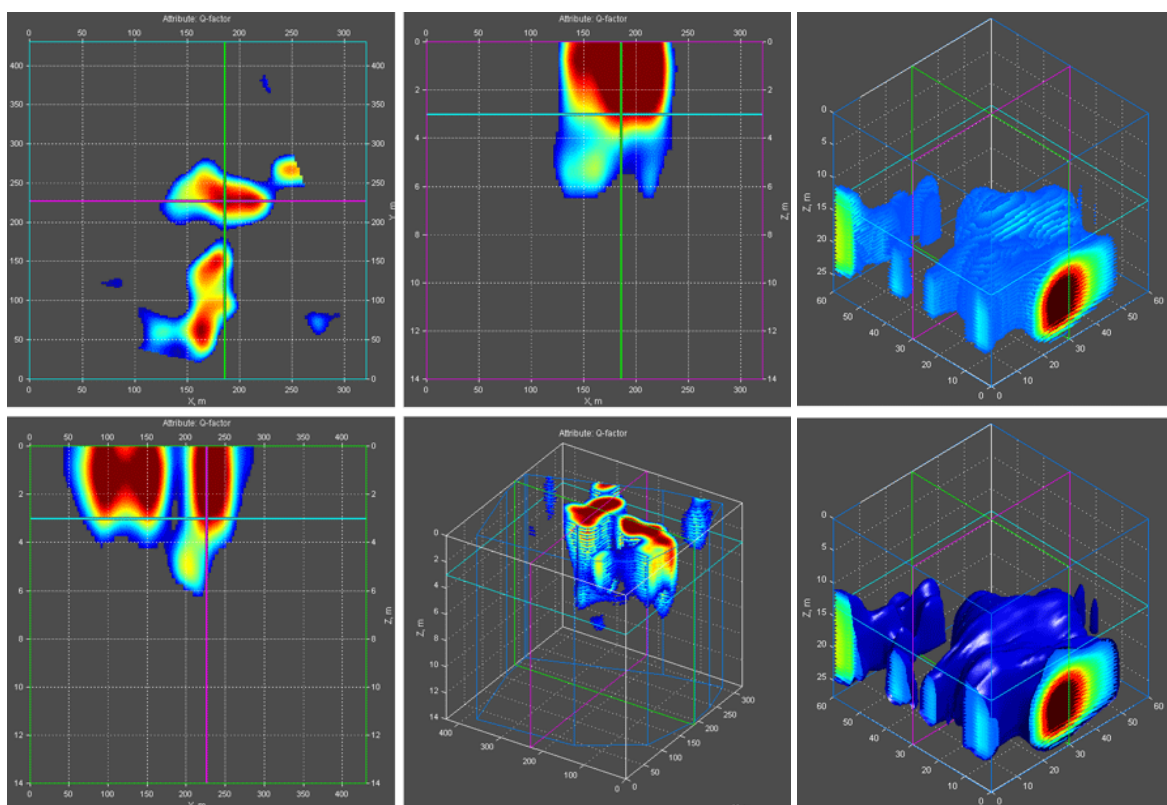
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

данный флажок отмечен, данные внутри установленного диапазона скрыты, а данные вне этого диапазона отображены;

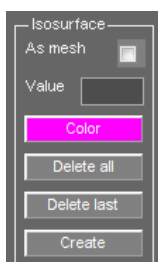
- **Max** – окно ввода значения верхней границы диапазона. Если требуется ввести максимальное значение атрибута, можно просто ввести заведомо большее число;
- **Min** – окно ввода значения нижней границы диапазона. Если требуется ввести минимальное значение атрибута, можно просто ввести заведомо меньшее число для данного атрибута;
- **Max range** – кнопка установки значений максимального диапазона атрибута 3D сборки – т.е. отмены ограничения диапазона;
- **Apply** – кнопка применения ограничения диапазона отображения данных.

Диапазон отображения данных влияет на результаты пространственного анализа атрибутов (более подробно см. в разделе <Пространственный анализ атрибута 3D сборки>). Пространственный анализ атрибутов проводится только в отображаемом диапазоне.

На рисунке ниже слева показаны сечения и изометрическая проекция после ограничения диапазона отображения 3D сборки. Справа показан результат ограничения диапазона отображения данных без изоповерхности (вверху) и с изоповерхностью по границе диапазона.



Панель Isosurface



Изоповерхность – это поверхность, проходящая через точки с одинаковым значением атрибута 3D сборки и характеризующая распределение этого значения в пространстве объема 3D сборки.

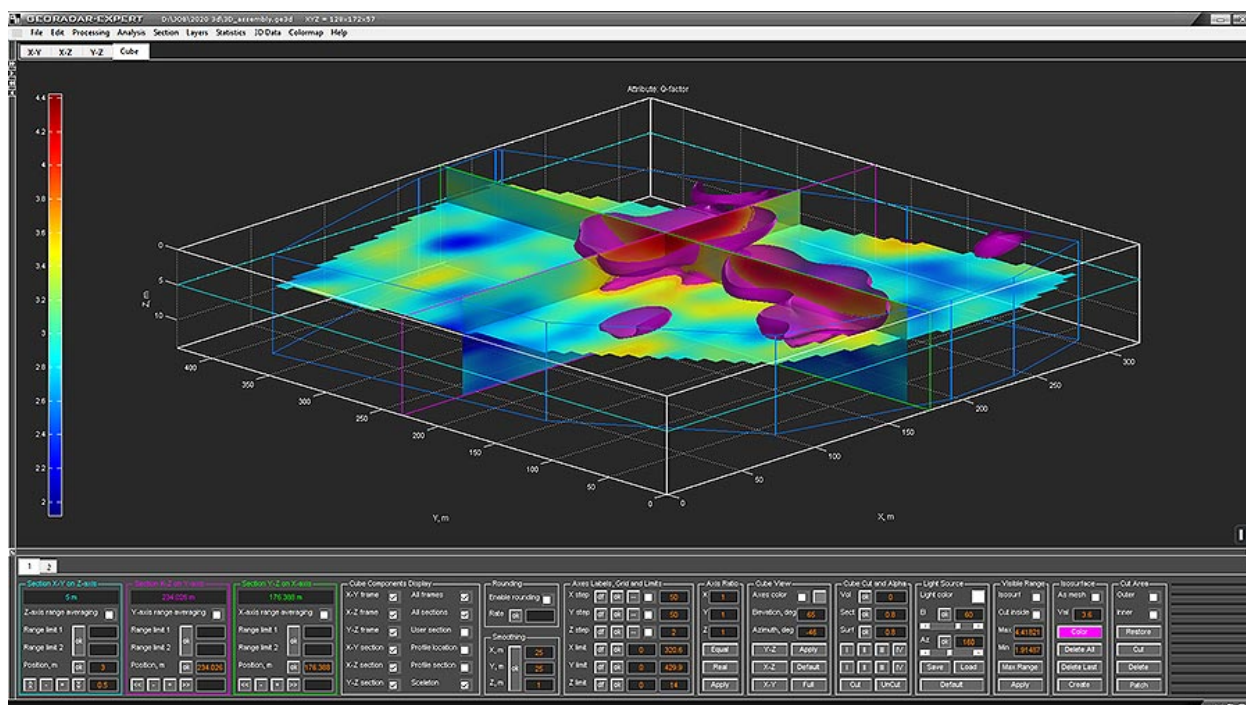
Панель **Isosurface** служит для создания изоповерхностей. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **As mesh** – флажок отображения изоповерхности в виде полигональной сетки. Если данный флажок не отмечен, изоповерхность отображается в виде сплошной поверхности;
- **Value** – значение атрибута 3D сборки, через которые проходит изоповерхность;
- **Color** – кнопка выбора цвета изоповерхности. После нажатия на данную кнопку открывается стандартное окно выбора цвета. После того, как пользователь выберет цвет и закроет панель выбора цвета, цвет фона кнопки **Color** изменит свою окраску на выбранный цвет;
- **Delete all** – кнопка удаления всех созданных изоповерхностей;
- **Delete last** – кнопка удаления последней созданной изоповерхности;
- **Create** – кнопка запуска процесса создания изоповерхности;

Изоповерхность создаётся только на изображении изометрической проекции 3D сборки (вкладка **Cube**):

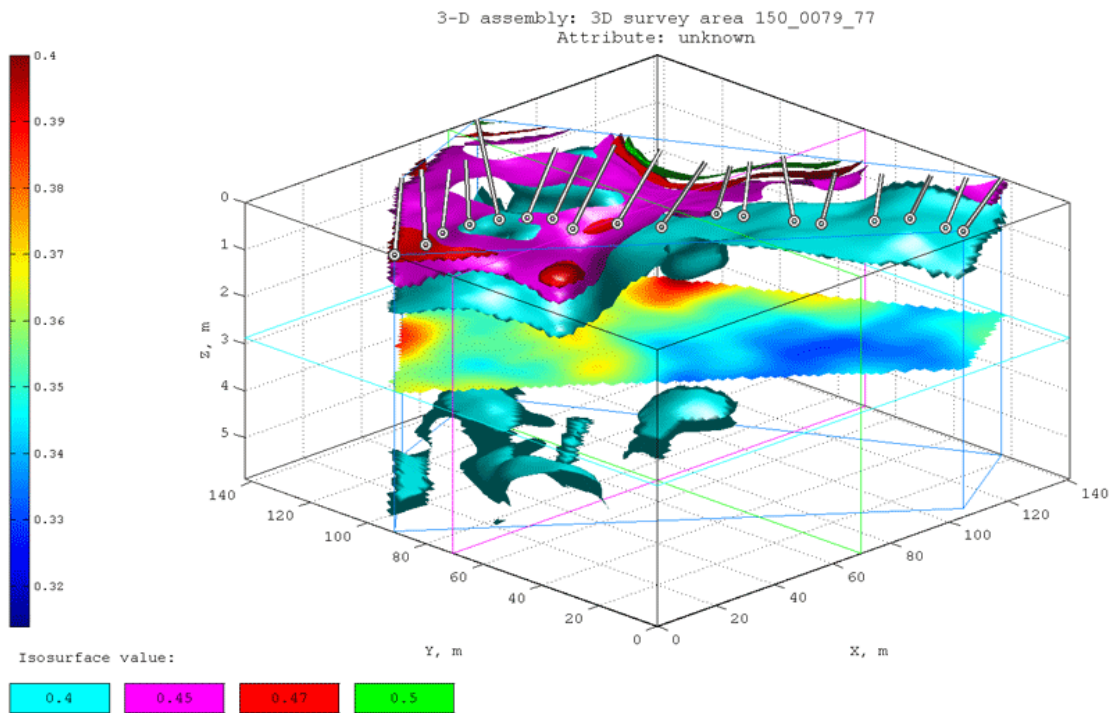


Если пользователю требуется отобразить одно из ортогональных сечений с изоповерхностью, следует воспользоваться кнопками **X-Y**, **X-Z** или **Y-Z** на панели **Cube View**, т.к. отображение изоповерхностей на вкладках **X-Y**, **X-Z** и **Y-Z** не предусмотрено.

На сохранённом, в графическом формате, изображении 3D сборки в изометрической проекции с изоповерхностями, информация о параметрах этих изоповерхностей располагается в левом нижнем углу листа. Значение изоповерхности заключено в прямоугольник, имеющий такой же цвет, как и у соответствующей изоповерхности:

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Панель Cut Area



Панель **Cut Area** служит для создания пользователем областей прозрачности в объеме 3D сборки. Для создания области прозрачности на сечении **X-Y** прокладывается замкнутая граница, за пределами которой, или внутри которой, в зависимости от настроек, объем 3D сборки становится прозрачным. Созданные подобным образом области прозрачности называются дополнительными (основной областью прозрачности можно назвать прозрачные области объема, созданные в результате формирования 3D сборки).

На панели **Cut Area** размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Outer** – флажок активации режима нанесения границы для определения области прозрачности за пределами этой границы;
- **Inner** – флажок активации режима нанесения границы для определения области прозрачности внутри этой границы;
- **Restore** – кнопка удаления всех существующих дополнительных областей прозрачности;
- **Cut** – кнопка запуска процесса создания дополнительной области прозрачности;
- **Delete** – кнопка удаление создаваемой на сечении **X-Y** границы дополнительной области прозрачности;
- **Path** – кнопка активации режима нанесения границ дополнительной области прозрачности. Если при активации режима нанесения границ вкладка **X-Y** не активна, то произойдет автоматическое переключение на эту вкладку.

Чтобы создать границу дополнительной области прозрачности, требуется выполнить следующие действия:

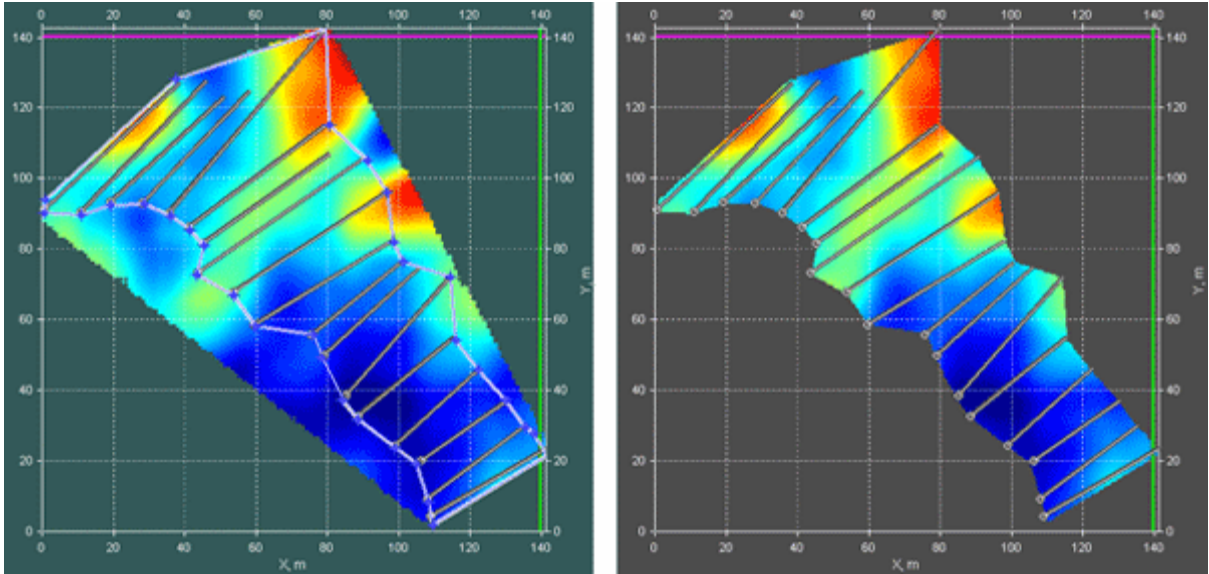
1. Флажками **Outer** или **Inner** выбрать расположение дополнительной области прозрачности – за пределами создаваемой границы или внутри её. После того, как пользователь выберет требуемый флажок, цвет вкладки **X-Y** изменится на сине-зелёный. Это свидетельствует об активации режима нанесения границ дополнительной области прозрачности;
2. Перемещая указатель мыши в пределах осей сечения **X-Y** щёлкать левой кнопкой мыши, создавая узловые точки границы дополнительной области прозрачности. Узловые точки между собой автоматически соединяются прямыми линиями;
3. Чтобы замкнуть область, нужно щёлкнуть левой кнопкой мыши по первой созданной узловой точке границы;
4. Чтобы запустить процесс создания дополнительной области прозрачности, следует нажать кнопку **Cut**. После этих действий 3D сборка будет пересобрана в соответствии с созданной дополнительной областью прозрачности. По окончании этого процесса программа выйдет из режима нанесения границ области прозрачности и цвет вкладки **X-Y** изменится на тёмно-серый;
5. Чтобы создать новую дополнительную область прозрачности, следует повторить действия, описанные в пунктах 1-4.

Для удаления последней созданной узловой точки нужно щёлкнуть по этой точке правой кнопкой мыши и кликнуть пункт всплывающего меню **Delete Node**.

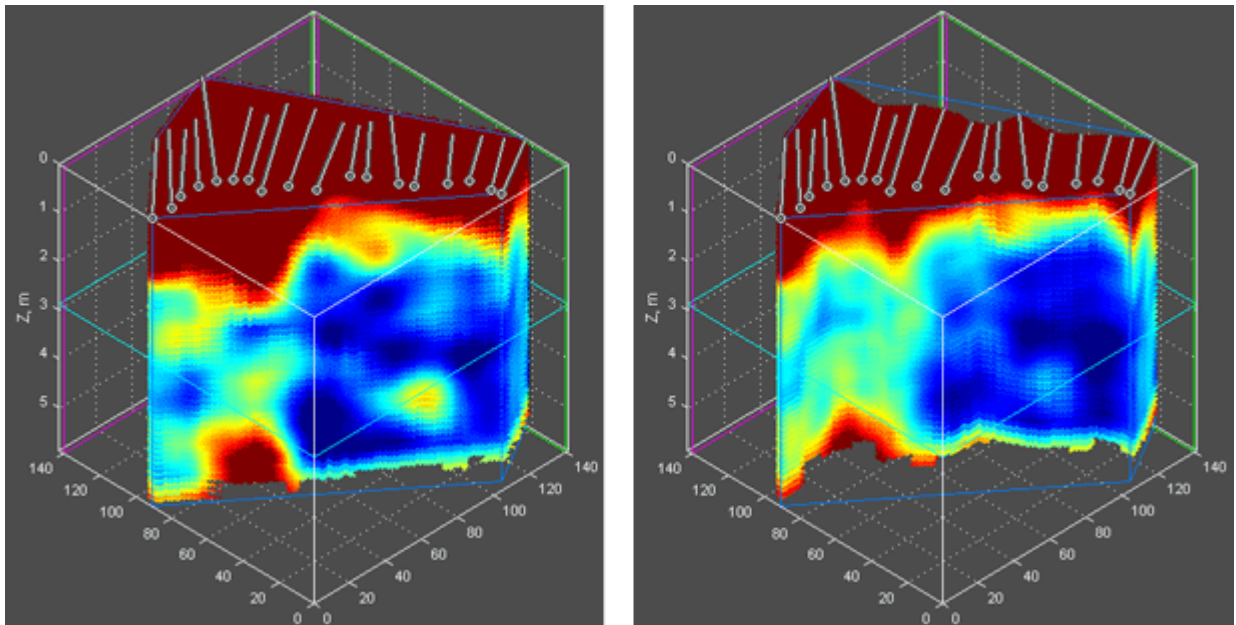
На рисунке ниже слева показана граница области в процессе нанесения и справа - результат применения дополнительной области прозрачности (отмечен флажок **Outer**):

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



На следующем рисунке показана изометрическая проекция 3D сборки до применения дополнительной области прозрачности (слева) и после (справа):



Панель Contours on 2D Views

| Contours on 2D Views | |
|----------------------|-------------------------------------|
| Enable | <input type="checkbox"/> |
| Fill | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Auto | <input type="checkbox"/> |
| Labels | <input type="checkbox"/> |
| Box | <input type="checkbox"/> |
| Line clr | <input type="checkbox"/> |
| Level limiting | 100 |
| Line style | - |
| Line width | 0.5 |
| Level step | ok |
| Spacing | ok 10 |
| Font size | ok 7 |

графика;

Ортогональные сечения 3D сборки на вкладках X-Y, X-Z и Y-Z, пользовательское сечение на вкладке User Cross-Section могут быть визуализированы в виде контурных графиков с заливкой, в соответствии с текущей цветовой схемой визуализации. Элементы управления свойствами контурного графика расположены на панели **Contours on 2D views**. На данной панели размещены следующие элементы интерфейса пользователя:

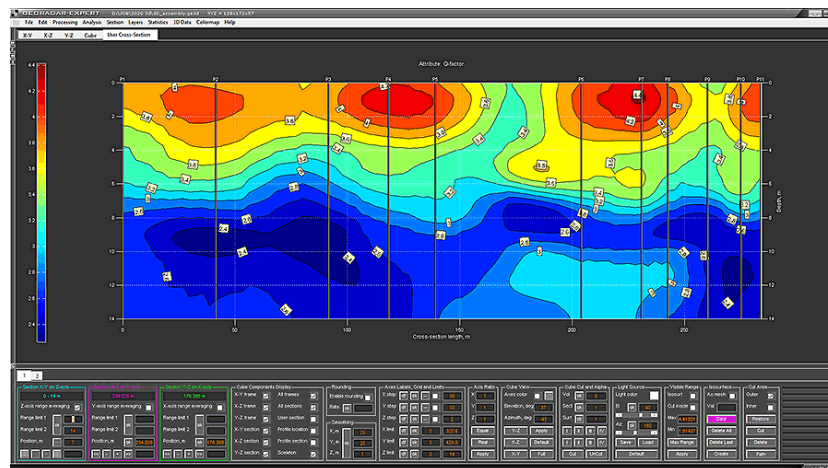
- **Enable** – флажок активации режима визуализации сечений на вкладках X-Y, X-Z, Y-Z и User Cross-Section в виде контурного

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

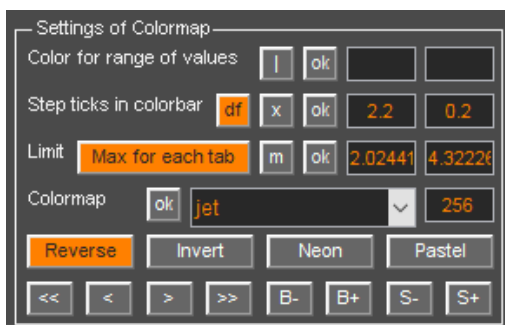
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **Fill** – флажок управления цветовой заливкой между контурами. Когда данный флажок выбран, области внутри контуров залиты одним тоном, в соответствии с цветовой схемой. Когда с данного флажка снят выбор, между контурами применяются плавные переходы цвета;
- **Auto** – данным флажком устанавливается шаг значений между контурами по умолчанию;
- **Labels** – данный флажок включает отображение значений атрибута 3D сборки, изолиниями которых являются контуры. Значения показаны в разрыве контура;
- **Box** – когда флажок **Labels** выбран, флажок **Box** включает отображение значений атрибута 3D сборки на изолинии в прямоугольнике со светлым фоном. Применяется, когда значения на сечении плохо читаются;
- **Line clr** – кнопка выбора цвета контуров. После нажатия на данную кнопку, открывается окно выбора цвета, в котором пользователь мышью выбирает нужный оттенок и нажимает кнопку **OK**, после чего это окно закрывается. После закрытия окна, кнопка **Line clr** и контуры на сечении окрашиваются в выбранный цвет;
- **Level limiting** – максимально возможно количество контуров на сечении. Если при расчёте контуров их количество превысит данный параметр, то значение шага контуров **Level step** будет автоматически пересчитано таким образом, чтобы число контуров на изображении сечения было близко к значению **Level limiting**, но не превышало его. Это сделано для того, чтобы исключить ситуацию задания пользователем столь малого шага, при котором количество контуров возрастает настолько, что компьютер будет рассчитывать их параметры на протяжении длительного времени;
- **Line style** – выбор типа линии контуров;
- **Line style** – выбор толщины линии контуров в миллиметрах;
- **Level step** – шаг между контурами. Кнопка **ok** слева от окна ввода значения шага, запускает процесс расчёта контуров в соответствии со значением **Level step**;
- **Spacing** – расстояние между положением значений атрибута на контуре в сантиметрах. Кнопка **ok** слева от окна ввода данного параметра, применяет значение **Spacing** к контурному графику;
- **Font size** – размер шрифта значения атрибута на изолинии. Кнопка **ok** слева от окна **Font size** применяет заданный размер шрифта.



Панель Settings of Colormap



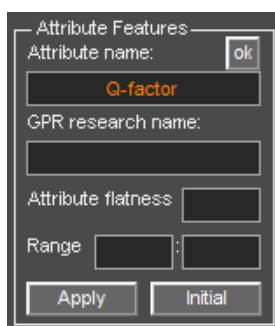
Элементы управления цветовой схемой визуализации 3D сборки расположены на панели **Settings of Colormap**.

Панель **Settings of Colormap** в режиме 3D имеет некоторые отличия от панели **Settings of colormap for section** для режима 2D (о панели **Settings of colormap for section** подробно см. раздел <Управление цветовой схемой разреза>).

Помимо названия панелей, различия состоят в следующем:

- На панели **Settings of Colormap** отсутствует группа параметров создания цветовой схемы на основе работы генератора случайных чисел;
- На вкладке **Cube** шкала цветовой схемы не является интерактивной. Редактирование цветовой схемы при помощи мыши (более подробно см. раздел <Назначение цвета при помощи мыши>) следует производить на вкладках **X-Y**, **X-Z** или **Y-Z**. Цветовая схема, созданная в этом режиме применяется и для вкладки **Cube**;
- Группа параметров **Limit** на панели **Settings of Colormap** отличается от группы параметров **Limitation of colormap** на панели **Settings of colormap for section** наличием кнопки **Max for each tab**, которая служит для применения максимальных порогов отображения для содержимого каждой вкладки 3D визуализации. Для разных вкладок значения максимальных порогов могут быть различными;
- Кнопка **m** в группе параметров **Limit** на панели **Settings of Colormap** предназначена для применения максимального порога отображения для текущей (выбранной) вкладки. При этом для всех остальных вкладок пороги отображения будут равны этому значения - т.е. на всех вкладках пороги отображения будут одинаковыми. Более подробно о порогах отображения см. в <Установка порогов отображения разреза>.

Панель Attribute Features



Панель **Attribute Features** служит для управления параметрами атрибута 3D сборки. При помощи этой панели можно изменить имя и диапазон значений атрибута, а также ввести наименование объекта георадарного исследования.

Панель **Attribute Features** содержит следующие элементы интерфейса пользователя:

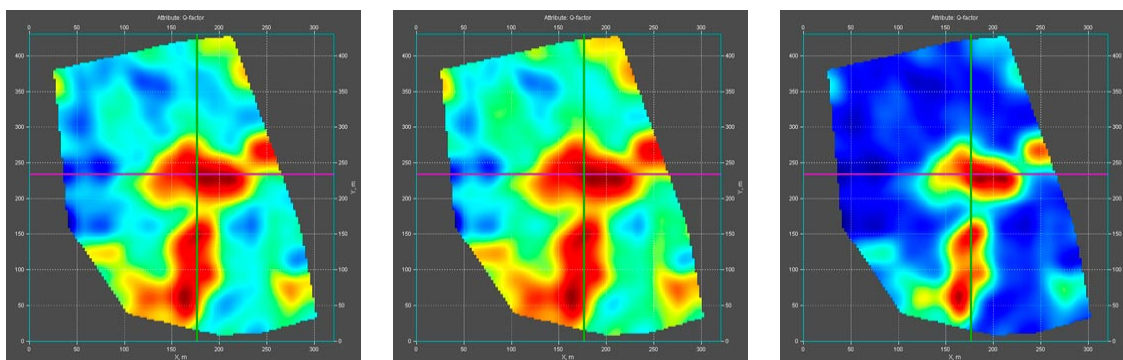
- Группа элементов управления **Attribute name** служит для изменения названия атрибута, которое присутствует на сохраняемых изображениях сечений и 3D видах сборки, а также в таблицах. Для применения нового названия его следует ввести в окно ввода и нажать кнопку **ok**. Во время загрузки 3D сборки название атрибута считывается из загружаемого файла и, после завершения загрузки, отображается в окне ввода;
- Окно **GPR research name** служит для ввода названия георадарного исследования, которое будет присутствовать на сохраняемых изображениях сечений и 3D видах сборки, а также в таблицах;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Группа элементов управления **Range** служит для изменения диапазона значений атрибута 3D сборки. В окне ввода слева задаётся минимальное значение диапазона атрибута 3D сборки, в окне ввода справа задаётся максимальное значение диапазона;
- **Attribute flatness** – коэффициент выравнивания значений атрибута. Это коэффициент меняет соотношение между значениями атрибута. Если значение **Attribute flatness** больше единицы, то переход от высоких значений атрибута к малым в массиве 3D сборки происходит более резко, причём, чем выше значение данного коэффициента, тем резче переход. Если значение **Attribute flatness** меньше единицы, то этот переход осуществляется более плавно. Отсутствие значения в окне ввода параметра **Attribute flatness**, или это значение равно 0 или 1 означает исходное соотношение между значениями атрибута. На рисунке ниже слева – горизонтальное сечение с исходным диапазоном значений атрибута, на рисунке посередине – параметр **Attribute flatness** равен 0.01, на рисунке справа – параметр **Attribute flatness** равен 5:



- **Initial** – кнопка размещения начальных значений диапазона атрибута и его наименования в соответствующих окнах ввода;
- **Apply** – кнопка применения значений диапазона атрибута и коэффициента выравнивания к массиву 3D сборки. Чтобы вернуть 3D сборку к исходным значениям, следует нажать кнопку **Initial**, а потом нажать кнопку **Apply**.

Панель User Section



Панель **User Section** служит для создания пользовательского вертикального сечения массива 3D сборки. Чтобы отобразить панель **User Section**, следует щелкнуть по пункту меню **User Cross-Section**, расположенному в группе меню **3D Data**. Панель размещается в нижней группе вкладок. Убрать панель **User Section** можно при помощи кнопки закрытия в правом верхнем углу панели.

В настоящем разделе дана краткая характеристика функциональности элементов интерфейса панели **User Section**. Более подробно действия пользователя по созданию сечения описаны в разделе <Пользовательское сечение>.

Панель **User Section** содержит следующие элементы интерфейса пользователя:

- **Path** – кнопка-переключатель активации режима создания произвольной линии на сечении **X-Y**. Через эту линию проходит вертикальное пользовательское сечение;
- **Create** – кнопка запуска процесса создания пользовательского сечения;
- **Load** – кнопка загрузки сохранённого ранее в файл формата **ge3ucs** пользовательского сечения;
- **Save** – кнопка сохранения пользовательского сечения в файл формата **ge3ucs**;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **Labels** – кнопка отображения названий узловых точек линии, через которую проходит пользовательское сечение. Повторное нажатие на кнопку скрывает названия узловых точек;
- **Xsize** – кнопка управления размером горизонтальной оси пользовательского сечения на вкладке **User Cross-Section**. Значение размера горизонтальной оси задаётся в окне ввода, которое размещено правее кнопки **Xsize**. Это значение показывает, во сколько раз размер горизонтальной оси отличается от размера вертикальной оси. Если значение равно 1, то размеры горизонтальной и вертикальной осей равны. Если значение больше единицы, то горизонтальная ось длиннее вертикальной в заданное количество раз, если меньше единицы, то горизонтальная ось меньше вертикальной оси.

Пользовательское сечение

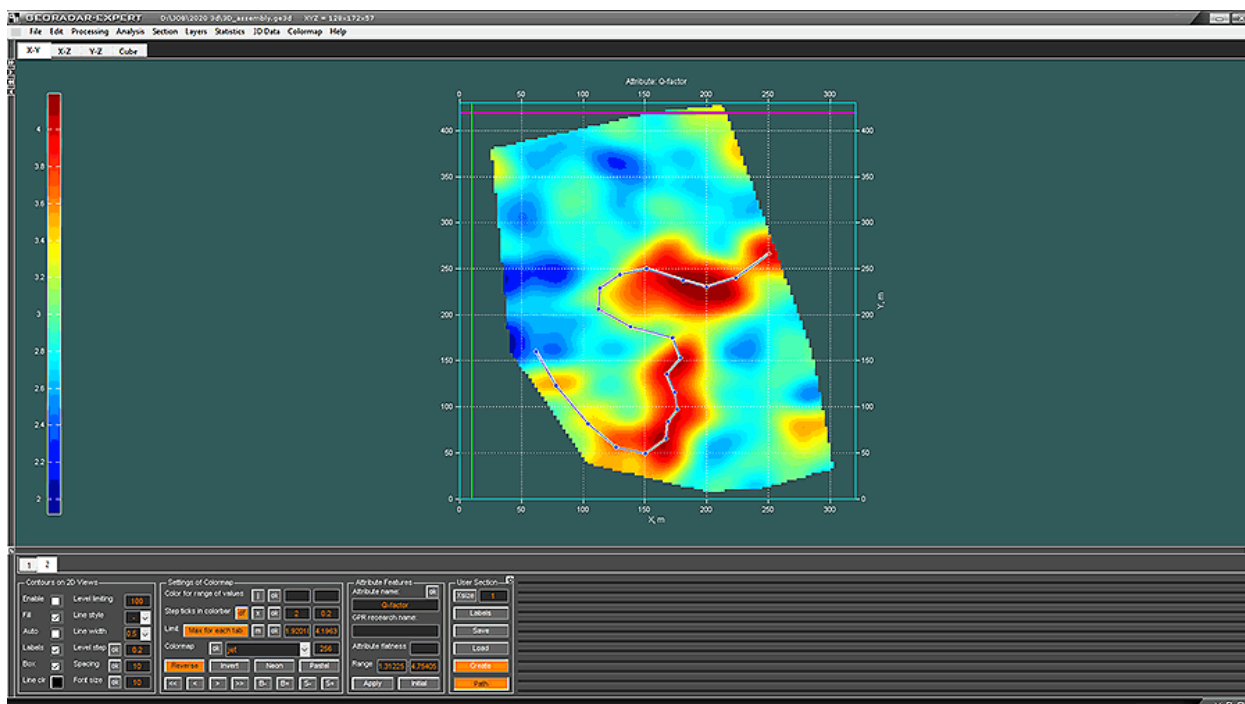
В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрено создание вертикальных сечений массива 3D сборки произвольной формы. Пользователь может создавать такие сечения, сохранять в файл с расширением **ge3ucs** и загружать сечения из файла в программу.

Перед началом создания пользовательского вертикального сечения следует загрузить в рабочее окно программы панель **User Section** при помощи меню **User Cross-Section**, которое расположено в группе меню **3D Data**.

Создание пользовательского сечения

Для активации режима создания пользовательского вертикального сечения, следует нажать кнопку-переключатель **Path**, после чего программа переключится на вкладку горизонтального ортогонального сечения **X-Y** (если была активна другая вкладка) и цвет вкладки изменится с серого цвета на сине-зелёный.

Перемещая указатель мыши в пределах осей сечения **X-Y**, и щёлкая левой или правой кнопкой мыши, пользователь создаёт узловые точки полилинии, через которую будет проходить вертикальное сечение. После каждого щелчка мышью узловые точки между собой автоматически соединяются прямыми отрезками:

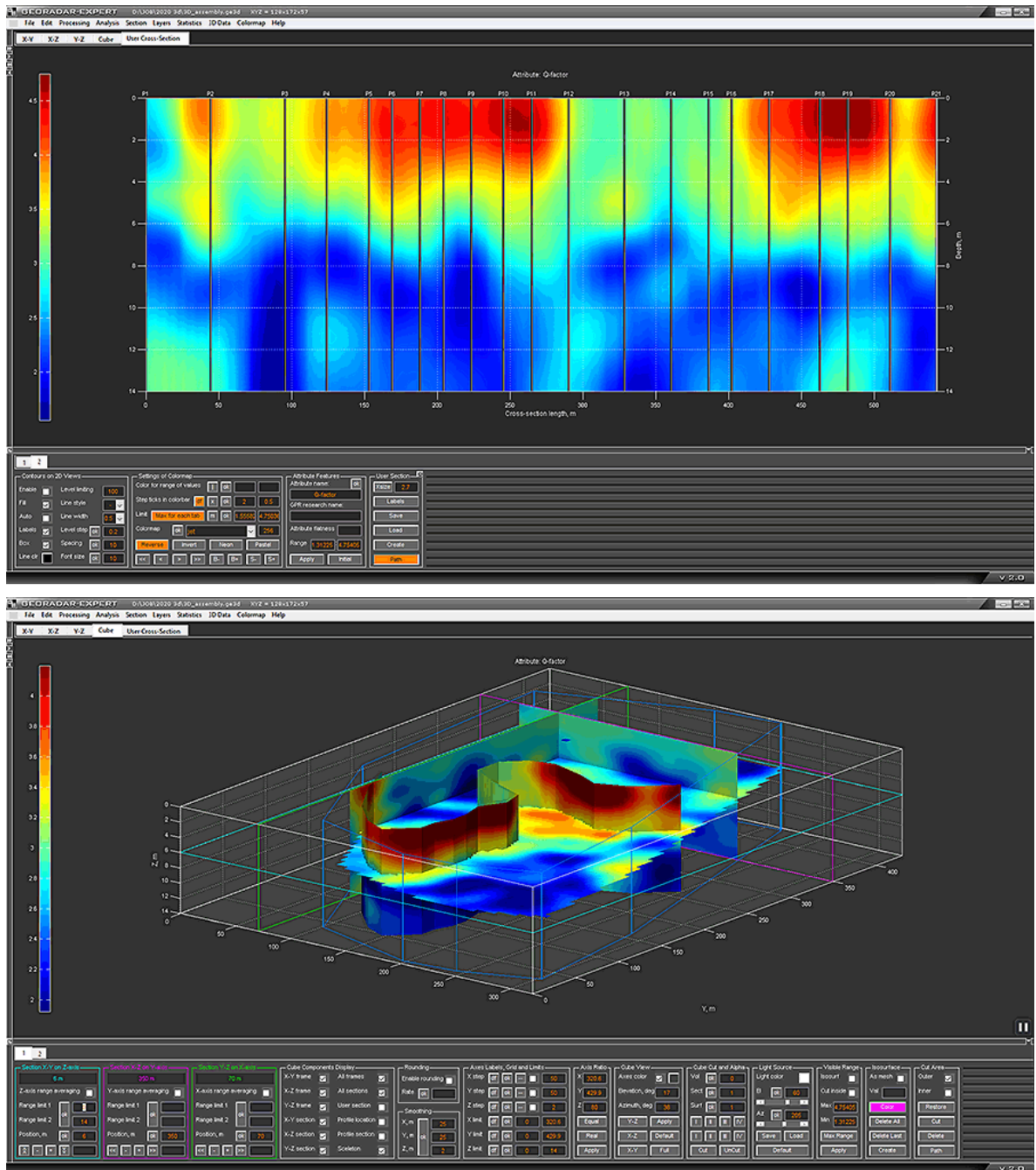


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

После того, как создание полилинии завершено, пользователь кнопкой **Create** запускает процесс создания сечения. Пользовательское сечение размещается на вкладке **User Cross-Section** в виде двумерной развёртки и на осях изометрической проекции на вкладке **Cube**. Вертикальные линии на изображении двумерной развёртки сечения показывают положение узлов полилинии, на через которую проходит это сечение.

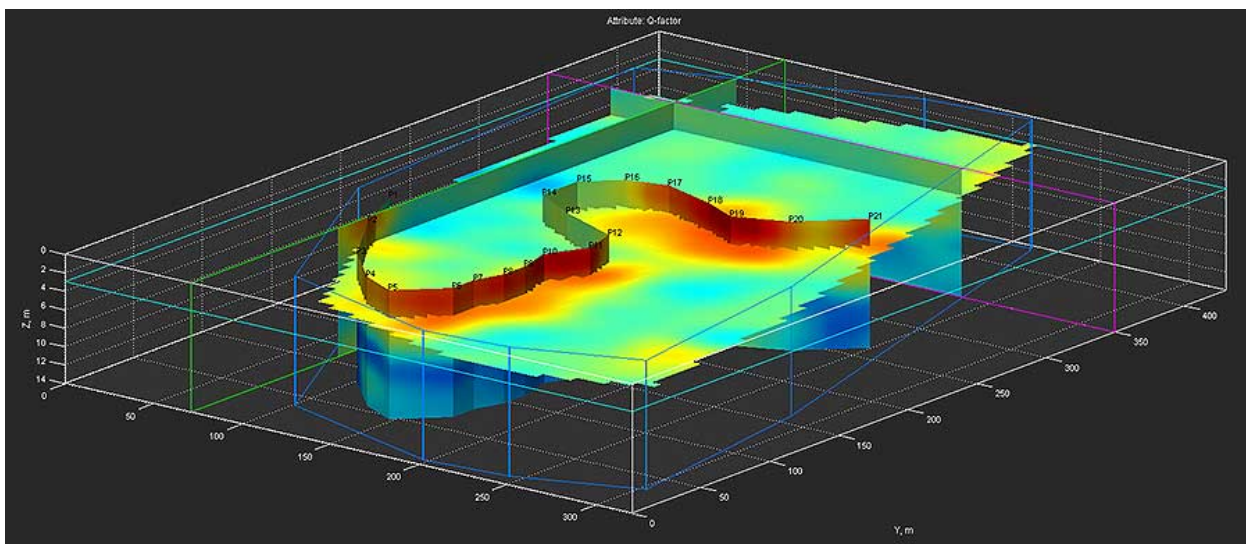
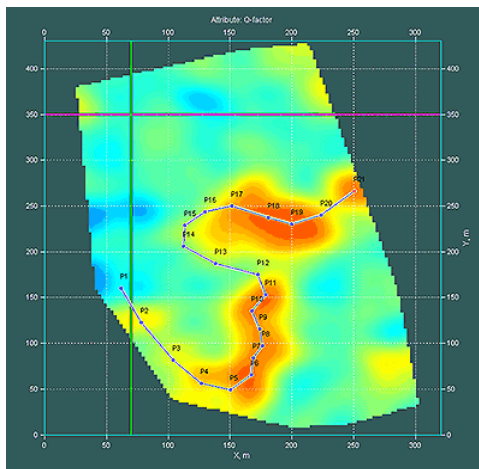
Над каждой линией отображается имя соответствующей узловой точки. По умолчанию, при создании узловой точки, ей присваивается имя, состоящее из буквы **P** (point) и порядкового номера этой точки. В дальнейшем, пользователь может изменить имя точки. На рисунке ниже показана вкладка **User Cross-Section** с изображением развёртки пользовательского вертикального сечения и вид пользовательского сечения на вкладке **Cube**:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Чтобы отобразить названия узловых точек полилинии на вкладке **X-Y** и на изображении пользовательского сечения на вкладке **Cube**, нужно нажать кнопку **Labels**:



Повторное нажатие кнопки **Labels** скрывает названия точек.

Если навести курсор мыши на узловую точку и нажать правую кнопку мыши, отобразится контекстное меню со следующими пунктами (меню одинаково для всех узловых точек):

- **Point name: Name** – отображается текущее имя узловой точки Name;
- **Position: X=Nm Y=Mm** – отображаются координаты узловой точки в метрах;
- **Set the point coordinates** – ввод координат точки в метрах. При нажатии на данный пункт меню появится всплывающее окно ввода координат;
- **Save logging trace** – сохранение данных псевдокаротажа (более подробно см. раздел <Псевдокартаж>);
- **Edit point name** – редактирование названия узловой точки. При нажатии на данный пункт меню появится всплывающее окно, где пользователь может ввести новое имя, после чего нажать кнопку **Rename**, или кнопку **Cancel**, если переименование не потребовалось;
- **Hide / show lines between points** – включение / выключение отображения соединительных линий между узловыми точками. Необходимость скрыть линии

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

может возникнуть, когда цель создания набора точек – не создание пользовательского сечения, а отметка положения каких-либо объектов - скважин, например или получение информации псевдокаротажа (более подробно см. раздел <Псевдокаротаж>);

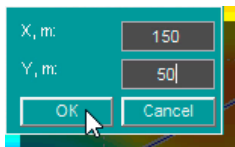
- **Remove point** – удалить текущую точку;
- **Remove all** – удалить все узловые точки полилинии, т.е. всю полилинию полностью.

Если навести курсор мыши на линию, соединяющую узловые точки и нажать правую кнопку мыши, будет доступно контекстное меню с одним пунктом **Remove all** - удалить все узловые точки полилинии, т.е. всю полилинию полностью.

Изменение положения узловой точки

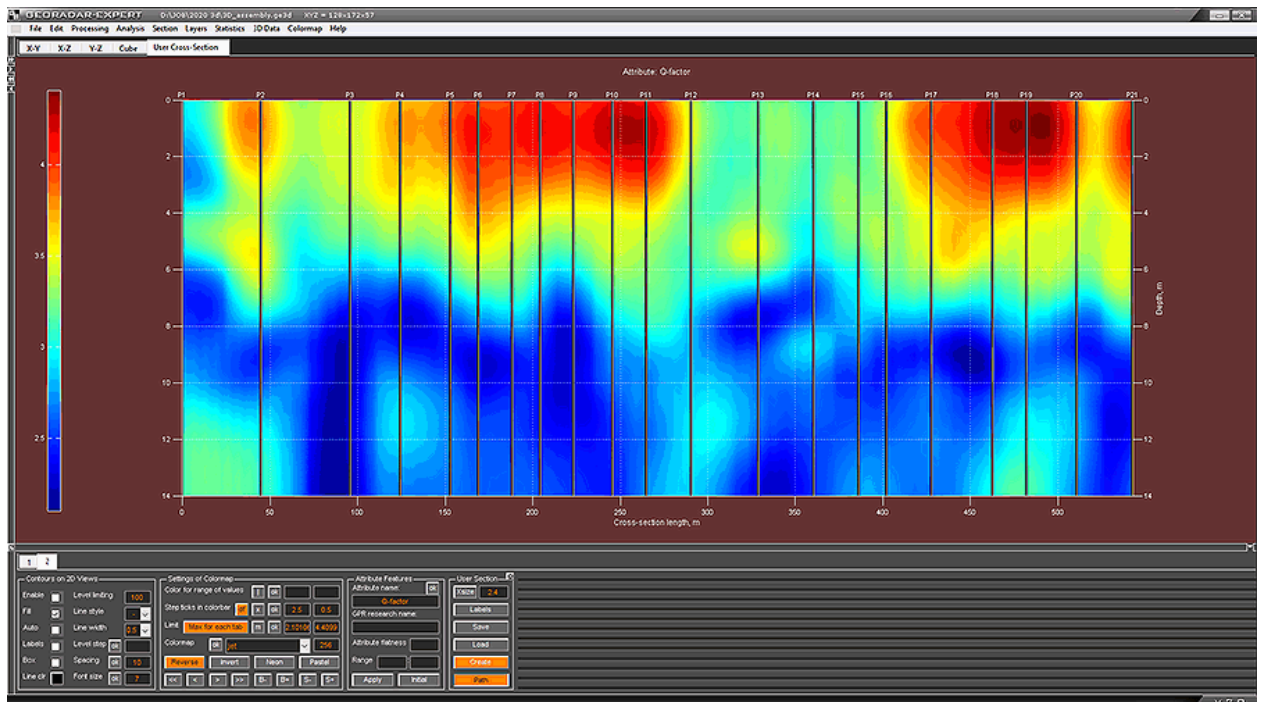
Изменять положение узловой точки можно двумя способами: двигать точку мышкой или вводить значения координат.

Чтобы изменить положение узловой точки мышью, наведите указатель мыши на точку, нажмите левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом состоянии, переместите указатель в пределах осей горизонтального сечения, после чего отпустите кнопку мыши. Узловая точка займёт новое положение, а полилиния перерисуетса заново.



Чтобы изменить положение узловой точки путём задания координат, наведите указатель мыши на точку и нажмите правую кнопку мыши. В открывшемся контекстном меню выберите пункт **Set the point coordinates**, после чего отобразится окно ввода координат. Введите координаты в метрах и нажмите кнопку **OK** - узловая точка займёт положение в соответствии с введёнными координатами, а полилиния перерисуетса заново.

После того, как в полилинию были внесены изменения, пользовательское сечение необходимо обновить при помощи кнопки **Create**. До тех пор, пока это не будет сделано, вкладка пользовательского сечения будет иметь тёмно-красный цвет, а кнопка **Create** - оранжевый:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Сохранение и загрузка данных пользовательского сечения

Пользователь может сохранить данные вертикального пользовательского сечения в формате программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ **ge3ucs**. Чтобы это сделать, нужно на панели **User Section** нажать кнопку **Save**, после чего откроется стандартное окно сохранения файла, в котором можно изменить имя сохраняемого файла и директорию, после чего нажать кнопку сохранения.

Для загрузки данных пользовательского сечения из файла **ge3ucs** нужно нажать кнопку **Load**, после чего в стандартном окне выбора файла выбрать файл с расширением **ge3ucs** и нажать кнопку **ОК**. При загрузке существующее пользовательское сечение, если таковое имеется, удаляется.

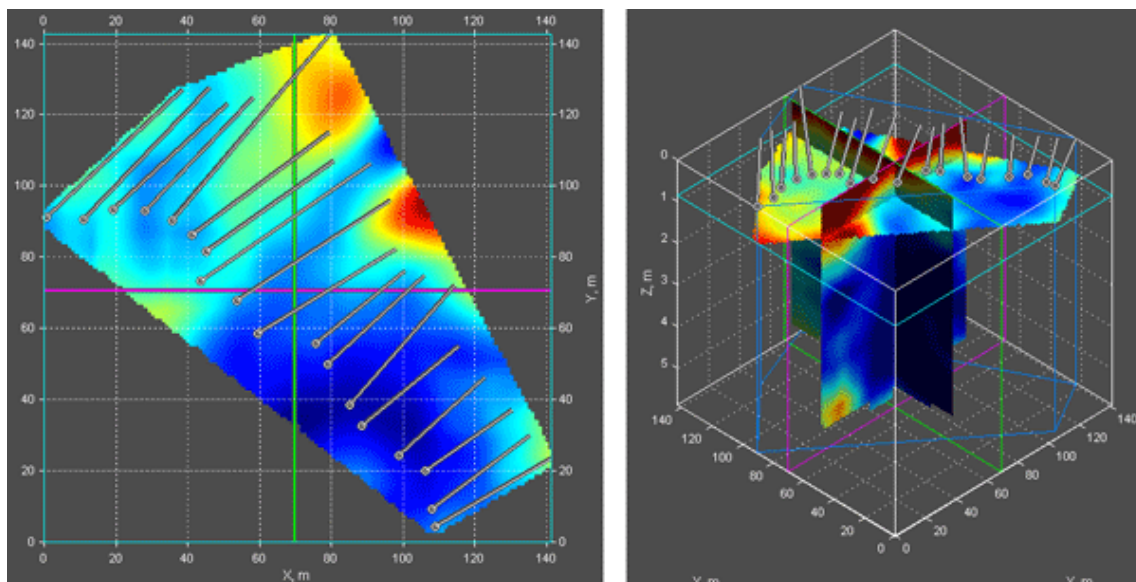
Визуализация положения георадиолокационных профилей

Чтобы отобразить положение георадиолокационных профилей, на основе результатов анализа BSEF которых строились разрезы для 3D сборки, следует отметить флажок **Profile location** на панели **Cube Components Display**.

Положение профилей отображается на сечении X-Y (вкладка **X-Y**) и изометрической проекции 3D сборки (вкладка **Cube**). Профили изображены в виде белых линий с контуром чёрного цвета, начало профиля обведено небольшой окружностью. Если по линии профиля щёлкнуть правой кнопкой мыши, отобразится всплывающее окно с именем профиля. Чтобы скрыть это всплывающее окно, нужно щёлкнуть мышью по этому окну.

Включать отображение положений профилей рекомендуется для визуальной проверки таблицы координат на возможные ошибки. Особенно это актуально для 3D сборок с большим количеством разрезов.

На рисунках ниже показано отображение положения профилей на сечении X-Y (рисунок слева) и на изометрической проекции 3D сборки (рисунок справа):



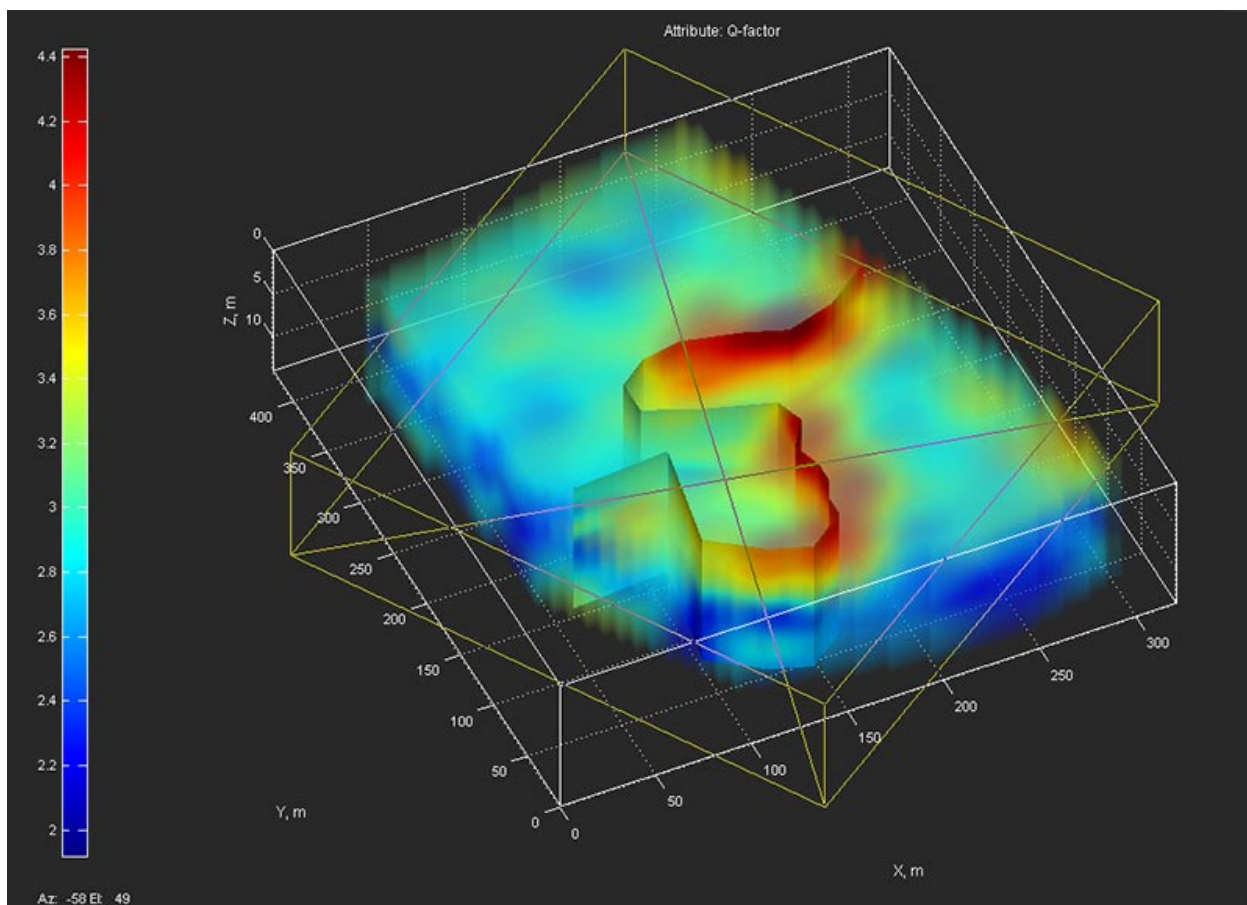
Вращение осей 3D сборки мышью на вкладке Cube

Когда указатель мыши расположен в области расположения осей изометрической проекции 3D сборки на вкладке **Cube**, он принимает вид закольцованной стрелки, символизирующей вращение. Это означает, что активирован режим вращения осей изометрической проекции при помощи мыши.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Чтобы начать вращать оси, нужно нажать и удерживать левую кнопку мыши. При этом создаётся каркас вращения, повторяющий форму осей (на рисунке ниже каркас вращения имеет жёлтый цвет). Пользователь, не отжимая левую кнопку мыши, перемещается мышью, тем самым поворачивая каркас в направлении движения мыши. После отпускания левой кнопки мыши, оси изометрической проекции 3D сборки принимают положение каркаса, а сам каркас удаляется.



В процессе вращения каркаса, в левом нижнем углу, под цветовой шкалой, в режиме реального времени отображаются изменения значений азимута **Az** и угла места **EI**. После того, как пользователь отпустит левую кнопку мыши, произойдёт выход из режима вращения мышью. Углы нового положения осей отобразятся в окнах ввода значений азимута **Azimuth, deg** и угла места **Elevation, deg** на панели **Cube View**.

Таблица объёмов

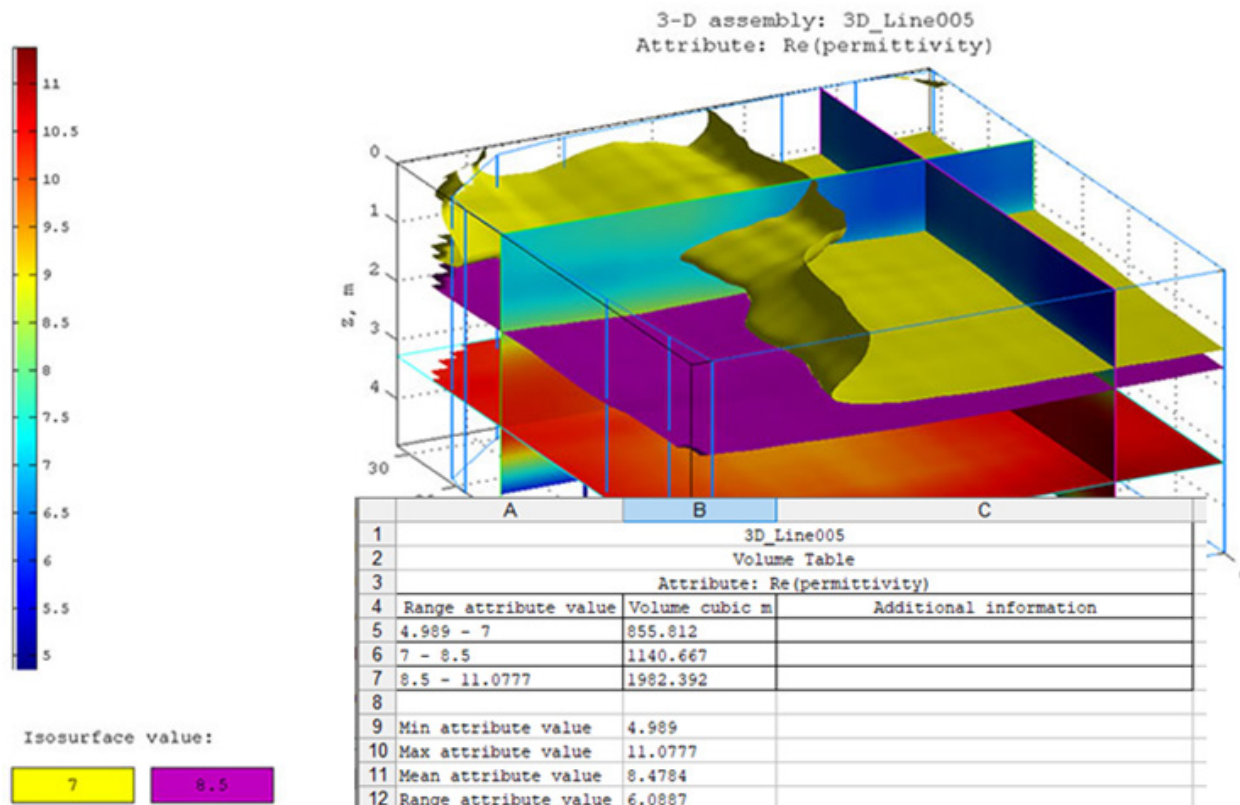
Когда 3D сборка содержит изоповерхности (см. раздел <Панель Isosurface>), то эти изоповерхности делят объём 3D сборки на части. В программе предусмотрена возможность формирования таблицы объёмов этих частей и сохранения данной таблицы в формате MS EXCEL.

Для этого требуется создать одну или несколько изоповерхностей и щёлкнуть мышью по пункту меню **Volume Table**, расположенному в группе меню **3D Data**. Таблица объёмов сохранится в директории расположения файла 3D сборки с именем файла 3D сборки, к которому добавлено окончание **volume table**. Например, если имя файла 3D сборки - **3D_Line005.ge3d**, то имя файла таблицы будет сформировано как **3D_Line005 - volume table.xls** (или, в зависимости от настроек MS OFFICE, **3D_Line005 - volume table.xlsx**).

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунке ниже, в качестве примера, показана 3D сборка с двумя изоповерхностями – по значениям атрибута 7 (изоповерхность жёлтого цвета) и 8.5 (изоповерхность фиолетового цвета) и таблица объёмов, на которые разделена 3D сборка этими изоповерхностями.



В заголовке таблицы размещается информация об имени файла 3D сборки и наименовании атрибута. Таблица состоит из трёх столбцов. В столбце **Range attribute value** отображены диапазоны значений атрибута, ограничивающие каждый из объёмов. Так как в данном примере были созданы две изоповерхности, то таблица содержит информацию по объёмам для трёх частей 3D сборки: объём первой части ограничен минимальным значением атрибута и значением 7. Объём второй части ограничен значениями изоповерхностей. Объём третьей части ограничен значением 8.5 и максимальным значением атрибута.

Столбец **Volume cubic m** содержит значения объёмов в кубических метрах. Столбец **Additional information** служит для размещения пользователем дополнительной информации после создания таблицы, если возникнет такая необходимость. Под таблицей размещается информация о минимальном, среднем и максимальном значениях атрибута, а также о величине диапазона значений атрибута 3D сборки.

Сохранение изображений 3D сборки

Элементы управления параметрами сохранения изображения 3D сборки расположены на панели **Save in graphic format**. Эта же панель служит для сохранения изображений разреза и в режиме 2D визуализации (работа с георадиолокационным профилем и разрезом).

О настройках параметров сохранения изображения, размещённых на панели **Save in graphic format**, см. в разделе <Сохранение изображения в графическом формате>.

Автоматизированное сохранение серии изображений сечений 3D сборки

Чтобы сохранить серию изображений сечений X-Y, X-Z или Y-Z, пользователь должен выбрать нужную вкладку X-Y, X-Z или Y-Z. Далее, в окне ввода параметра **Step** на соответствующей панели **Position X-Y on Z, Position X-Z on Y** или **Position Y-Z on X**, задать значение шага сохранения в метрах и щёлкнуть мышью пункт меню **Get Slice** из группы меню **3D Data**.

После выполнения этих действий программа начнёт автоматически перемещать сечение вдоль соответствующей оси и через равные расстояния, заданные значением **Step**, осуществлять сохранение изображений в соответствии с параметрами, определёнными на панели настроек сохранения данных в графическом формате **Save in Graphic Format**. Сохранение осуществляется в директорию расположения файла 3D сборки.

Имя сохраняемого файла изображения генерируется автоматически и состоит из имени файла 3D сборки, названия атрибута 3D сборки, названия сечения и положения этого сечения на соответствующей оси. Например, из названия файла **3D_Line005 Re(permittivity) Section X-Z, 10 m on Y-axis.png** следует, что имя 3D сборки - **3D_Line005**, атрибут 3D сборки - **Re(permittivity)**, сечение - **X-Z**, положение данного сечения на оси **Y** составляет 10 метров от начала координат.

Если к началу процесса автоматизированного сохранения панель **Save in Graphic Format** не была открыта, перед первым сохранением данная панель автоматически откроется, и сохранение будет производиться в соответствии с настройками по умолчанию.

Автоматизированное сохранение сечений в местоположении профилей

Чтобы сохранить вертикальные сечения в месте расположения георадиолокационных профилей, по результатам автоматизированного анализа BSEF которых была создана 3D сборка, нужно щёлкнуть мышью пункт меню **Get Profile Slice** из группы меню **3D Data**. После щелчка мышью по пункт меню **Get Profile Slice**, программа начнёт осуществлять сохранение изображений в графическом формате в соответствии с параметрами, определёнными на панели настроек сохранения данных в графическом формате **Save in Graphic Format**. Сохранение осуществляется в директорию расположения файла 3D сборки.

Имя сохраняемого файла изображения генерируется автоматически и состоит из имени файла 3D сборки, названия атрибута 3D сборки и имени файла георадарного профиля. Например, из названия файла изображения сечения по местоположению георадарного профиля **3D_Line005 Re(permittivity) PR0007.png** следует, что имя 3D сборки - **3D_Line005**, атрибут 3D сборки - **Re(permittivity)**, а имя профиля - **PR0007**.

Если к началу процесса автоматизированного сохранения панель **Save in Graphic Format** не была открыта, перед первым сохранением данная панель автоматически откроется, и сохранение будет производиться в соответствии с настройками по умолчанию.

Пространственный анализ атрибута 3D сборки

Пространственный анализ атрибутов SAA (Spatial Analysis Attributes) для 3D сборки аналогичен пространственному анализу атрибутов для разреза. Информация о SAA представлена в разделе <Пространственный анализ атрибутов>.

Порядок действий пользователя по выполнению пространственного анализа атрибутов 3D сборки

- Открыть файл 3D сборки (см. раздел <Загрузка 3D сборки>);

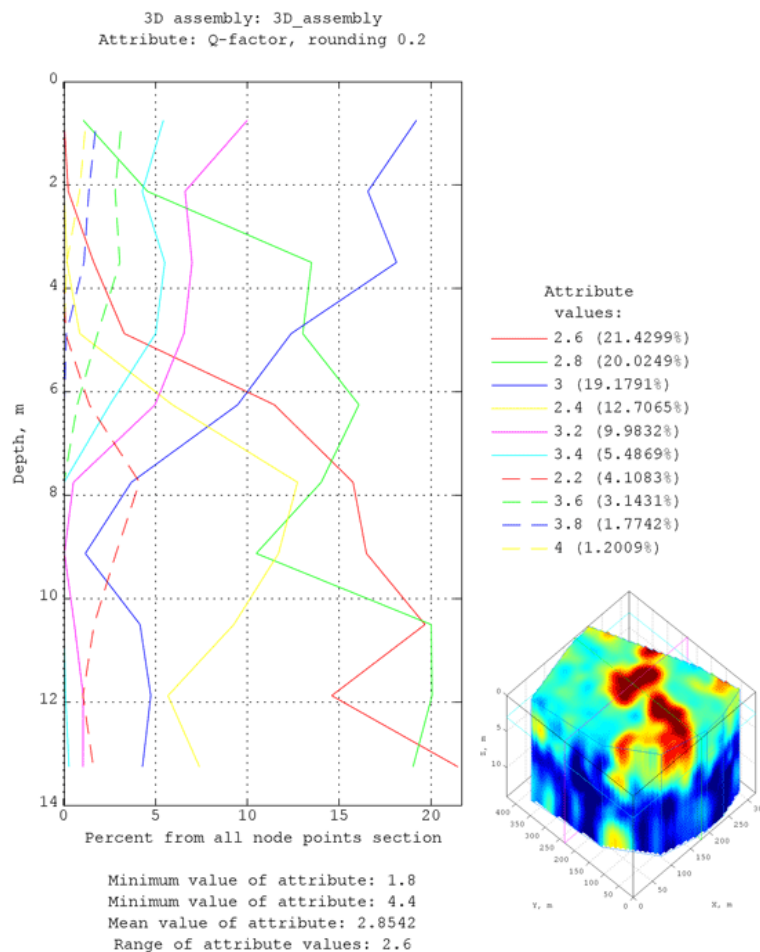
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Задать параметр точности округления **Value of rounding** на панели **Rounding**, и нажать кнопку **ok** на этой же панели (более подробно см. в разделе <Панель Rounding>). Округление необходимо для уменьшения количества уникальных значений атрибута 3D сборки. Если округление не выполнить, то из-за значительного количества уникальных значений может произойти переполнение буфера памяти компьютера;
- Для запуска процесса пространственного анализа атрибута следует щёлкнуть по пункту меню **Spatial Analysis Attributes**, расположенному в группе меню **Analysis**;
- После завершения процесса пространственного анализа атрибута SAA отобразится сообщение об окончании анализа с вопросом о том, хочет ли пользователь открыть директорию сохранения данных анализа. Если пользователь нажмёт на кнопку **Yes**, то окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ автоматически минимизируется (на панели задач отобразится значок программы) и в проводнике Windows откроется окно папки сохранения анализа.

Примечание: Пространственный анализ атрибута производится только для отображаемого диапазона данных. Об ограничении диапазона визуализации см. в разделе <Панель Visible Range>.

На рисунке ниже показано изображение **All graphs on one sheet.png** из папки результатов анализа 3D сборки **SAA 3D_assembly Q-factor rounding 0.2**:



Псевдокаротаж

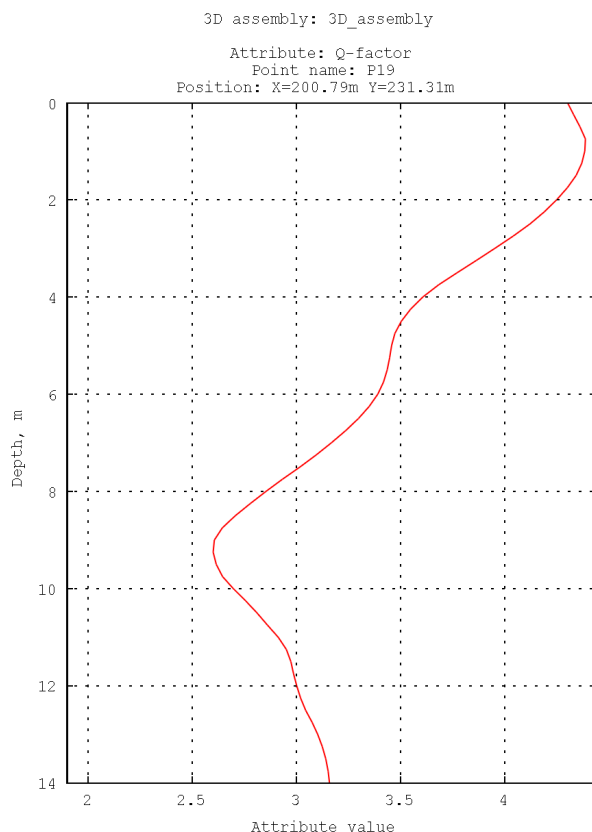
Псевдокаротаж позволяет получить наглядное представление об изменении атрибута 3D сборки по глубине в заданном месте площадки георадарного исследования. Чтобы получить и сохранить данные псевдокаротажа нужно активировать режим создания полилинии для пользовательского сечения (более подробно см. раздел <Создание пользовательского сечения>). Пользователю нужно создать в местах отбора данных псевдокаротажа узловые точки так, как если бы он создавал полилинию для пользовательского сечения, но без дальнейшего создания пользовательского сечения на основе этой полилинии.

После создания необходимого количества узловых точек, пользователь может отключить отображение линий, соединяющей узловые точки – для этого нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши по одной из узловых точек и в появившемся меню щёлкнуть пункт **Hide / show lines between points**.

Для сохранения данных псевдокаротажа для одной точки следует навести указатель мыши на эту узловую точку, нажать правую кнопку мыши и в появившемся меню выбрать пункт меню **Save logging trace**. После щелчка мыши по данному пункту меню в директорию расположения файла 3D сборки сохранятся два файла данных псевдокаротажа для этой точки – графический и текстовый.

Файлы имеют одинаковые имена, но разные расширения – **png** для графического файла и **txt** для текстового. Имена файлов состоят из имени 3D сборки, словосочетания **logging trace** и номера точки, в которой получены данные псевдокаротажа. Например: **3Dname logging trace in P23.png(txt)**, где **3Dname** – это название файла 3D сборки, а **P23** – наименование точки.

Файл в графическом формате содержит график изменения атрибута по глубине - см. рисунок ниже:

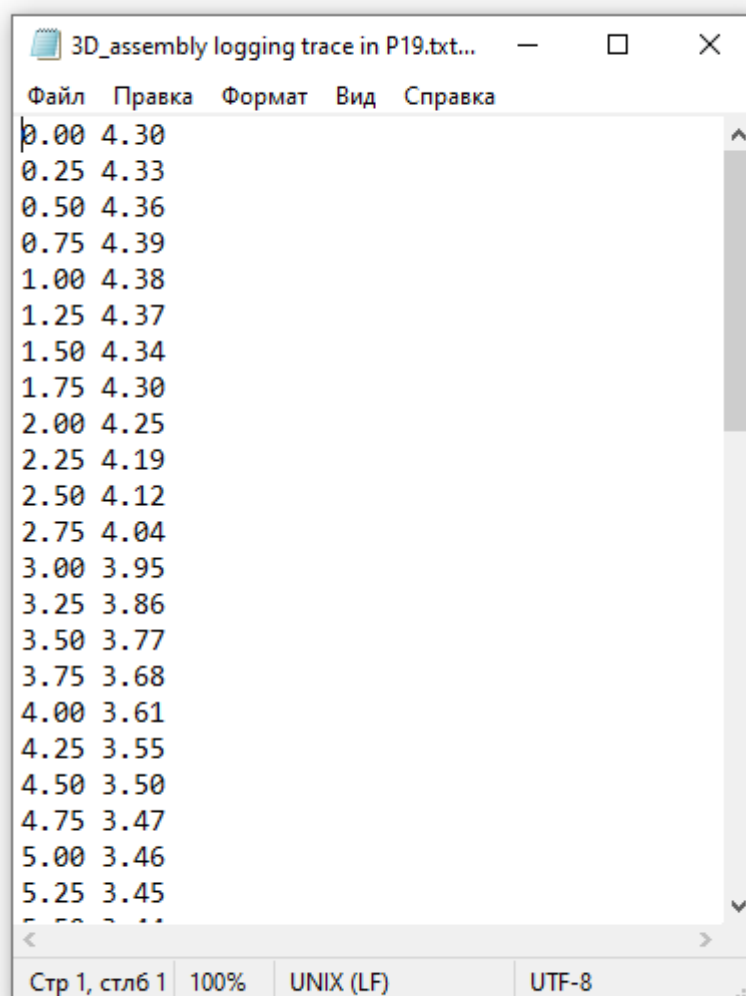


ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В верхней части изображения размещается имя файла 3D сборки, название атрибута и информация о точке псевдокаротажа – её название и координаты. Вертикальная ось графика – это глубина в метрах, горизонтальная ось – значение атрибута. Пределы горизонтальной оси графика одинаковые для всех точек каротажа 3D сборки и равны минимальному и максимальному значению атрибута 3D сборки для нижнего и верхнего предела горизонтальной оси соответственно.

файл в текстовом формате содержит таблицу из двух столбцов с разделителем в виде пробела, где первый столбец - это значения вертикальной шкалы в метрах, второй столбец – значения атрибута, см. рисунок ниже:



The screenshot shows a text editor window titled "3D_assembly logging trace in P19.txt...". The window contains a table with two columns of data. The first column represents depth in meters, ranging from 0.00 to 5.25 in increments of 0.25. The second column represents attribute values, which vary between approximately 3.45 and 4.39. The table is displayed in a plain text format with a space character as a separator between the two columns.

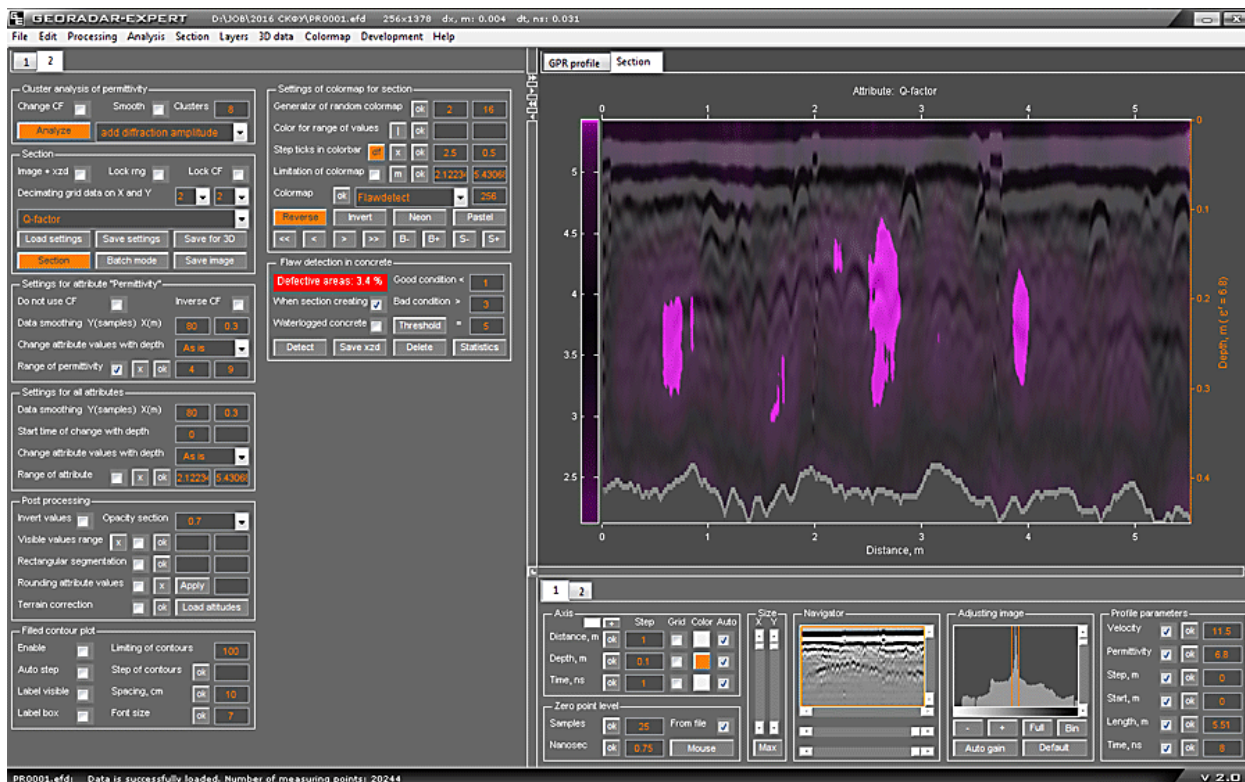
| Глубина (м) | Значение атрибута |
|-------------|-------------------|
| 0.00 | 4.30 |
| 0.25 | 4.33 |
| 0.50 | 4.36 |
| 0.75 | 4.39 |
| 1.00 | 4.38 |
| 1.25 | 4.37 |
| 1.50 | 4.34 |
| 1.75 | 4.30 |
| 2.00 | 4.25 |
| 2.25 | 4.19 |
| 2.50 | 4.12 |
| 2.75 | 4.04 |
| 3.00 | 3.95 |
| 3.25 | 3.86 |
| 3.50 | 3.77 |
| 3.75 | 3.68 |
| 4.00 | 3.61 |
| 4.25 | 3.55 |
| 4.50 | 3.50 |
| 4.75 | 3.47 |
| 5.00 | 3.46 |
| 5.25 | 3.45 |

Дефектоскопия строительных конструкций из бетона

Дефектоскопия бетонных и железобетонных строительных конструкций основана на выявлении областей разреза с повышенными значениями атрибута **Q-factor** (отношение центральной частоты отражённого сигнала к его ширине по уровню -3 Дб). В маловлажных бетонах области с повышенными значениями атрибута **Q-factor** соответствуют зонам повышенной трещиноватости, пористости и пониженной плотности бетона. В обводнённых строительных конструкциях наоборот, пониженные значения атрибута **Q-factor** соответствуют зонам ослабленного бетона, так как поры и трещины заполнены водой.

Дефектоскопия производится следующим образом: пользователь загружает в программу георадиолокационный профиль с результатами анализа поля обратного рассеяния (расширение **efd**), полученный в ходе георадарного исследования бетонной конструкции, устанавливает значения порогов выявления дефектов и определения состояния бетона, после чего запускает процесс дефектоскопии кнопкой **Detect** на панели **Flaw Detection in Concrete**.

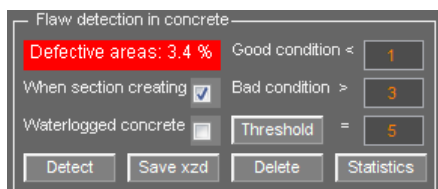
Если пороги не определены пользователем, то они устанавливаются по умолчанию. В результате процесса дефектоскопии строится разрез атрибута **Q-factor**, на котором дефектные области отображаются в виде ярких пятен, наложенных на волновую картину георадиолокационного профиля:



Наряду с этим, в левом верхнем углу панели **Flaw Detection in Concrete** отображается значение процентной доли дефектных областей разреза от общей площади разреза **Defective areas**. Цвет фона надписи является индикатором состояния бетона: красный, жёлтый и зелёные цвета соответствуют неудовлетворительному, удовлетворительному и хорошему состоянию, соответственно.

Разрез с выделенными дефектными областями можно сохранить в виде изображения или в формат **xzd** для дальнейшей сборки в 3D (если производилось площадное исследование). На основе

данных дефектоскопии по нескольким георадиолокационным профилям, сохранённых в формате **xzd**, можно формировать таблицу в формате MS EXCEL содержащую статистические данные по дефектам.



Элементы управления параметрами дефектоскопии бетонных строительных конструкций расположены на панели **Flaw Detection in Concrete**. Данная панель принадлежит левой группе вкладок и загружается автоматически при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании анализа (если активирован пункт меню **Display CF and**

Parameters of Section в группе меню **File**).

На панели **Flaw detection in concrete** размещены следующие элементы управления параметрами:

- **Defective areas** – текстовое поле отображения процентной доли дефектных областей разреза от общей площади разреза. Цвет фона текстового поля меняется в зависимости от оценки состояния бетона, которая, в свою очередь, зависит от значения процентной доли дефектных областей. Зелёный цвет фона соответствует хорошему состоянию бетона, жёлтый – удовлетворительному состоянию, и красный – не удовлетворительному. Пороги значений процентной доли дефектных областей для оценки состояния бетона определяются параметрами **Good condition** и **Bad condition** ;
- **Good condition** – порог значения процентной доли дефектных областей, ниже которого состояние бетона можно охарактеризовать, как хорошее. По умолчанию значение порога равно 1%;
- **Bad condition** – порог значения процентной доли дефектных областей, выше которого состояние бетона можно охарактеризовать, как не удовлетворительное. По умолчанию значение порога равно 3%. Если значение процентной доли дефектных областей лежит в диапазоне, ограниченном значениями параметров **Good condition** и **Bad condition**, то состояние бетона оценивается, как удовлетворительное;
- = - окно ввода значения порога дефектоскопии расположено правее кнопки **Threshold**. Области со значениями атрибута **Q-factor** выше или ниже данного порога (см. описание флажка **Waterlogged concrete**) определяются в качестве дефектных;
- **Threshold** – кнопка применения нового значения порога дефектоскопии, если разрез уже построен. Окно ввода значения порога дефектоскопии расположено правее данной кнопки;
- **When section creating** – если данный флажок отмечен, то процесс построения разреза можно запускать не только кнопкой **Detect** на панели **Flaw Detection in Concrete**, но и кнопкой **Section** на панели **Section**, а также, если требуется произвести дефектоскопию на основе нескольких георадиолокационных профилей, кнопкой **Batch mode** на панели **Section**.
- **Waterlogged concrete** – если данный флажок не отмечен (по умолчанию), то дефектоскопия производится для бетона в сухом состоянии – т.е. дефектным областям соответствуют области с повышенными значениями атрибута **Q-factor**. Если флажок отмечен, то дефектоскопия производится для бетона в обводнённом состоянии – т.е. дефектным областям соответствуют области с пониженными значениями атрибута **Q-factor**;
- **Detect** – кнопка запуска процесса дефектоскопии на основе загруженного в программу георадиолокационного профиля с результатами анализа поля обратного рассеяния. Если требуется произвести дефектоскопию на основе нескольких профилей, следует отметить флажок **When section creating**, нажать кнопку **Batch mode** на панели **Section**, и выбрать требуемые профили;

- **Save xzd** – кнопка сохранения разреза дефектоскопии в формат **xzd** (более подробно см. в разделе <Сохранение данных разреза в формат xzd>). Также, файлы в формате **xzd** требуются для формирования таблицы статистики;
- **Delete** – кнопка удаления результатов дефектоскопии. После нажатия данной кнопки отображается разрез **Q-factor** без учёта порогов дефектоскопии;
- **Statistics** – кнопка запуска формирования таблицы статистики дефектоскопии для нескольких георадиолокационных профилей на основе данных в формате **xzd**.

Дефектоскопия - порядок действий пользователя

Для выделения дефектных областей в бетонной или железобетонной строительной конструкции требуются георадиолокационные профили с результатами анализа поля обратного рассеяния (BSEF). Для выполнения анализа BSEF следует выполнить пункты 4 – 6 раздела <Типовая последовательность действий пользователя по получению разреза исследуемой среды>.

Пояснение: далее, в данном разделе, под определением “группа георадиолокационных профилей” подразумеваются профили, полученные в ходе исследования однотипных строительных конструкций, принадлежащих какой-либо части одного сооружения - например, железобетонных балок перекрытий одного из этажей здания.

Перед тем, как произвести дефектоскопию на основе группы георадиолокационных профилей, следует настроить пороги дефектоскопии и оценки состояния бетона. Для этого требуется выполнить следующие действия (для сухого бетона):

1. Открыть файл георадиолокационного профиля с расширением **efd** с результатами анализа BSEF, полученный в ходе георадарного профилирования бетонной или железобетонной конструкции, имеющей заведомо хорошее состояние бетона;
2. Удалить значения (если таковые присутствуют) из окон ввода параметров **Good condition**, **Bad condition** и из окна ввода значения порога дефектоскопии, расположенного правее кнопки **Threshold**.
3. Нажатием кнопки **Detect** запустить процесс дефектоскопии. Если окна ввода параметров порога дефектоскопии, **Good condition** и **Bad condition** будут пустыми, программа автоматически выставит значения порога дефектоскопии, равное значению атрибута **Q-factor** 5 и пороги процентной доли дефектных областей **Good condition** = 1% и **Bad condition** = 3%. Это означает, что дефектными будут считаться области разреза со значениями атрибута **Q-factor**, превышающими 5, причём если таких областей на разрезе будет менее 1% от общей площади разреза, то состояние строительной конструкции оценивается как хорошее, если площадь дефектных областей составляет от 1 до 3 процентов, то строительная конструкция находится в удовлетворительном состоянии, а если более 3% - то в неудовлетворительном состоянии.
4. После окончания процесса дефектоскопии, изменяя значения порога дефектоскопии при помощи окна ввода значения, расположенного правее кнопки **Threshold** и применяя это значение кнопкой **Threshold**, следует добиться, чтобы процентная доля дефектных областей была меньше значения, установленного параметром **Good condition**. Значение процентной доли дефектных областей (**Defective areas**) отображается в текстовом поле, расположенном в левом верхнем углу панели **Flaw Detection in Concrete**. Фон текстового поля зависит от значения процентной доли дефектных областей **Defective areas** и принимает зелёный цвет, если значение **Defective areas** меньше значения **Good condition**.

5. Далее, следует открыть файл георадиолокационного профиля с расширением **efd** с результатами анализа BSEF, полученный в ходе георадарного профилирования бетонной или железобетонной конструкции, имеющей заведомо плохое состояние бетона (например, видны трещины, выходящие на поверхность).
6. Нажатием кнопки **Detect** запустить процесс дефектоскопии. Так как окна ввода параметров порога дефектоскопии, **Good condition** и **Bad condition** уже не будут пустыми, дефектоскопия будет проведена в соответствии с этими параметрами. Если по окончании процесса дефектоскопии процентная доля дефектных областей будет больше значения, установленного параметром **Bad condition**, то значение порога дефектоскопии, определяемое в окне ввода, расположенного правее кнопки **Threshold**, выбрано правильно, и можно запускать пакетную обработку данных с целью выявления дефектов кнопкой **Batch mode** на панели **Section**. Если же процентная доля дефектных областей будет меньше значения **Bad condition** то, изменяя значения параметров порога дефектоскопии и **Bad condition**, и применяя эти изменения кнопкой **Threshold**, следует добиться, чтобы процентная доля **Defective areas** была больше значения **Bad condition**.
7. После того, как значения параметров порога дефектоскопии **Threshold** и процентной доли дефектных областей **Good condition** и **Bad condition** настроены, можно производить обнаружение дефектных областей для всех георадиолокационных профилей, входящих в группу. Для этого следует отметить флажок **When section creating** и нажать кнопку **Batch mode** на панели **Section** для выбора нескольких файлов. После закрытия окна выбора файлов процесс обработки выбранных файлов начнётся автоматически.

В режиме обработки группы профилей (пакетная обработка файлов), результаты поиска дефектных областей автоматически сохраняются в файлы графического формата и в файлы данных с расширением **xzd**. Сохранение производится в директорию расположения обрабатываемых файлов.

Чтобы сохранить результаты поиска дефектных областей полученных не в процессе обработки группы георадиолокационных профилей, а профиля, открытого в программе, следует воспользоваться меню **Save in Graphic Format**, расположенным в группе меню **File**, или кнопкой **Save image** на панели **Section** (более подробно см. в разделе <Сохранение изображения в графическом формате>).

Чтобы сохранить в этом же режиме данные в формат **xzd**, следует воспользоваться кнопкой **Save xzd** на панели **Flaw detection in concrete** или кнопкой **Save for 3D** на панели **Section** или пунктом меню **Save Section in XZD**, расположенным в группе меню **Section**.

Файлы данных с расширением **xzd** можно объединить в 3D сборку (более подробно см. в разделе <Создание 3D сборки разрезов по координатам XY>) – например, если производилось площадное исследование железобетонной плиты перекрытия.

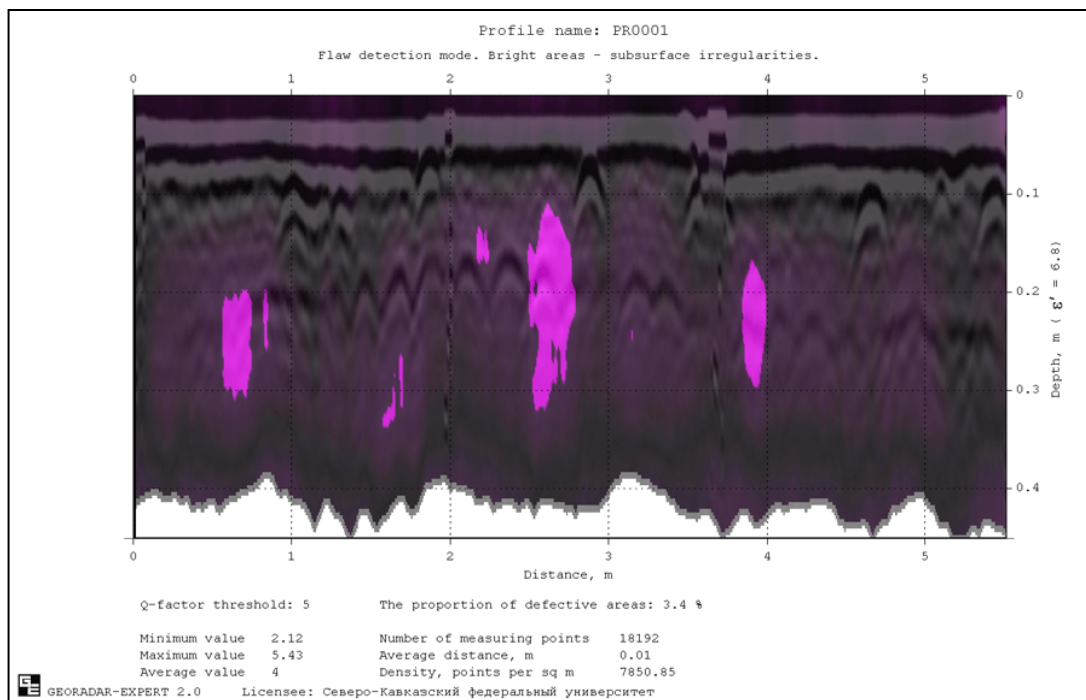
Также, при помощи файлов с расширением **xzd**, полученных в ходе дефектоскопии, можно сформировать таблицу статистики данных дефектоскопии.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

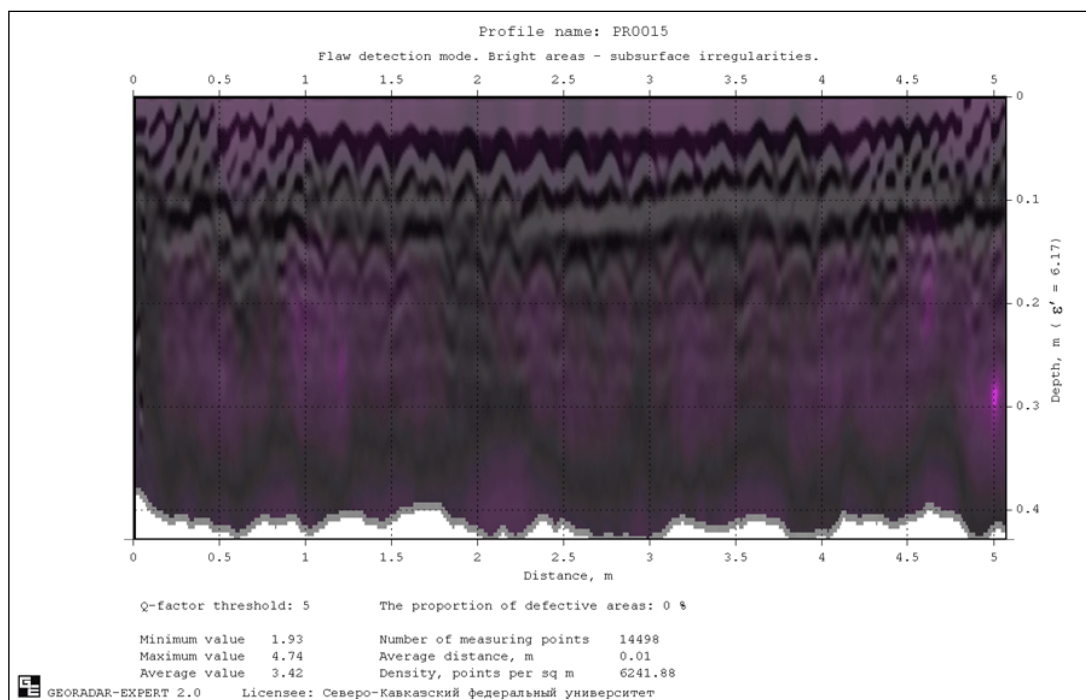
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунках ниже показаны примеры результатов дефектоскопии, сохранённых в графическом формате. Исследовались железобетонные балки перекрытий.

Результат дефектоскопии балки, находящейся в неудовлетворительном состоянии. В районе отметки 2.65 м от начала профиля балка имеет трещину.



Результат дефектоскопии балки, находящейся в хорошем состоянии. Дефектные области отсутствуют.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

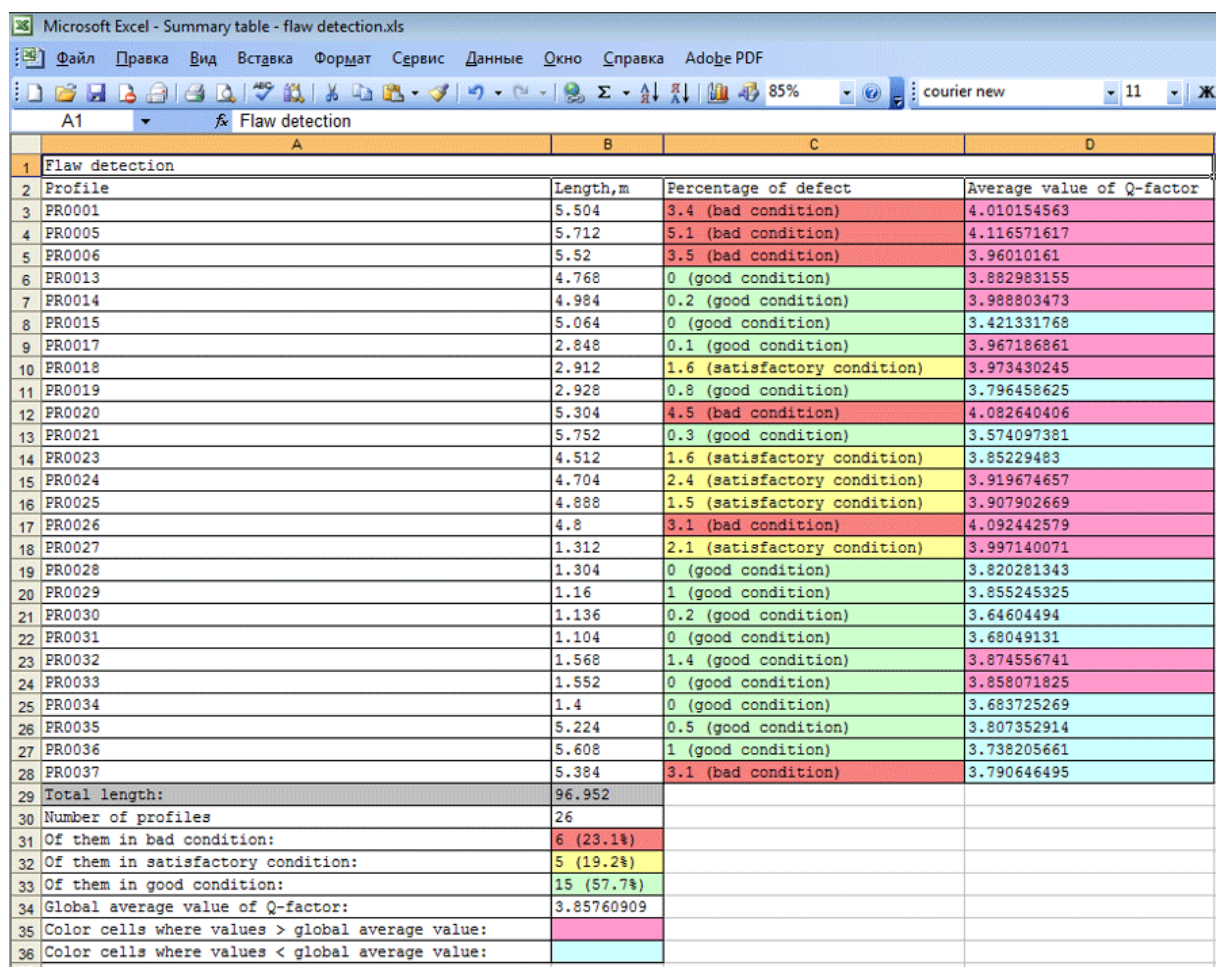
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Создание таблицы по результатам дефектоскопии

Чтобы сформировать таблицу статистических данных дефектоскопии требуется нажать кнопку **Statistics** на панели **Flaw Detection in Concrete** и в открывшемся окне выбора файлов, выбрать группу файлов с расширением **xzd**, сохранённых в результате процесса дефектоскопии. После выбора группы файлов и закрытия окна выбора, процесс формирования таблицы статистики запустится автоматически. Сформированная таблица в формате **MS EXCEL** сохраняется в директорию нахождения файлов **xzd** под именем **Summary table - flaw detection.xls**.

На рисунке ниже приведён пример таблицы статистических данных дефектоскопии для группы георадиолокационных профилей:



| Profile | Length, m | Percentage of defect | Average value of Q-factor |
|--|------------|------------------------------|---------------------------|
| PR0001 | 5.504 | 3.4 (bad condition) | 4.010154563 |
| PR0005 | 5.712 | 5.1 (bad condition) | 4.116571617 |
| PR0006 | 5.52 | 3.5 (bad condition) | 3.96010161 |
| PR0013 | 4.768 | 0 (good condition) | 3.882983155 |
| PR0014 | 4.984 | 0.2 (good condition) | 3.988803473 |
| PR0015 | 5.064 | 0 (good condition) | 3.421331768 |
| PR0017 | 2.848 | 0.1 (good condition) | 3.967186861 |
| PR0018 | 2.912 | 1.6 (satisfactory condition) | 3.973430245 |
| PR0019 | 2.928 | 0.8 (good condition) | 3.796458625 |
| PR0020 | 5.304 | 4.5 (bad condition) | 4.082640406 |
| PR0021 | 5.752 | 0.3 (good condition) | 3.574097381 |
| PR0023 | 4.512 | 1.6 (satisfactory condition) | 3.85229483 |
| PR0024 | 4.704 | 2.4 (satisfactory condition) | 3.919674657 |
| PR0025 | 4.888 | 1.5 (satisfactory condition) | 3.907902669 |
| PR0026 | 4.8 | 3.1 (bad condition) | 4.092442579 |
| PR0027 | 1.312 | 2.1 (satisfactory condition) | 3.997140071 |
| PR0028 | 1.304 | 0 (good condition) | 3.820281343 |
| PR0029 | 1.16 | 1 (good condition) | 3.855245325 |
| PR0030 | 1.136 | 0.2 (good condition) | 3.64604494 |
| PR0031 | 1.104 | 0 (good condition) | 3.68049131 |
| PR0032 | 1.568 | 1.4 (good condition) | 3.874556741 |
| PR0033 | 1.552 | 0 (good condition) | 3.858071825 |
| PR0034 | 1.4 | 0 (good condition) | 3.683725269 |
| PR0035 | 5.224 | 0.5 (good condition) | 3.807352914 |
| PR0036 | 5.608 | 1 (good condition) | 3.738205661 |
| PR0037 | 5.384 | 3.1 (bad condition) | 3.790646495 |
| Total length: | 96.952 | | |
| Number of profiles | 26 | | |
| Of them in bad condition: | 6 (23.1%) | | |
| Of them in satisfactory condition: | 5 (19.2%) | | |
| Of them in good condition: | 15 (57.7%) | | |
| Global average value of Q-factor: | 3.85760909 | | |
| Color cells where values > global average value: | | | |
| Color cells where values < global average value: | | | |

Таблица состоит из следующих элементов:

- **Profile** – столбец содержит имена профилей без расширения;
- **Length, m** – столбец содержит длины профилей в метрах для каждого профиля;
- **Percentage of defect** - столбец содержит значения процентной доли дефектных областей разреза от общей площади разреза;
- **Average value of Q-factor** – столбец содержит средние значения атрибута **Q-factor** по разрезу. Ячейки, содержащие значения, ниже среднего значения атрибута **Q-factor** по всем разрезам, указанного в строке **Global average value of Q-factor** окрашены в голубой цвет, ячейки со значениями выше значения **Global average value of Q-factor** окрашены в розовый цвет;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- **Total length** – строка содержит суммарную длину профилей;
- **Number of profiles** - строка содержит количество профилей;
- **Of them in bad condition** – строка содержит количество и процентную долю профилей, показавших неудовлетворительное состояние бетона. Подобные ячейки в столбце окрашены в красный цвет;
- **Of them in satisfactory condition** – строка содержит количество и процентную долю профилей, показавших удовлетворительное состояние бетона. Подобные ячейки в столбце окрашены в жёлтый цвет;
- **Of them in good condition** – строка содержит количество и процентную долю профилей, показавших хорошее состояние бетона. Подобные ячейки в столбце окрашены в зелёный цвет;
- **Global average value of Q-factor** - строка содержит среднее значение атрибута **Q-factor** по всем разрезам;
- **Color cells where values > global average value** - строка информирует о цвете, которым окрашены ячейки в столбце **Average value of Q-factor**, значения которых выше среднего значения атрибута **Q-factor** по всем разрезам, указанного в строке **Global average value of Q-factor**;
- **Color cells where values < global average value** - строка информирует о цвете, которым окрашены ячейки в столбце **Average value of Q-factor**, значения которых ниже среднего значения атрибута **Q-factor** по всем разрезам, указанного в строке **Global average value of Q-factor**;

Примечание:

На значение порога дефектоскопии (задаётся в окне ввода, расположенного правее кнопки применения порога дефектоскопии **Threshold**), влияет значение сглаживания атрибута при расчёте разреза, задаваемый в группе параметров **Data smoothing Y(samples) X(m)**, расположенных на панели **Settings for All Attributes**. Рекомендуется задавать эти параметры **Y(samples)=80** и **X(m)=0.3**. Как показала практика, это оптимальные параметры сглаживания для дефектоскопии на основе данных, полученных антенными блоками георадара с центральной частотой выше 1 ГГц, количеством сэмплов в георадиолокационной трассе 512 и шагом профилирования 0.005 м. При увеличении значений сглаживания порог дефектоскопии несколько снижается, при уменьшении значений сглаживания порог дефектоскопии возрастает.

Рекомендуется задать диапазон диэлектрической проницаемости разреза в группе параметров **Range of Permittivity** на панели **Settings for Attribute "Permittivity"** как 4 – 9. Никаких других ограничений диапазонов значимых атрибутов при дефектоскопии производить не требуется.

Статистический анализ

Модуль статистического анализа **Statistics**, реализованный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, предназначен для обобщения результатов георадарного профилирования и наглядного представления изменчивости георадиолокационной информации. При помощи результатов статистического анализа, представленных в виде таблиц и графиков, можно устанавливать взаимосвязь между физико-механическими характеристиками исследуемой среды (например, грунтов или строительных конструкций) и различными статистическими показателями, формируя, таким образом, совокупность признаков, которую можно применять в дальнейшем для оценки состояния аналогичных объектов. Перечень статистических показателей представлен в разделе <Статистические показатели>.

Источником статистических данных (далее - источник статистики) являются георадиолокационные профили, разрезы, рассчитанные на основе результатов автоматизированного анализа BSEF (разрезы атрибутов волнового поля или характеристик исследуемой среды) и вертикальные сечения 3D сборки этих разрезов. Если на георадиолокационный профиль, разрез атрибута или сечение 3D сборки пользователь нанёс границы слоёв, то статистические показатели рассчитываются внутри каждого слоя, по границе каждого слоя и для источника статистики в целом, без учёта разделения на слои. Источник статистики в целом (без учёта слоёв), слои, и границы слоёв далее называются элементами источника статистики. Если источник статистики не содержит границ слоёв, то он состоит из одного элемента - одного слоя, которому присвоено имя **Full area**.

Источник статистики можно представить как матрицу (двумерный массив) значений атрибута. Для георадарного профиля это матрица значений амплитуд отражённых сигналов, которая визуализируется на вкладке **GPR Profile**. Для разреза – это матрица значений атрибута разреза, созданного на основе результатов автоматизированного анализа BSEF, визуализируемая на вкладках **Section** или **Terrain Correction** (вкладка для визуализации разреза с поправкой за рельеф). Для сечения 3D сборки - это матрица значений атрибута разрезов, из которых сформирована эта сборка, визуализируемая на вкладках **X-Z**, **Y-Z** или **User Cross-section** (вкладки визуализации вертикальных сечений 3D сборки).

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| 1 | 4.999666 | 5.016039 | 7.175936 | 8.728524 | 9.508912 | 12.206099 | 14.370037 | 18.139158 | 21.609108 | 30.880798 | 34.899731 | 54.600521 | 71.189003 | 118.586906 | 199.091385 | 394.527344 | 665.069336 | 1014.033020 |
| 2 | 1.080934 | 1.249060 | 2.573449 | 4.802433 | 5.180752 | 8.093834 | 9.615380 | 14.243774 | 14.149546 | 25.386749 | 30.670820 | 50.072170 | 66.844337 | 118.195732 | 201.758942 | 426.335022 | 736.371399 | 1137.553223 |
| 3 | 3.191832 | 4.931872 | 6.872173 | 8.677505 | 8.656932 | 10.708758 | 13.702118 | 17.493285 | 13.670516 | 29.310665 | 28.133141 | 55.265240 | 66.595345 | 127.825233 | 211.498993 | 458.049408 | 790.392630 | 1257.816528 |
| 4 | 5.032778 | 2.931545 | 1.232470 | 4.889238 | 2.947340 | 8.427757 | 3.400109 | 15.226500 | 9.561193 | 26.211952 | 22.280161 | 48.786823 | 58.533867 | 121.169932 | 197.057907 | 449.385645 | 786.343262 | 1241.251709 |
| 5 | 6.645995 | 3.232217 | 4.547656 | 7.354907 | 2.073392 | 9.909823 | 11.744119 | 15.411290 | 8.388308 | 28.144639 | 22.615364 | 53.729748 | 60.491676 | 131.968658 | 213.871841 | 502.590729 | 879.684328 | 1394.427246 |
| 6 | 3.011171 | 8.150351 | 7.508393 | 12.034348 | 9.613990 | 16.864088 | 14.828428 | 22.723851 | 23.402430 | 34.075123 | 36.014206 | 58.475758 | 72.283897 | 125.730316 | 207.746826 | 436.421875 | 764.358215 | 1192.608521 |
| 7 | 2.380559 | 2.182028 | 1.222274 | 4.881821 | 2.335612 | 7.540565 | 6.428280 | 15.595728 | 13.374840 | 26.834499 | 27.703047 | 49.548351 | 61.770264 | 115.862656 | 191.865875 | 411.665649 | 721.275269 | 1136.543579 |
| 8 | 5.083106 | 2.022320 | 5.340688 | 6.293370 | 1.810745 | 8.832116 | 2.221072 | 14.680959 | 7.234555 | 25.866362 | 21.520741 | 50.933525 | 59.221088 | 121.902870 | 200.312592 | 456.522247 | 804.163635 | 1300.940798 |
| 9 | 10.946782 | 16.751003 | 12.695913 | 20.809738 | 16.623991 | 24.620762 | 21.299273 | 32.965187 | 27.866467 | 46.968410 | 46.122379 | 74.161705 | 84.853691 | 148.718552 | 233.262496 | 497.203644 | 843.170898 | 1310.531982 |
| 10 | 4.152882 | 4.716553 | 5.013171 | 2.521163 | 5.701217 | 1.299325 | 2.425870 | 3.335095 | 9.948078 | 14.078135 | 13.852370 | 34.389805 | 44.785789 | 99.436883 | 178.833649 | 416.373718 | 747.735352 | 1222.726440 |
| 11 | 2.450549 | 7.426514 | 3.439722 | 8.637732 | 3.839282 | 12.271299 | 6.726855 | 16.602776 | 11.859168 | 27.463359 | 26.011456 | 50.425541 | 57.771320 | 116.683846 | 187.022446 | 424.286407 | 750.790161 | 1194.906880 |
| 12 | 7.426321 | 4.931691 | 9.757986 | 4.119823 | 7.757915 | 5.586458 | 1.573426 | 10.269965 | 4.830040 | 18.291409 | 15.637424 | 42.384720 | 50.920448 | 106.956406 | 180.874481 | 421.657318 | 737.591919 | 1153.016235 |
| 13 | 3.039141 | 7.899750 | 4.999969 | 10.994311 | 6.913474 | 14.089488 | 8.830884 | 17.893457 | 17.081278 | 27.892233 | 27.409159 | 48.734356 | 56.599224 | 105.594284 | 170.990555 | 374.831787 | 661.674255 | 1036.885986 |
| 14 | 12.486305 | 5.584126 | 12.109259 | 8.249077 | 9.454172 | 2.856022 | 8.111900 | 1.095115 | 2.475451 | 10.568625 | 5.840761 | 27.210348 | 33.569965 | 79.376427 | 146.856293 | 339.402130 | 620.989957 | 1023.910156 |
| 15 | 23.082157 | 13.781194 | 21.624521 | 10.825191 | 23.008987 | 7.023831 | 19.281294 | 5.901988 | 14.382179 | 4.405072 | 10.551066 | 20.984179 | 22.238136 | 83.349907 | 148.082489 | 387.902495 | 726.932983 | 1221.886633 |
| 16 | 12.025310 | 17.493572 | 12.479795 | 20.278934 | 14.038532 | 23.347298 | 17.485054 | 28.794598 | 23.421421 | 40.586704 | 37.622791 | 62.224670 | 67.322716 | 123.915260 | 186.517563 | 401.162170 | 688.897156 | 1069.518799 |
| 17 | 12.002442 | 5.500647 | 11.134769 | 6.139463 | 11.178658 | 4.953401 | 6.659526 | 1.063581 | 5.775046 | 8.981997 | 5.880202 | 27.832808 | 34.612480 | 67.948418 | 156.759842 | 383.807068 | 694.042114 | 1127.484497 |
| 18 | 14.157702 | 6.656619 | 12.098109 | 5.270334 | 11.319610 | 0.692752 | 8.425508 | 3.508487 | 5.904854 | 11.355393 | 5.236511 | 31.477099 | 36.478096 | 63.609161 | 161.817642 | 392.746663 | 697.811707 | 1124.590332 |
| 19 | 7.384879 | 2.301568 | 4.051738 | 3.335817 | 1.973648 | 5.433467 | 1.522202 | 11.110202 | 7.373456 | 21.301800 | 20.173208 | 42.087749 | 46.700365 | 102.780357 | 171.402130 | 385.364990 | 686.381409 | 1085.492432 |
| 20 | 2.0423 | 1.147216 | 3.027065 | 6.656672 | 3.942173 | 8.833112 | 3.362384 | 11.404728 | 14.85970 | 21.264886 | 22.788809 | 46.617688 | 59.034332 | 116.02233 | 200.768133 | 445.063565 | 8.673986 | 121.789036 |

На рисунке выше показан пример источника статистики в виде матрицы значений, состоящей из 20 строк и 18 столбцов. Источник разделён на три слоя, условно окрашенных в различные цвета. Ячейки матрицы, на которые приходится положение границы слоёв более тёмным цветом слоя. Когда говорится о границе слоя, то речь идёт о нижней границе слоя, т.к. верхней границей слоя является нижняя граница выше лежащего слоя. Далее, на этом примере, будет рассмотрен процесс расчёта статистической информации.

Статистические данные для слоя **Full area** (для источника статистики в целом) формируются следующим образом. Сначала все статистические показатели рассчитываются для первого столбца матрицы полностью, со строки 1 до строки 20, потом для второго столбца полностью и так далее. В результате имеется набор из 18 (по количеству столбцов) значений, количество таких наборов равно количеству статистических показателей. Эти наборы визуализируются в виде графика статистики на вкладке **Statistics**. Наряду с этим, рассчитываются статистические показатели для всей площади слоя **Full area**, из этих значений формируется верхняя строка таблицы сводной статистики – см. раздел <Экспорт сводной статистической таблицы>.

Далее рассчитываются статистические показатели для каждого слоя. На примере слоя синего цвета будет показано получение статистической информации для этого слоя и связанных с этим слоем элементов источника статистики. Сначала все статистические показатели рассчитываются для фрагмента первого столбца, с 6 по 15 строки, потом для фрагмента второго столбца, с 5 по 15 строки и так далее. В результате для слоя синего цвета имеется набор из 18 значений, количество таких наборов равно количеству статистических показателей. Эти наборы визуализируются в виде графика статистики на вкладке **Statistics**, когда на панели выбора слоёв (более подробно см. раздел <Использование панели выбора слоёв>) выбран данный слой, а флажки **Add Above** и **On Boundary** (более подробно см. раздел <Визуализация статистической информации>) не отмечены.

Далее, статистические показатели рассчитываются для области, берущей начало с первой строки матрицы и ограниченной нижней границей слоя синего цвета снизу. Такая информация бывает востребована, когда необходимо иметь возможность отобразить (в дорожных исследованиях, например) не только данные по какому-либо слою дорожной одежды, но и данные по всей дорожной одежде в целом, от поверхности дорожного покрытия до нижней границы самого нижнего слоя дорожной конструкции.

Сначала все статистические показатели рассчитываются для фрагмента первого столбца, с 1 по 15 строки, потом для фрагмента второго столбца, с 1 по 15 строки и так далее. В результате для слоя, состоящего из слоя синего цвета и области выше, имеется набор из 18 значений, количество этих наборов равно количеству статистических показателей. Наборы визуализируются в виде графика статистики на вкладке **Statistics**, когда на панели выбора слоёв выбран данный слой, флажок **Add Above** отмечен, а флажок **On Boundary** не отмечен.

Затем рассчитываются статистические показатели для всей площади слоя, состоящего из слоя синего цвета и области выше. Из этих значений формируются строки таблицы сводной статистики для слоёв с пометкой **add above**.

Далее, считываются значения из ячеек матрицы, приходящиеся на положение нижней границы слоя. Для рассматриваемого, в качестве примера, слоя синего цвета это ячейки, окрашенные в тёмно-синий цвет. Эти, соответствующие положению границы слоя значения, визуализируются в виде графика статистики на вкладке **Statistics**, когда на панели выбора слоёв выбран данный слой, и отмечен флажок **On Boundary**. При этом возможность выбора статистических показателей заблокирована, т.к. в этом случае, для каждого столбца есть только одно значение, а не несколько, как в случае со слоями. Статистические показатели для границы слоя рассчитываются только по значениям, которые приходятся на положение этой границы. Из этих значений формируются строки таблицы сводной статистики для слоёв с пометкой **on boundary**.

Для самого нижнего слоя (жёлтого цвета) нижней границей является нижняя строка матрицы значений источника статистики. Поэтому статистические данные для этого слоя в режиме слой+область выше (отмечен флажок **Add Above**), и слоя **Full area** будут одинаковыми.

В модуле **Statistics** предусмотрена возможность установки порога, значения выше или ниже которого на графиках отображаются красным цветом, а положение этих участков на георадарном

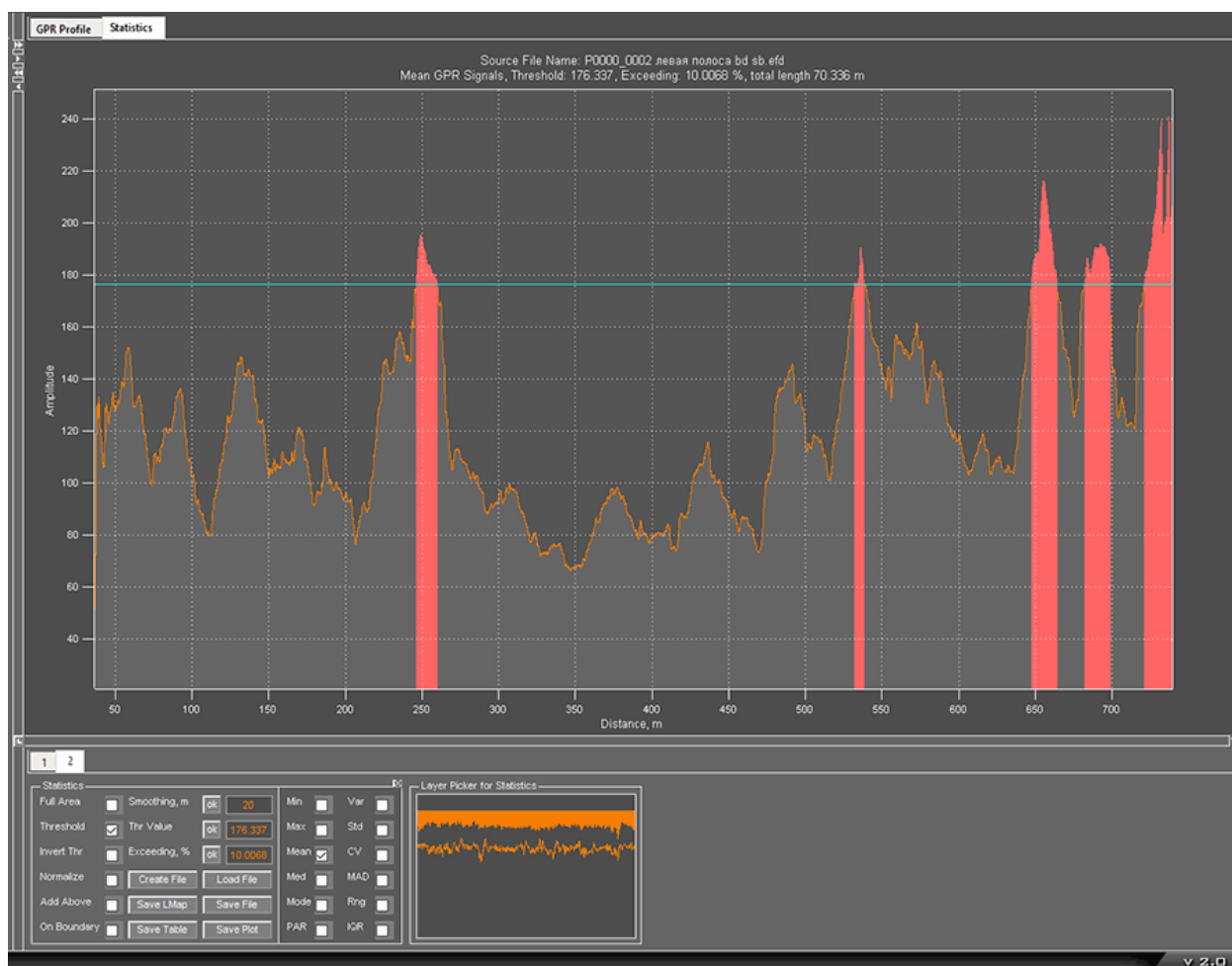
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

профиле и их статистические характеристики сохраняются в таблицу MS EXCEL одновременно с сохранением изображения статистического графика. Установка порога на статистическом графике позволяет сделать более эффективным процесс выявления различных дефектов исследуемого объекта, если признаком дефекта является нарушение некоторого порогового значения атрибута.

Для использования результатов статистического анализа в сторонних программах, предусмотрен экспорт всех показателей статистики для всех элементов источника статистики в таблицы текстового формата в кодировке ASCII. Также предусмотрен экспорт изображения графика статистики в файл графического формата.

На рисунке ниже показан фрагмент интерфейса пользователя ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с активной вкладкой **Statistics** для отображения графика статистики, панелью управления статистическим анализом **Statistics**, а также панелью выбора слоёв в качестве источника статистических данных **Layer Picker for Statistics**.



Порог показан на графике в виде горизонтальной линии голубого цвета. Пороговое правило в данном примере настроено таким образом, что участки графика, превышающие заданное значение, окрашены красным цветом.

Заголовок графика содержит имя файла источника статистики **Source File Name**, статистический показатель (для данного графика – среднее арифметическое **Mean**), наименование атрибута (для данного графика – амплитуда сигналов георадарного профиля **GPR Signals**), значение порога **Threshold**, процент суммарной протяжённости областей превышения порога от длины георадарного профиля **Exceeding** и суммарный метраж областей превышения **total length**.

Статистические показатели

В модуле статистического анализа предусмотрен расчёт следующих статистических показателей (полужирным шрифтом отображено обозначение показателей в интерфейсе пользователя, а также в таблицах и графиках):

- **Min** (minimum) – минимальные значения;
- **Max** (maximum) - максимальные значения;
- **Mean** – среднее арифметическое значений;
- **Med** (median) – медиана значений;
- **Mode** – наиболее часто повторяющееся значение;
- **PAR** (peak to average ratio) – отношение пикового (максимального) значения к среднему значению;
- **Var** (variance) - дисперсия значений (математическое ожидание среднеквадратического отклонения значений от математического ожидания этих значений);
- **Std** (standard deviation) - среднеквадратическое отклонение значений (квадратный корень из дисперсии);
- **CV** (coefficient of variation) – коэффициент вариации (отношение среднеквадратического отклонения значений к математическому ожиданию этих значений);
- **MAD** (mean absolute deviation) - среднее абсолютное отклонение от среднего значения;
- **Range** – размах значений;
- **IQR** (interquartile range) - интерквартильный размах значений (разница между 75% и 25% перцентилями выборки, является робастной оценкой разброса значений);

Создание, сохранение и загрузка файла статистики

Источником статистической информации являются данные, визуализированные на текущей активной вкладке. Ниже перечислены вкладки, визуализируемые данные на которых, могут быть использованы в качестве источника статистики.

- **GPR Profile** – сигналы георадиолокационного профиля;
- **Section** – разрезы атрибутов волнового поля или характеристик исследуемой среды, созданные на основе автоматизированного анализа BSEF;
- **Terrain Correction** - разрезы атрибутов, созданные на основе автоматизированного анализа BSEF с внесённой поправкой за рельеф;
- **X-Z** – вертикальное сечение 3D сборки разрезов, перпендикулярное оси Y;
- **Y-Z** – вертикальное сечение 3D сборки разрезов, перпендикулярное оси X;
- **User Cross-section** – пользовательское вертикальное сечение 3D сборки;

Если источник статистической информации содержит пользовательские границы слоёв, то в процессе статистического анализа производятся расчёты статистических показателей для каждого слоя, по каждой границе слоя и по всей площади источника статистики. Если границы слоёв отсутствуют, то расчёты производятся только по всей площади источника – георадарного профиля, разреза атрибута или сечения 3D сборки.

Процесс статистического анализа не имеет настроек. Запуск процесса статистического анализа осуществляется нажатием кнопки **Create File** на панели управления статистическим анализом **Statistics** или при помощи меню **Create Statistics File**, которое расположено в группе меню **Statistics**. Панель управления статистическим анализом **Statistics** пользователь может загрузить в нижнюю группу вкладок при помощи меню **Statistics Control Panel** из группы меню **Statistics**. Если панель **Statistics** не загружена, она откроется автоматически, в ходе завершения процесса статистического анализа, когда сохранённые результаты этого анализа будут загружаться в программу.

После завершения процесса статистических расчетов, осуществляется автоматическое сохранение результатов статистического анализа в файл с расширением **gestat** в директорию расположения файла анализируемого георадарного профиля или 3D сборки. Если анализируются данные с вкладок **Section** или **Terrain Correction**, то имя файла статистических данных будет составлено из имени файла георадарного профиля и наименования атрибута разреза. Если источник статистики принадлежит вкладке **GPR Profile** (георадарный профиль), то к имени файла георадарного профиля будет добавлено словосочетание **GPR Signals**.

Если анализируются данные 3D сборки с вкладок **X-Z** или **Y-Z**, то имя файла статистических данных будет составлено из имени файла 3D сборки, наименования атрибута, слова **3D**, названия анализируемого сечения и положения сечения на соответствующей оси. Если анализируются данные 3D сборки с вкладки **User Cross-Section**, имя файла статистических данных будет составлено из имени файла 3D сборки, наименования атрибута и словосочетания **3D User Section**.

Если источник статистической информации содержит пользовательские границы слоёв, то в конец имени файла статистики добавляется слово **Layer**.

После завершения процесса статистического анализа и сохранения файла статистики с расширением **gestat** на жёсткий диск, этот файл автоматически загружается в программу. Если панель управления статистическим анализом **Statistics** не открыта, она откроется в нижней группе вкладок в процессе загрузки файла статистики, а в верхней группе вкладок откроется вкладка визуализации статистической информации **Statistics**.

Если загружаемый файл статистики содержит данные по слоям, то в процессе загрузки дополнительно открывается панель выбора слоёв **Layer Picker for Statistics**, если таковая не была загружена ранее. Данная панель располагается в нижней группе вкладок, справа от панели **Statistics**. Если панель выбора слоёв **Layer Picker for Statistics** открыта, а загружаемый файл статистики не содержит послойных данных, то эта панель удаляется.

Чтобы загрузить созданный ранее файл статистики нужно воспользоваться пунктом меню **Load Statistics File** из группы меню **Statistics** или нажать кнопку **Load File** на панели **Statistics**. Чтобы вывести на экран имя загруженного файла статистики, следует воспользоваться пунктом меню **Loaded Statistics File Name** из группы меню **Statistics**. После нажатия на данный пункт меню, в рабочем окне программы отобразится информационная панель с именем файла статистики.

В ходе работы с результатами статистического анализа пользователь может настраивать параметры визуализации данных – изменять сглаживание, устанавливать различные пороги для различных статистических показателей, выполнять прочие настройки. Внесённые визуализацию статистических данных изменения, можно сохранить в файле статистики. Для этого следует воспользоваться пунктом меню **Save Statistics File** из группы меню **Statistics** или нажать кнопку **Save File** на панели **Statistics**. В результате этих действий, в файле статистики сохраняются текущие настройки визуализации и при последующих загрузках этого файла настройки будут автоматически применены.

Визуализация статистической информации

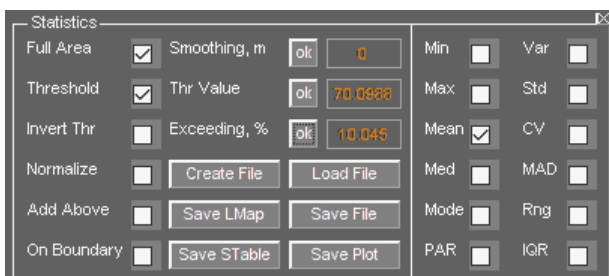
Результаты статистического анализа визуализируются в виде графика на вкладке **Statistics**, которая принадлежит верхней группе вкладок. Каждая точка графика представляет собой значение выбранного статистического показателя, рассчитанного по столбцам матрицы значений атрибута разреза, сечения 3D сборки или сигналов георадарного профиля. Если график статистики отображается для источника статистики в целом (источник не имеет слоёв или источник со слоями, но отмечен флажок **Full Area**) то график показывает статистические показатели, рассчитанные по всему столбцу матрицы значений источника статистики. Если источник имеет слои и выбран какой-либо слой, то график показывает статистические показатели, рассчитанные только по тем фрагментам столбцов, которые находятся внутри слоя.

Например, источник статистики – георадарный профиль без нанесённых на него границ слоёв и выбран статистический показатель **Mean**. В этом случае график статистики представляет собой набор средних арифметических значений, рассчитанных по каждой георадиолокационной трассе, взятой полностью. Если же георадарный профиль имеет границы слоёв, то график статистики для текущего слоя является набором средних арифметических значений, рассчитанных по тем фрагментам георадиолокационных трасс, которые расположены внутри этого слоя. Примечание: в случае анализа георадарного профиля, анализируются модули значений амплитуд.

Горизонтальная ось графика статистики является осью расстояний и градуируется в метрах. Если визуализируются данные файла статистики, который не содержит послыйную информацию, то пределы горизонтальной оси графика статистики соответствуют положению начала и конца георадарного профиля, разреза или сечения 3D сборки. Если файл статистики содержит данные по слоям, то пределы горизонтальной оси графика статистики соответствуют положению начала и конца слоя, статистические данные которого визуализируются.

Вертикальная ось графика статистики является осью значений атрибута источника статистики. Пределы вертикальной оси устанавливаются автоматически.

Если файл статистики открыт в конфигурации рабочего окна программы 2D (визуализация георадарного профиля и разреза), то настройка шага горизонтальной шкалы осуществляется при помощи параметра **Distance, m** на панели **Axis**, которая принадлежит нижней группе вкладок (более подробно см. раздел <Настройка шкал и режимов указателя мыши>). Если файл статистики открыт в конфигурации рабочего окна программы 3D (визуализации 3D сборки разрезов), то шаг горизонтальной шкалы настраивается при помощи параметра **X step** на панели **Axes Labels, Grid and Limits**, которая принадлежит нижней группе вкладок (более подробно см. раздел <Панель Axes Labels, Grid and Limits>).



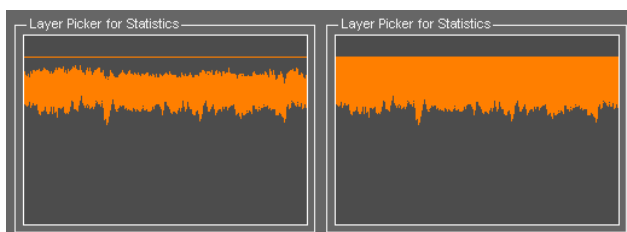
Выбор статистического показателя для визуализации осуществляется при помощи флажков, сгруппированных в правой части панели **Statistics**.

Ниже перечислены элементы управления визуализацией графика статистики, расположенные на панели **Statistics**:

- **Smooth, m** – ввод размера окна сглаживания данных в метрах. Чтобы применить сглаживание с заданным значением, нужно нажать кнопку **ok**, расположенную левее данного окна ввода;
- **Full Area** – установка режима отображения статистики для источника статистики в целом, не учитывая деления источника на слои, если таковое имеется. Если файл статистики

содержит данные по слоям и отмечен флажок **Full Area**, то в момент выбора на панели **Layer Picker for Statistics** какого-либо слоя, выбор с флажка **Full Area** автоматически снимается. Более подробно об использовании панели выбора слоя **Layer Picker for Statistics** см. в разделе <Использование панели выбора слоёв>;

- **Threshold** – управление отображением порога. Если данный флажок отмечен, то порог в виде горизонтальной линии голубого цвета отображается на графике. В противном случае порог скрыт. Более подробно об использовании порога см. в разделе <Пороговая обработка статистических данных >;
- **Invert Thr** – выбор правила нарушения статистическим графиком порогового значения (пороговое правило). Более подробно см. в разделе <Пороговая обработка статистических данных>;
- **Normalize** – нормализация графика статистики. Если данный флажок отмечен, то значения визуализируемых данных пересчитываются в диапазон от 0 до 1;
- **Add Above** – используется при наличии послойных данных в файле статистики. Если на панели **Layer Picker for Statistics** выбран какой-либо слой, не являющийся самым верхним, то после активации данного флажка, статистические данные будут отображаться не только для этого слоя, но для этого слоя и области выше этого слоя вплоть до нулевой отметки по шкале глубин. На рисунке ниже слева показана интерактивная схема выбора слоёв (более подробно см. <Использование панели выбора слоёв>) с выбранным средним слоем. На схеме слева флажок **Add Above** не отмечен, на схеме справа - отмечен. Горизонтальная линия вверху на схеме слева является уровнем нуля шкалы глубин. Область с оранжевой заливкой – это та область, статистические данные которой в данный момент отображаются



на графике статистики. Использовать режим **Add Above** удобно, когда нужно, например, отобразить на графике статистические данные сначала по каждому слою дорожной одежды, а потом по слою дорожной одежды в целом.

- **On Boundary** – используется при наличии послойных данных в файле статистики. Если данный флажок отмечен, то на графике статистики отображаются не статистические показатели для выбранного слоя, а значения атрибута источника статистики, которые расположены в месте положения нижней границы этого слоя (о формировании слоёв более подробно см. в <Принцип формирования слоёв>). При этом флажки выбора статистических показателей, расположенные в правой части панели **Statistics**, становятся недоступными, т.к. для каждого столбца матрицы значений атрибутов источника статистики есть только одно значение, а не несколько, как в случае со слоем, имеющим некоторую толщину. Режим **On Boundary** может быть полезен, например, при анализе результатов георадарного профилирования дорожных одежд антенной с отрывом от поверхности. Анализ амплитуд отражений от поверхности дорожного покрытия может дать информацию о степени шероховатости поверхности дорожного покрытия, материале покрытия, о наличии трещин на поверхности покрытия, влаги или льда и пр. В случае исследования жёстких дорожных одежд, по отклонениям амплитуд можно судить о состоянии герметизации швов между дорожными плитами или оценивать степень засоренности балластного материала железнодорожного пути;

Пороговая обработка статистических данных

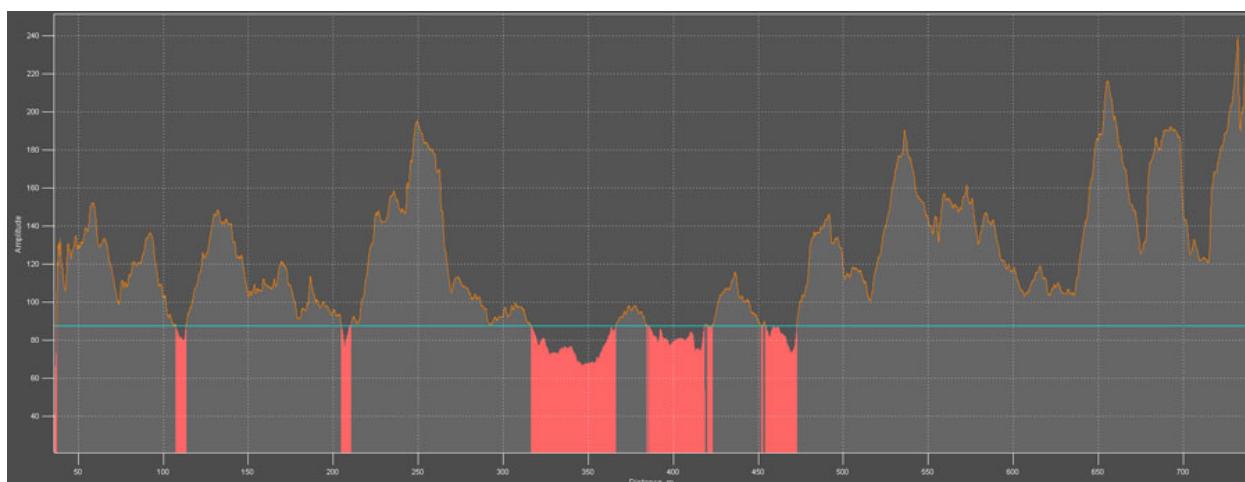
Исследуемые методом георадиолокации объекты – строительные конструкции, слои дорожного покрытия, грунты, железнодорожные насыпи и т.д. обладают набором параметров, характеризующих физическое состояние объекта. Отклонение какого-либо одного или нескольких параметров в ту или иную сторону является индикатором нарушения нормального состояния объекта. По степени отклонения можно судить о степени угрозы целостности объекта.

Когда существует взаимосвязь между показателем статистики какого-либо атрибута с одной или несколькими электрофизическими или физико-механическими характеристиками исследуемого объекта, то существует и пороговое значение показателя статистики, нарушение графиком статистики которого снизу или сверху является индикатором аварийного состояния этого объекта. Положение областей нарушения порога на графике статистики соответствует положению аварийных участков на георадарном профиле. Уровень порога на графике статистики показан линией голубого цвета, а области нарушения порога выделены красным цветом.

Для ввода точного значения порога используется окно ввода **Thr Value** на панели **Statistics**. Чтобы применить значение порога, нужно нажать кнопку **ok**, расположенную левее окна ввода значения порога. Окно ввода **Exceeding,%** на панели **Statistics** служит для ввода процента суммарной протяженности областей нарушения от протяженности источника статистики – георадарного профиля, разреза или сечения 3D сборки. Чтобы применить значение процента суммарной протяженности, нужно нажать кнопку **ok**, расположенную левее данного окна ввода. Изменение значений в окне ввода **Thr Value** влияет на значение в окне ввода **Exceeding,%** и наоборот.

Наряду с этим, уровень порога можно установить при помощи щелчка правой кнопкой мыши в пределах осей графика статистики. После щелчка мыши линия уровня порога перемещается в местоположение курсора, а значения в окнах ввода **Thr Value** и **Exceeding,%** пересчитываются в соответствии с новым положением линии порога. Если щёлкнуть правой кнопкой мыши в пределах осей графика статистики, то отобразится всплывающее меню с двумя пунктами – **Set Threshold by Mean** и **Set Threshold by Median**. При помощи данных пунктов меню устанавливается уровень порога, соответственно, по среднему арифметическому или медиане значений графика статистики.

При помощи флажка **Invert Thr** на панели **Statistics** устанавливается правило порогового значения. Если данный флажок не отмечен, то нарушением считается превышение уровня порога. Если данный флажок отмечен, то нарушением считаются области графика статистики, значения которых лежат ниже уровня порога.



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Данные о положении областей нарушения порогового значения с характеристиками этих областей сохраняются в таблицу формата MS EXCEL одновременно с сохранением изображения графика статистики, если на этом графике отображается линия уровня порога.

Ниже приведён пример таблицы областей нарушения порога и описание элементов этой таблицы.

| A | B | C | D | E | F | G | H | |
|----|--|----------|---------|------------------|-----------|---------------------|---------------|------------------------|
| 1 | Areas where values are above the threshold | | | | | | | |
| 2 | Source file name: P0000_0002 левая полоса bd sb.efd | | | | | | | |
| 3 | Statistics file name: P0000_0002 левая полоса bd sb GPR Signals, layers.gestat | | | | | | | |
| 4 | Layer name: Дорожное покрытие | | | | | | | |
| 5 | Attribute: GPR Signals | | | | | | | |
| 6 | Threshold value: 176.3366 | | | | | | | |
| 7 | Layer length: 703.168 m | | | | | | | |
| 8 | Data step horizontally: 0.032 m | | | | | | | |
| 9 | Total length of exceeding the threshold: 70.336 m | | | | | | | |
| 10 | Percentage excesses from layer length: 10.0068 % | | | | | | | |
| | № | Start, m | End, m | Number of traces | Length, m | Extreme position, m | Extreme value | Exceeding threshold, % |
| 11 | | | | | | | | |
| 12 | 1 | 246.492 | 260.06 | 425 | 13.568 | 249.244 | 195.3082581 | 10.75875985 |
| 13 | 2 | 532.38 | 533.34 | 31 | 0.96 | 532.572 | 176.9020081 | 0.320627614 |
| 14 | 3 | 533.564 | 538.46 | 154 | 4.896 | 536.124 | 190.1326294 | 7.823675493 |
| 15 | 4 | 647.484 | 663.932 | 515 | 16.448 | 655.516 | 216.2241974 | 22.62012979 |
| 16 | 5 | 682.108 | 698.588 | 516 | 16.48 | 692.604 | 192.1213074 | 8.951449141 |
| 17 | 6 | 721.084 | 738.428 | 543 | 17.344 | 737.212 | 240.9440155 | 36.63866861 |
| 18 | 7 | 738.652 | 739.1 | 15 | 0.448 | 738.94 | 205.9753265 | 16.80802416 |
| 19 | Normalizing: No | | | | | | | |
| 20 | Data smoothing: 20 m | | | | | | | |

Таблица состоит из заголовка, который занимает строки 1 – 10 и списка областей нарушения с их характеристиками. Заголовок состоит из следующих строк:

- Строка 1 – информация о правиле порогового значения, которое применялось для графика, на основе которого была сформирована данная таблица. Строка может содержать две надписи - **Areas where values are above the threshold** (области, где значения выше порога) или **Areas where values are below the threshold** (области, где значения ниже порога);
- Строка 2 – имя файла источника статистики (георадарного профиля или 3D сборки) **Source file name**;
- Строка 3 – имя файла статистики **Statistics file name**. Файл статистики имеет расширение **gestat**;
- Строка 4 – название слоя **Layer name**. Если файл статистики не имеет информации по слоям, то слоем считается вся площадь источника статистики и этому слою присваивается название **Full area**;
- Строка 5 – наименование атрибута источника статистики **Attribute**;
- Строка 6 – значение порога **Threshold value**;
- Строка 7 – протяжённость слоя в метрах **Layer length** (длина слоя соответствует длине нижней границы слоя. О формировании слоёв более подробно см. в <Принцип формирования слоёв>). Если файл статистики не имеет послойной информации, то в данной строке указывается протяжённость источника статистики – георадарного профиля, разреза или сечения 3D сборки;
- Строка 8 – шаг данных источника статистики по горизонтали **Data step horizontally**. Для георадарного профиля это расстояние между георадиолокационными трассами;

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Строка 9 – суммарная протяжённость областей нарушения порога в метрах. Если отмечен флажок **Invert Thr**, то данный параметр называется **Total length of below the threshold**, в противном случае - **Total length of exceeding the threshold**;
- Строка 10 – доля суммарной протяженности областей нарушения порога от протяжённости источника статистики в процентах. Если отмечен флажок **Invert Thr**, то данный параметр называется **Percentage of areas below the threshold from layer length**, в противном случае - **Percentage excesses from layer length**.

Строка 11 содержит заголовки столбцов таблицы:

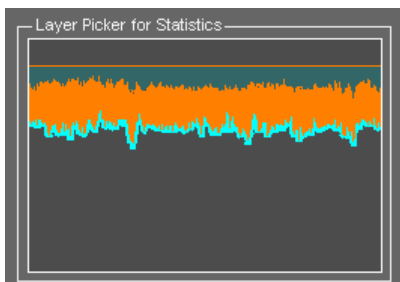
- **No** - условный номер области нарушения. Присваивается в порядке возрастания удалённости областей от начала координат;
- **Start, m** – положение начала области нарушения на шкале расстояний в метрах;
- **End, m** – положение конца области нарушения на шкале расстояний в метрах;
- **Number of traces** – количество столбцов матрицы значений атрибута источника статистики, приходящихся на область нарушения. Если источником статистики является георадарный профиль, то это значение является количеством георадиолокационных трасс георадарного профиля;
- **Length, m** – протяжённость области нарушения в метрах. Если протяжённость участка равна 0, то это точечное нарушение, т.е. область нарушения состоит из одного столбца матрицы значений атрибута источника статистики. Если источником статистики является георадарный профиль, то это нарушение состоит из одной георадиолокационной трассы;
- **Extreme position, m** – положение на шкале расстояний максимального отклонения графика статистики от уровня порога в пределах области нарушения;
- **Extreme value** – значение максимального отклонения графика статистики от уровня порога в пределах области нарушения;
- **Exceeding threshold, %** - процент максимального отклонения графика статистики от значения порога в пределах области нарушения. Если отмечен флажок **Invert Thr**, то данный столбец называется **Below threshold, %** (ниже порога в процентах), в противном случае - **Exceeding threshold, %** (выше порога в процентах). По значениям в данном столбце можно оценивать степень угрозы целостности исследуемого объекта – чем выше процент отклонения, тем выше вероятность аварийной ситуации на исследуемом объекте.

Под таблицей размещена информация о нормализации значений графика статистики **Normalizing** и величине окна сглаживания статистических данных в метрах **Data smoothing**. Если значение **Data smoothing** равно нулю, то данные представлены без сглаживания.

Использование порогового анализа, реализованного в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, повышает качество и увеличивает производительность неразрушающего контроля качества строительства или мониторинга опасных геологических процессов.

Возможность разделять источник статистики (георадарный профиль, разрез атрибута или сечение 3D сборки) на слои, позволяет более детально проводить такие исследования - осуществлять пороговый анализ не только всей исследуемой толщи, но и каждого слоя диагностируемой конструкции в отдельности. Особенно эффективно применение порогового анализа для обработки результатов георадарного мониторинга протяжённых объектов – автомобильных и железных дорог.

Использование панели выбора слоёв

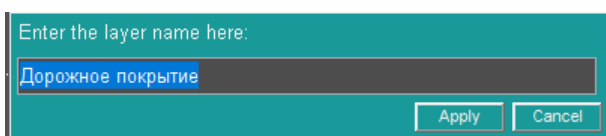


Когда источник статистики (георадарный профиль, разрез атрибута или сечение 3D сборки) содержит пользовательские границы слоёв (более подробно см. главу <Пользовательские границы слоёв>), то в процессе статистического анализа производятся расчёты статистических показателей как для всего источника статистики, так и для каждого слоя в отдельности, и вдоль границы каждого слоя. Выбора слоя, данные которого необходимо отобразить на графике статистики, осуществляется на панели **Layer Picker for Statistics**.

Панель **Layer Picker for Statistics** автоматически открывается в процессе загрузки файла статистики, содержащего послойные данные, и располагается в нижней группе вкладок, справа от панели **Statistics**. На панели **Layer Picker for Statistics** размещена интерактивная схема расположения слоёв источника статистики. Чтобы выбрать слой, нужно на интерактивной схеме переместить указатель мыши в пределы этого слоя, и один раз щелкнуть левой кнопкой мыши. В результате график статистики будет отображать данные этого слоя в соответствии с настройками на панели **Statistics**. Выбранный слой на интерактивной схеме отображается оранжевым цветом.

Если ни один слой не выбран, то статистические данные отображаются для всего источника статистики. Это происходит тогда, когда на панели **Statistics** отмечен флажок **Full Area**, или сразу после загрузки файла статистики.

Если на панели **Statistics** отмечен флажок **On Boundary**, то отображаются не статистические данные для выбранного слоя, а значения атрибута источника статистики, которые расположены в месте положения нижней границы этого слоя. При этом флажки выбора статистических показателей, которые расположены в правой части панели **Statistics**, становятся недоступными, т.к. для каждого столбца матрицы значений атрибута источника статистики есть только одно значение – в той точке, через которую проходит граница, а не несколько значений, как в случае со слоем, имеющим некоторую толщину. Если флажок **On Boundary** на панели **Statistics** отмечен, то граница слоя, значения которой отображаются на графике статистики, на интерактивной схеме расположения слоёв отображается голубым цветом – см. рисунок выше.



По умолчанию, в качестве названий слоёв выступают порядковые номера, автоматически присвоенные слоям в ходе статистического анализа. Нумерация слоёв производится по

возрастанию средней глубины залегания слоя. Таким образом, слой с номером 1 является самым верхним слоем, а слой с максимальным номером – самым нижним. Чтобы изменить название слоя, необходимо переместить указатель мыши на интерактивной схеме в пределы этого слоя, и щелкнуть правой кнопкой мыши, в результате чего отобразится всплывающая панель с окном ввода названия слоя **Enter the layer name here:**. После ввода названия слоя нужно нажать кнопку **Apply** и название слоя будет изменено. Для отмены и удаления всплывающей панели нужно нажать кнопку **Cancel**. Чтобы сохранить внесённые изменения, требуется сохранить файл статистики при помощи пункта меню **Save Statistics File** из группы меню **Statistics** или нажать кнопку **Save File** на панели **Statistics**.

Когда слой не выбран и имеет название, присвоенное ему по умолчанию, то на интерактивной схеме расположения слоёв область этого слоя окрашена в серый цвет. Когда слой не выбран, но пользователь хотя бы один раз изменил название этого слоя, то на схеме расположения этот слой окрашен в сине-зелёный цвет.

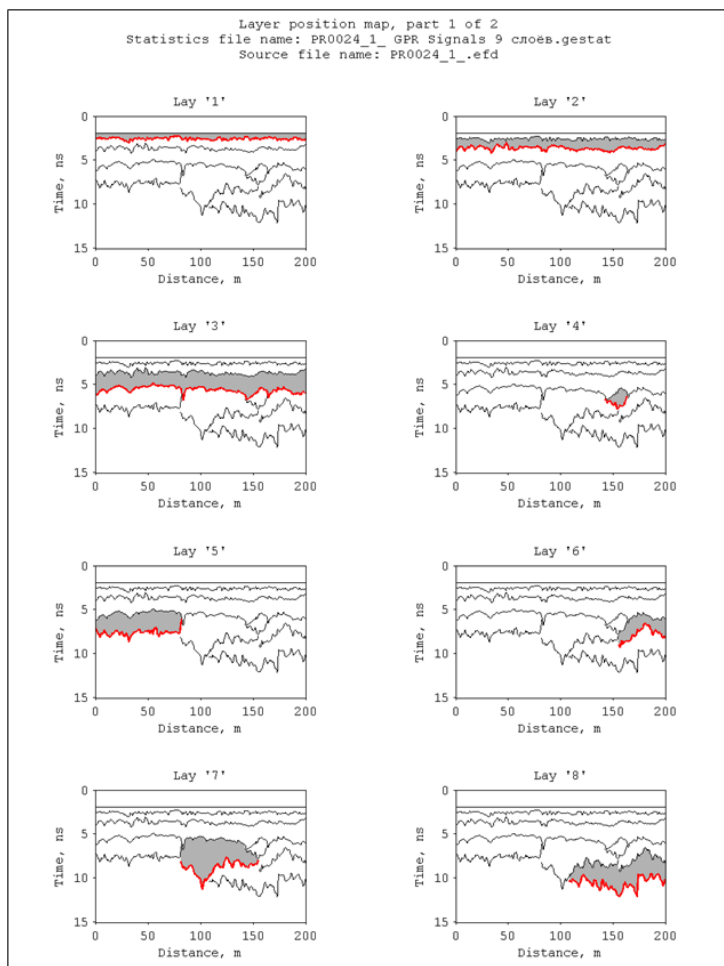
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Чтобы увидеть название слоя, нужно щёлкнуть по этому слою правой кнопкой мыши, после чего отобразится всплывающая панель **Enter the layer name here:**, где в окне ввода имени слоя будет отображаться название слоя. Если источник статистики – георадарный профиль, то на схеме расположения слоёв отображается уровень нуля шкалы глубин в виде горизонтальной прямой линией оранжевого цвета. Когда панель **Layer Picker for Statistics** открыта, и загружается файл статистики, не содержащий данных по слоям, то в процессе загрузки панель **Layer Picker for Statistics** удаляется.

Сохранить схему расположения слоёв в графическом формате можно при помощи пункта меню **Save Layer Position Map**, который расположен в группе меню **Statistics** или при помощи кнопки **Save LMap** на панели **Statistics**. В ходе сохранения для каждого слоя создаётся отдельная миниатюра схемы расположения слоёв, на которой этот слой выделен заливкой, а нижняя граница этого слоя показана красной линией (о принципе формирования слоёв более подробно см. главу <Пользовательские границы слоёв>). Название слоя указано в заголовке миниатюры, на миниатюре слева расположена шкала времени пробега волны в наносекундах, снизу расположена шкала расстояний.



На одном листе, адаптированном для вставки в документ формата MS WORD формата A4 портретной ориентации, может быть размещено до 8 миниатюр. Такой формат хорошо подходит для использования в отчётах или научных статьях. Если миниатюры не умещаются на одном листе, в ходе сохранения автоматически создаются дополнительные листы в необходимом количестве.

В верхней части каждого листа размещается заголовок, который содержит имя файла статистики **Statistics file name**, имя файла источника статистики (георадарного профиля или 3D сборки) **Source file name**, порядковый номер листа и общее количество листов, если листов создано более одного.

Все листы сохраняются в директорию расположения файла статистики без открытия диалогового окна сохранения. Каждый лист сохраняется в отдельный файл графического формата с расширением **png**.

Если при сохранении схемы расположения слоёв все миниатюры умещаются на одном листе, то имя файла состоит из имени файла статистики и словосочетания **layer position map**. Если листов более одного, то в конец каждого файла добавляется текущий номер листа и общее количество листов сохранения, например **part 1 of 2**. На рисунке выше показан пример первого из двух листов со схемами расположения слоёв.

Экспорт сводной статистической таблицы

Экспорт сводной статистической таблицы по каждому элементу источника статистики (слою, границе слоя и для всего источника в целом, без учёта слоёв) в файл электронных таблиц формата MS EXCEL, осуществляется при помощи пункта меню **Save STable**, который расположен в группе меню **Statistics** или при помощи кнопки **Save Summary Table** на панели **Statistics**. На рисунке ниже показан пример сводной таблицы, созданной для источника статистики, разделённого на три слоя.

| 4 | Layer name | Minimum | Maximum | Mean | Range | Standard Deviation | Coefficient of Variation | Variance | Median | Mode | MAD | IQR | PAR |
|----|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 5 | Full area | 1.76579E-06 | 8523.961914 | 87.37916565 | 8523.961914 | 280.0848389 | 3.205396175 | 78447.52344 | 15.61878395 | 4.813337326 | 111.2583466 | 53.28636551 | 97.55142212 |
| 6 | 1 | 1.34703E-05 | 8523.961914 | 120.4848633 | 8523.961914 | 235.6846466 | 1.956134915 | 55547.25 | 18.26746559 | 1.127461195 | 142.7675018 | 136.8099823 | 1.956134915 |
| 7 | 1 add above | 1.34703E-05 | 8523.961914 | 120.4848633 | 8523.961914 | 235.6846466 | 1.956134915 | 55547.25 | 18.26746559 | 1.127461195 | 142.7675018 | 136.8099823 | 1.956134915 |
| 8 | 1 on boundary | 0.012563024 | 2587.099121 | 365.539093 | 2587.08667 | 295.3292542 | 0.807927966 | 87219.35938 | 325.5570984 | 206.1242218 | 213.686554 | 316.4080811 | 0.807927966 |
| 9 | 2 | 1.51843E-05 | 5983.904297 | 190.3039856 | 5983.904297 | 482.8055115 | 2.67773056 | 233101.1563 | 16.34576416 | 8.625787735 | 249.6706848 | 92.89365387 | 2.67773056 |
| 10 | 2 add above | 1.34703E-05 | 8523.961914 | 157.8222656 | 8523.961914 | 410.0948486 | 2.598459959 | 168177.7969 | 16.93560791 | 8.625787735 | 209.1467438 | 110.8639526 | 2.598459959 |
| 11 | 2 on boundary | 0.108905859 | 5983.904297 | 1993.846313 | 5983.79541 | 1184.788696 | 0.594222665 | 1403724.25 | 1934.381226 | 679.9985352 | 986.2427368 | 1770.357788 | 0.594222665 |
| 12 | 3 | 1.76579E-06 | 5877.791016 | 58.99629211 | 5877.791016 | 203.1977234 | 3.444245577 | 41289.31641 | 14.95743942 | 1.615633366 | 70.24082184 | 46.10917282 | 3.444245577 |
| 13 | 3 add above | 1.76579E-06 | 8523.961914 | 87.37916565 | 8523.961914 | 280.0848389 | 3.205396175 | 78447.52344 | 15.61878395 | 4.813337326 | 111.2583466 | 53.28636551 | 3.205396175 |
| 14 | 3 on boundary | 3.11143E-05 | 235.1759491 | 9.028963089 | 235.1759186 | 19.41629028 | 2.150445223 | 376.9923096 | 0.98728925 | 3.11143E-05 | 12.08929157 | 6.88010788 | 2.150445223 |

В трёх верхних строках таблицы размещены имя файла статистики **Statistics file name**, имя файла источника статистики (георадарного профиля или 3D сборки) **Source file name** и наименование атрибута **Attribute**. В строке 4 размещаются заголовки столбцов сводной таблицы. В первом столбце **Layer name** содержится перечень всех элементов источника статистики. Остальные столбцы – это статистические показатели (перечень показателей представлен в разделе <Статистические показатели>).

В строке 5 **Full area** всегда размещается информация для источника статистики целиком, без учёта разделения на слои. Далее расположены строки с данными по каждому слою. Каждому слою выделяется группа из трёх строк, которая для удобства имеет одинаковую цветовую заливку ячеек – жёлтую или белую. Рассмотрим в качестве примера группу строк для слоя с именем **1**:

- Верхняя строка группы содержит статистические показатели, рассчитанные по толще слоя. В столбце **Layer name** этой строки указано имя слоя **1**;
- Вторая строка группы содержит статистические показатели, рассчитанные для толщи, складывающейся из толщи слоя и области выше этого слоя вплоть до нулевой отметки по шкале глубин (более подробно см. использование выбора **Add Above** в главе <Визуализация статистической информации>). В столбце **Layer name** для этой строки к имени слоя **1** добавлено **add above** (добавить выше);
- Третья, нижняя, строка группы содержит статистику по тем значениям матрицы атрибутов источника статистики, что расположены в месте нахождения нижней границы слоя. В столбце **Layer name** для этой строки к имени слоя **1** добавлено **on boundary** (на границе).

Экспорт статистики в текстовый формат

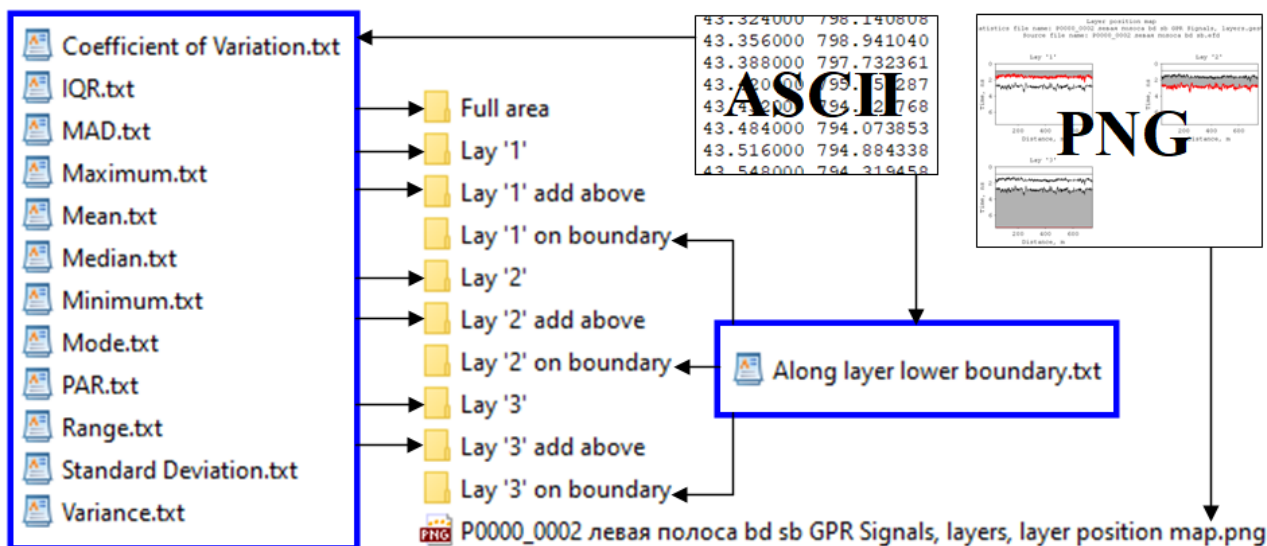
Для использования результатов статистического анализа в сторонних программах, предусмотрен экспорт всех показателей статистики для всех элементов источника статистики (слоёв и границ слоёв, если таковые имеются) в таблицы текстового формата с расширением **txt**, в кодировке **ASCII**. Запуск процесса экспорта осуществляется при помощи пункта меню **Export Statistics to Text Files**, который расположен в группе меню **Statistics**.

После нажатия пункта меню **Export Statistics to Text Files**, в директории расположения файла статистики создаётся папка с названием, состоящим из словосочетания **Export from file** и имени файла статистики. В качестве примера, на рисунке ниже показана схема содержимого папки

экспорта статистики по источнику, разделённого на три слоя. Названия папок с результатами экспорта соответствуют перечню элементов источника статистики из столбца **Layer name** сводной статистической таблицы (более подробно см. главу <Экспорт сводной статистической таблицы>). На схеме, представленной ниже, папки показаны так, как они выглядят в проводнике Windows. В синих рамках показано содержимое папок.

В папках, где размещены данные для границы слоя, находится один файл таблицы со значениями атрибута источника статистики в месте положения границы слоя.

В остальных папках находятся файлы таблиц по каждому показателю статистики, показатель статистики соответствует имени файла. Таблицы в кодировке **ASCII** состоят из двух столбцов. Первый столбец – это расстояния по горизонтали от начала координат, второй столбец – значения статистического показателя. В случае наличия послынных данных, папка с результатами экспорта содержит файл (или файлы) со схемой расположения слоёв **layer position map** в формате **png**.



Сохранение графика

Сохранение графика статистики в графическом формате осуществляется при помощи пункта меню **Save Plot**, который расположен в группе меню **Statistics** или при помощи кнопки **Save Plot** на панели **Statistics**. Настройки сохранения осуществляются на панели **Save in graphic format** – более подробно см. главу <Сохранение изображения в графическом формате>. Если панель **Save in graphic format** не открыта, она автоматически откроется после нажатия на кнопку или пункт меню **Save Plot**, а процесс сохранения прервётся, чтобы пользователь имел возможность настроить параметры сохранения.

Статистический график можно сохранять с учётом горизонтального масштаба. Для этого на панели **Save in graphic format** нужно отметить флажок **Saving scale** и указать масштаб в окне ввода параметра **Scale on X**.

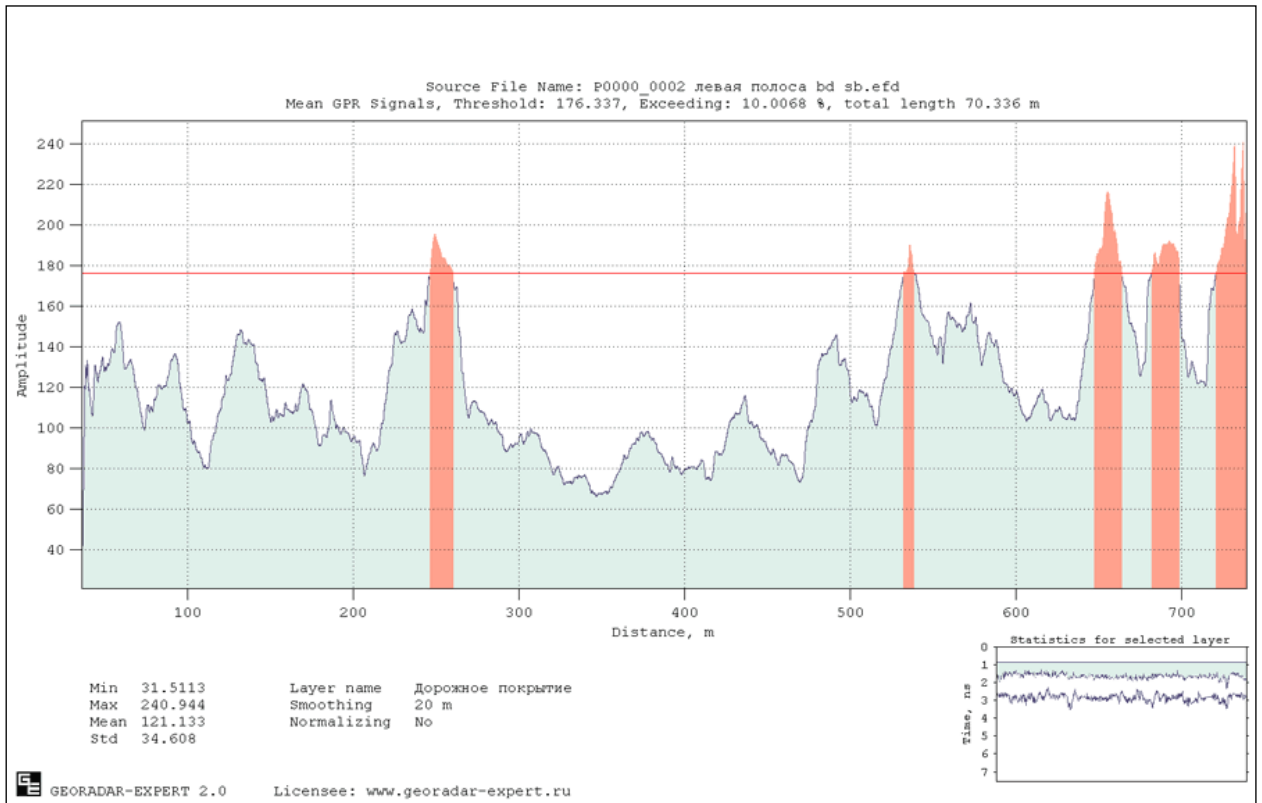
Если на графике статистики отображается порог, то данные о положении областей нарушения уровня порога с характеристиками этих областей сохраняются в таблицу формата MS EXCEL одновременно с сохранением изображения графика статистики (более подробно о таблице нарушения уровня порога см. в разделе <Пороговая обработка статистических данных>).

На рисунке ниже показан пример сохранённого изображения графика статистики. Заголовок графика содержит имя файла источника статистики **Source File Name**, информацию о

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

статистическом показателе (для данного графика – среднее арифметическое **Mean**), наименование атрибута (для данного графика – амплитуда сигналов георадарного профиля **GPR Signals**), значение порога **Threshold**, процент суммарной протяжённости областей превышения порога от длины георадарного профиля **Exceeding** и суммарный метраж областей превышения **total length**. Уровень порога на графике показан линией красного цвета. Области нарушения порогового правила также показаны красным цветом.



Под осями графика, в левой нижней части листа, размещены статистические характеристики графика **Min**, **Max**, **Mean** и **Std** (более подробно о показателях статистики см. в главе <Статистические показатели>), имя слоя **Layer name** (если файл статистики не имеет информации о слоях, то слой называется **Full area**), величина окна сглаживания данных в метрах **Smoothing** (если значение 0, то данные без сглаживания) и информация о нормализации данных **Normalizing**. Если файл статистики содержит информацию по слоям, то в правой нижней части листа размещается схема расположения слоя (слой выделен заливкой), статистические данные которого отображаются на графике.

На рисунке ниже показан результат сохранения статистического графика с учётом горизонтального масштаба. Вся информация по графику сосредоточена в левом нижнем углу изображения.



Приложения

Типовая последовательность действий пользователя по получению разреза исследуемой среды

Чтобы получить разрез исследуемой среды, пользователь должен выполнить следующие действия. В угловых скобках указаны ссылки на соответствующие разделы руководства пользователя:

1. Записать георадиолокационный профиль в соответствии с рекомендованными параметрами <Параметры записи георадиолокационного профиля>;
2. Открыть георадиолокационный профиль в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ <Загрузка файла профиля>;
3. Если требуется предварительная обработка данных георадиолокационного профиля, выполнить эту обработку <Предварительная обработка данных>;
4. Открыть панель **ABSEF**, щёлкнув мышью по пункту меню **BSEF Analysis of GPR Profiles**, расположенному в группе меню **Analysis** <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>;
5. Кнопкой **Start** или **Batch** на панели **ABSEF** запустить процесс анализа поля обратного рассеяния <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>;
6. В случае, если процесс анализа запускался кнопкой **Start**, сохранить результат анализа, щёлкнув мышью по пункту меню **Save efd**, расположенному в группе меню **File** или нажав кнопку **Save** на панели **ABSEF** <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>;
7. Если требуется, произвести действия по ограничению диапазона наиболее значимых атрибутов <Ограничение диапазона значимых атрибутов>;
8. Если требуется, выбрать тип корректирующей функции и произвести дополнительные настройки КФ <Настройки корректирующей функции> <Построение корректирующей функции в автоматическом режиме> <Построение корректирующей функции в ручном режиме> <Наиболее часто применяемые графики КФ, построенные вручную>;
9. Задать параметры сглаживания данных разреза по вертикали и горизонтали в группе параметров **Data smoothing Y(samples) X(m)** на панели **Settings for Attribute "Permittivity"** и/или на панели **Settings for All Attributes** <Панель Settings for Attribute "Permittivity"> <Панель Settings for All Attributes>;
10. Запустить процесс построения разреза кнопками **Section** или **Batch mode**, расположенными на панели **Section**, или щёлкнув мышью пункт меню **Create section** или **Create section in batch mode**, расположенный в группе меню **Section** <Построение разреза> <Построение разреза в пакетном режиме>;
11. После завершения процесса построения разреза, если требуется, настроить пороги отображения и другие параметры визуализации разреза <Диапазон отображения атрибута> <Параметры визуализации разреза > <Управление цветовой схемой разреза>;
12. Сохранить разрез в графический формат. Наряду с сохранением изображения разреза, автоматически сохраняются и параметры построения разреза в формат **geprm** <Сохранение изображения в графическом формате> .

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Перечень ссылок на описание панелей управления параметрами

В данном разделе содержатся ссылки на разделы с описанием панелей управления обработкой и визуализацией георадарных данных. Ссылки заключены в угловые скобки, название панелей размещены слева от ссылок. Для левой группы вкладок список панелей ведётся по их расположению на вкладке сверху вниз, слева направо, по мере возрастания номеров вкладок. Для нижней группы вкладок список постоянно присутствующих панелей ведётся по их расположению на вкладке слева направо, по мере возрастания номеров вкладок. Открываемые пользователем панели находятся в конце списка.

Левая группа вкладок

Permittivity <Визуализация данных анализа>
Central Frequency <Визуализация данных анализа>
Signal Bandwidth <Визуализация данных анализа>
Q-factor <Визуализация данных анализа>
Corrective Function $\epsilon_p(f)$ <Настройки корректирующей функции>
Corrective Function $\epsilon_p(df)$ <Настройки корректирующей функции>
Corrective Function $\epsilon_p(q\text{-factor})$ <Настройки корректирующей функции>
Cluster Analysis of Permittivity <Кластерный анализ диэлектрической проницаемости>
Section <Панель Section>
Settings for Attribute "Permittivity" <Панель Settings for Attribute "Permittivity">
Settings for All Attributes <Панель Settings for All Attributes>
Post Processing <Панель Post Processing>
Filled Contour Plot <Контурный график с заливкой>
Settings of Colormap for Section <Редактирование цветовой схемы>
Flaw Detection in Concrete <Дефектоскопия строительных конструкций из бетона>

Нижняя группа вкладок в режиме 2D

Axis <Настройка шкал и режимов указателя мыши>
Zero Point Level <Установка ноля шкалы глубины>
Size <Панель Size>
Navigator <Панель Navigator>
Adjusting Image <Панель Adjusting Image>
Profile Parameters <Редактирование данных профиля>
Signal Processing <Обработка сигналов георадиолокационного профиля>
Fourier Filter Settings <Частотная фильтрация>
Block-by-block Processing <Обработка сигналов в блочном режиме>
Interference Rejection <Удаление помех пространственным фильтром и замена трасс профиля>

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Signal Decomposition in Components <Удаление помех при помощи разложения сигналов на компоненты>

Cut <Обрезка профиля>

Measuring <Измерение скорости волны вручную>

ABSEF <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>

Boundaries of Layers <Панель Boundaries of Layers>

Save in Graphic Format <Сохранение изображения в графическом формате>

Export to Table <Экспорт данных в таблицу формата TXT>

B-Detector <B-Detector>

Statistics <Статистический анализ>, <Визуализация статистической информации>

Layer Picker for Statistics <Использование панели выбора слоёв>

Нижняя группа вкладок в режиме 3D

Position X-Y on Z-axis <Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis>

Position X-Z on Y-axis <Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis>

Position Y-Z on X-axis <Панели Position X-Y on Z-axis, Position X-Z on Y-axis и Position Y-Z on X-axis>

Cube Components Display <Панель Cube Components Display>

Rounding <Панель Rounding>

Smoothing <Панель Smoothing>

Axes Labels, Grid and Limits <Панель Axes Labels, Grid and Limits>

Axis Ratio <Панель Axis Ratio>

Cube View <Панель Cube View>

Cube Cut and Alpha <Панель Cube Cut and Alpha>

Light Source <Панель Light Source>

Visible Range <Панель Visible Range>

Isosurface <Панель Isosurface>

Cut Area <Панель Cut Area>

Contours on 2D Views <Панель Contours on 2D Views>

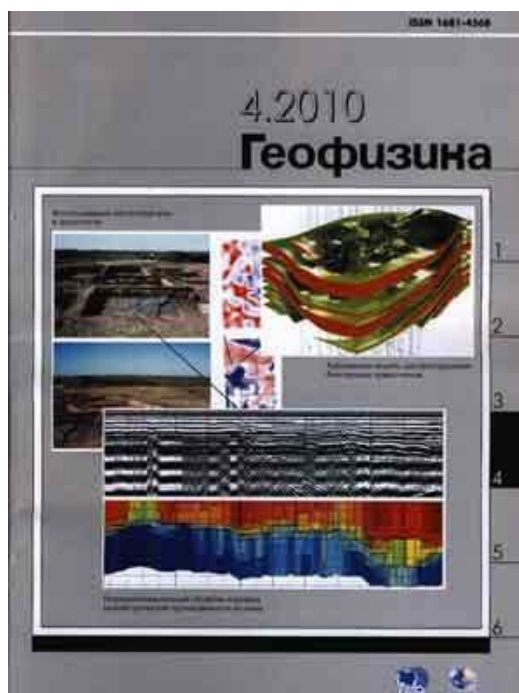
Settings of Colormap <Панель Settings of Colormap>

Attribute Features <Панель Attribute Features>

User Section <Панель User Section>

Статья “Обработка георадарных данных в автоматическом режиме”, журнал “ГЕОФИЗИКА” №4 за 2010 г

Р. Р. Денисов, кандидат физ.-мат. наук В. В. Капустин. Рецензент – доктор физ.-мат. наук М. Л. Владов.



Аннотация

В предлагаемом материале рассматривается способ приближенного решения задачи инверсии для непрерывного радарного профилирования. Для получения разреза распределения

электрофизических свойств грунтов используется поле обратного рассеяния электромагнитных волн. Способ получения устойчивого решения основан на построении нелинейных пространственных фильтров, применяемых к числовому множеству значений диэлектрической проницаемости среды (или скорости электромагнитных волн). Предлагаемый подход позволяет построить автоматизированную систему обработки георадарных данных, достаточно эффективно работающую в сложнопостроенных рассеивающих средах.

Ключевые слова: георадар, автоматизированная обработка, алгоритм, диэлектрическая проницаемость грунта.

Abstract. Authors consider the way of approximate solution of the inversion task for continuous georadar profiling. The back-scattering electromagnetic field is used to obtain the section of electrical and physical subsoil properties. Method of stable solution is based on building non-linear spatial filters that are applied to number set of subsurface permittivity (or electromagnetic waves velocity). The suggested approach allows building on electronic system of georadar data processing that works efficiently in the complex diffusing medium.

Key words: georadar, electronic data processing system, algorithm, subsurface permittivity.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Применение георадарного метода для решения инженерно-геологических и геотехнических задач в настоящее время приобретает все более широкие масштабы. Это объясняется простотой и удобством проведения полевых работ и высокой производительностью метода. Одновременно с этим возникает целый ряд проблем с обработкой больших массивов данных и интерпретацией полученного материала. При использовании георадара для исследования автомобильных дорог и железных дорог, аэродромов, при работе на акваториях протяженность георадарных профилей может составлять десятки и даже сотни километров. В большинстве случаев оперативное получение конечного материала является необходимым условием проведения георадарных работ [2].

Существующие в настоящее время программные средства обработки георадарных данных позволяют для ряда стандартных задач использовать готовые графы обработки, улучшающие вид материала, поступающего в интерпретацию [3]. При решении задач выделения в плане локальных областей электрофизических неоднородностей (участки обводнения, линзы глин, пустоты, трещины на асфальтовом или бетонном покрытии и т.п.) автоматизация данного процесса может быть частично решена методами атрибутного анализа. Данная задача аналогична задаче профилирования, применяемого в различных геофизических методах. В качестве атрибутов могут быть использованы амплитудные, частотные, фазовые характеристики записи, затухание и ряд других.

Задача определения пространственного положения электрофизических границ и неоднородностей (задача зондирования) является более сложной в смысле использования средств автоматизации. Это связано с тем, что автоматизированное определение (пикировка) электрофизических границ, в большинстве случаев, требует интерактивное участие интерпретатора или применения сложных самообучающихся алгоритмов. Вполне естественно, что для решения большинства типовых задач, связанных с изучением инженерно-геологических условий, хотелось бы иметь возможность оперативной автоматизированной обработки позволяющий получить удобный для интерпретации материал, хотя бы и с некоторой потерей точности.

Задача построения разреза подповерхностной среды, как правило, решается методом визуального анализа волновой картины радарограммы и прослеживания выбранных по тем или иным критериям осей синфазности отраженных сигналов, которые соответствуют границам раздела слоёв с различными электрофизическими параметрами [5].

Этот способ не вызывает трудностей, если толща состоит из диэлектрически контрастных областей, на границах которых диэлектрическая проницаемость меняется скачкообразно, и эти границы уверенно отыскиваются на радарограмме.

Однако нередко случается так, что характеристики компонент, например, грунта, меняются плавно, без скачка, вследствие диффузного характера контакта соседних слоёв или в силу каких-то других причин. В этом случае оси синфазности, которые соответствовали бы искомым границам, на радарограмме трудно выделяемы, или отсутствуют вовсе.

В подобных условиях единственное решение – вручную, известными в геофизике приёмами, определить скоростные характеристики участков разреза по найденным на радарограмме дифрагированным волнам, которые сформировались в результате отражений от точечных подповерхностных объектов, и объединять области с близкими значениями скорости в слои.

Достоверность построенного подобным образом разреза определяется количеством обнаруженных отражений, равномерностью распределения их по площади радарограммы, степенью подготовки геофизика-интерпретатора и человеческим фактором (невнимательность, усталость и т.п.).

Трудоёмкость этого метода не позволяет производить обработку больших объёмов георадиолокационных данных за приемлемое время. Таким образом, сводится на нет преимущество метода георадиолокации в области высокой производительности.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Учитывая существующие особенности метода подповерхностной радиолокации: сравнительно небольшую глубину исследований, высокую разрешающую способность метода, сложность и неоднородность верхней части разреза, вполне естественно выглядит возможность использования поля обратного рассеяния электромагнитных волн для определения электрофизического строения среды [4].

Автоматизация процесса распознавания дифрагированных отражений и определения кинематических характеристик волн с последующим построением разреза позволяет расширить возможности георадиолокации.

Рассмотрим основные принципы, которые должны быть заложены в алгоритм анализа поля обратного рассеяния волн георадара. Волновое поле на радарограмме имеет достаточно сложный характер и обычно состоит из следующих компонент: однократные отражения; кратные отражения; обратное рассеяние (дифракция); воздушные отражения; помехи.

В связи с этим первой проблемой является выделение поля обратного рассеяния из совокупности наблюдаемых данных. Эта задача может быть частично решена с использованием стандартных средств обработки - частотной и пространственной фильтрации [5]. Однако полного разделения полей добиться не удастся. Поэтому после предварительной обработки данных полученный числовой массив условно рассматривается как поле обратного рассеяния, которое может быть подвергнуто преобразованию (типа гиперболической миграции) для вычисления диэлектрической проницаемости ϵ' или скорости V .

В процессе вычисления алгоритм исключает значения непопадающие в заранее заданный диапазон $\epsilon'_1 < \epsilon' < \epsilon'_2$ и вычисляет в окрестности каждой точки определения ϵ' значения динамических параметров - частоты f , затухания d , амплитуды A и т.п. В результате может быть определено векторное поле $[\epsilon', f, d, A, \dots, M_n]$ размерности n , равной количеству динамических параметров. Далее, используя априорные или полученные в результате статистического оценивания связи между диэлектрической проницаемостью и одним или несколькими динамическими параметрами, может быть построена маска нелинейного пространственного фильтра, позволяющего подавлять значения ϵ' , определяемые кратными отражениями, воздушными отражениями и помехами.

Автоматизированная обработка производится по следующему алгоритму:

1. Выделение на радарограмме точек, через которые с высокой вероятностью могут проходить фрагменты дифракционных годографов;
2. Определение кинематических и динамических характеристик сигналов в окрестностях выделенных точек (скорость волны по наклону фрагментов линии годографа, центральную частоту и т.п.);
3. Отбраковка точек по скоростному критерию $V_{\min} \leq V \leq V_{\max}$. В дальнейшем оставшиеся точки будут служить в качестве опорных при построении разреза;
4. Пересчёт скоростей волн в эффективные значения действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ϵ' ;
5. Корректировка значений ϵ' по частотному атрибуту или группе атрибутов;
6. Построение разреза диэлектрической проницаемости среды во временной области методом интерполяции значений ϵ' по опорным точкам;
7. Пересчёт временной шкалы разреза в шкалу глубинную в соответствии со значениями ϵ' ;
8. Сохранение разреза диэлектрической проницаемости в графический файл в виде изолиний с заданным шагом значений и цветовой схемой.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В результате работы первых двух шагов алгоритма формируется набор точек, которые имеют координаты, и атрибуты в виде значений скорости и частоты (рассматривается вариант использования одного атрибута).

Далее происходит отбраковка точек по скоростному критерию – например, точки со значениями скорости выше 30 см/нс (скорость электромагнитной волны в вакууме) и ниже 3.33 см/нс (минимальная скорость электромагнитной волны в воде) не принимаются к рассмотрению в качестве опорных точек разреза и удаляются.

На Рис. 1 представлена радарограмма, на которой красными маркерами показаны положения опорных точек после отбраковки. Высокая плотность точек позволяет получить достаточно детализированный разрез.

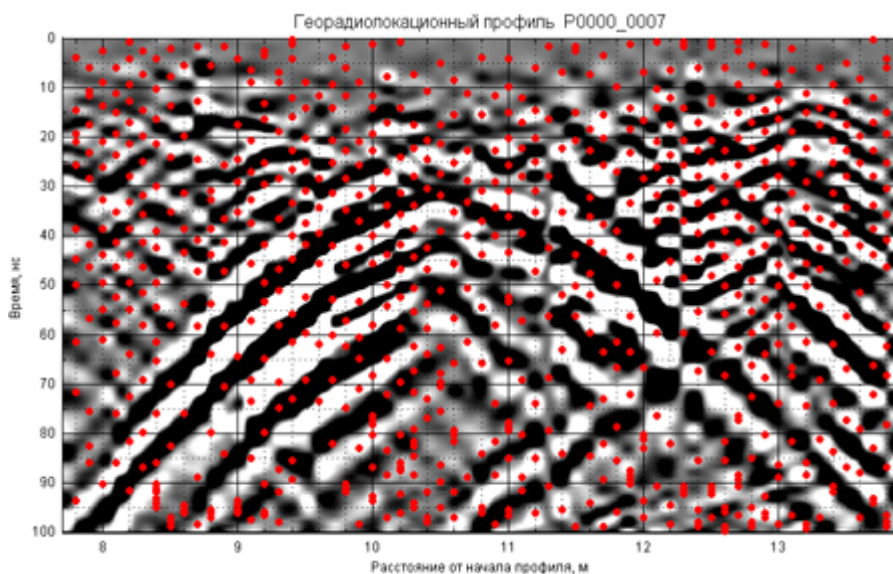


Рис.1

Пример радарограммы с положением опорных точек после отбраковки по скоростному критерию.

После сортировки точек производится пересчет значений скорости в значения диэлектрической проницаемости, так как в дальнейшем будут исследоваться не кинематические характеристики волн, а электрофизические свойства среды.

Наиболее ответственный этап обработки – корректировка значений ϵ' по частотному (или другому) атрибуту. Он требуется для исправления возможных ошибок определения скорости электромагнитных волн и исключения искажений, вызванных влиянием кратных отражений, «воздушных» отражений и других помех.

Данная процедура производится, как отмечалось выше, с помощью адаптивной пространственной фильтрации. Маска фильтра (решающее правило) может быть построена на основе одного или нескольких эмпирически установленных связей между точкой матрицы диэлектрической проницаемости среды $\{\epsilon'\}$ и одним или несколькими динамическими атрибутами. Рассмотрим вариант построения подобного фильтра на основании одного из свойств изучаемой среды.

Как известно, затухание зондирующих импульсов георадара является частотно зависимым - высокочастотные компоненты электромагнитных волн затухают быстрее, чем низкочастотные. Наряду с этим влажность, от которой первую очередь зависит диэлектрическая проницаемость грунта, также меняется с глубиной, как правило,- увеличивается, а соответственно увеличивается и значение ϵ' .

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если для определенных в процессе обработки значений центральных частот импульсов рассчитать средние значения $\epsilon'_{\text{ср}}$ из множества $\{\epsilon'\}$ и построить эту зависимость на графике в виде облака точек, то уравнение регрессии может быть использовано в качестве корректирующей функции (маски фильтра). В результате применения этой функции достоверность интерпретации разреза значительно повышается. На Рис.2 показан вид корректирующей функции для радарограммы, полученной на поверхности мерзлых грунтов.

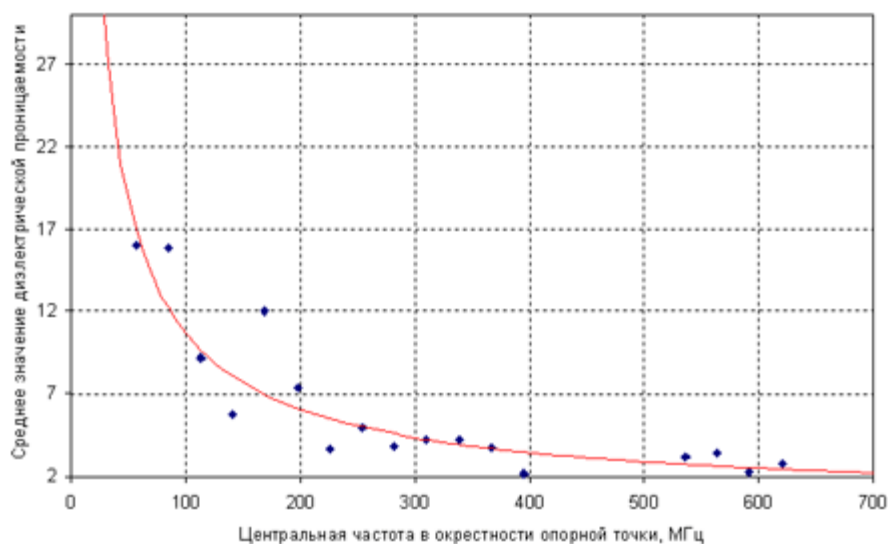


Рис. 2

Корректирующая функция, полученная на участке развития слоя сезонного промерзания.

Следует заметить, что геофизик-интерпретатор, опираясь на априорную информацию о строении разреза, может ввести собственную корректирующую функцию, более точно отражающую взаимосвязь ϵ' и частоты для данного типа разреза.

Заключительный этап построения разреза диэлектрической проницаемости – интерполяция значений ϵ' по опорным точкам известными в вычислительной математике методами (триангуляция Делоне).

Таким образом, на вход программы автоматизированной обработки подаётся числовая матрица амплитуд отражённых сигналов, полученная при георадиолокационном профилировании, на выходе формируется матрица того же размера, но уже со значениями ϵ' для каждой точки двумерного пространства разреза.

Наиболее информативно визуализировать матрицу значений ϵ' в виде контурного графика с залитыми, в соответствии с выбранной цветовой схемой, областями.

На Рис. 3 представлен результат автоматизированной обработки профиля, полученного георадаром с центральной частотой зондирующих импульсов 300 МГц (исследования характеристик грунта в районе многолетней мерзлоты).

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

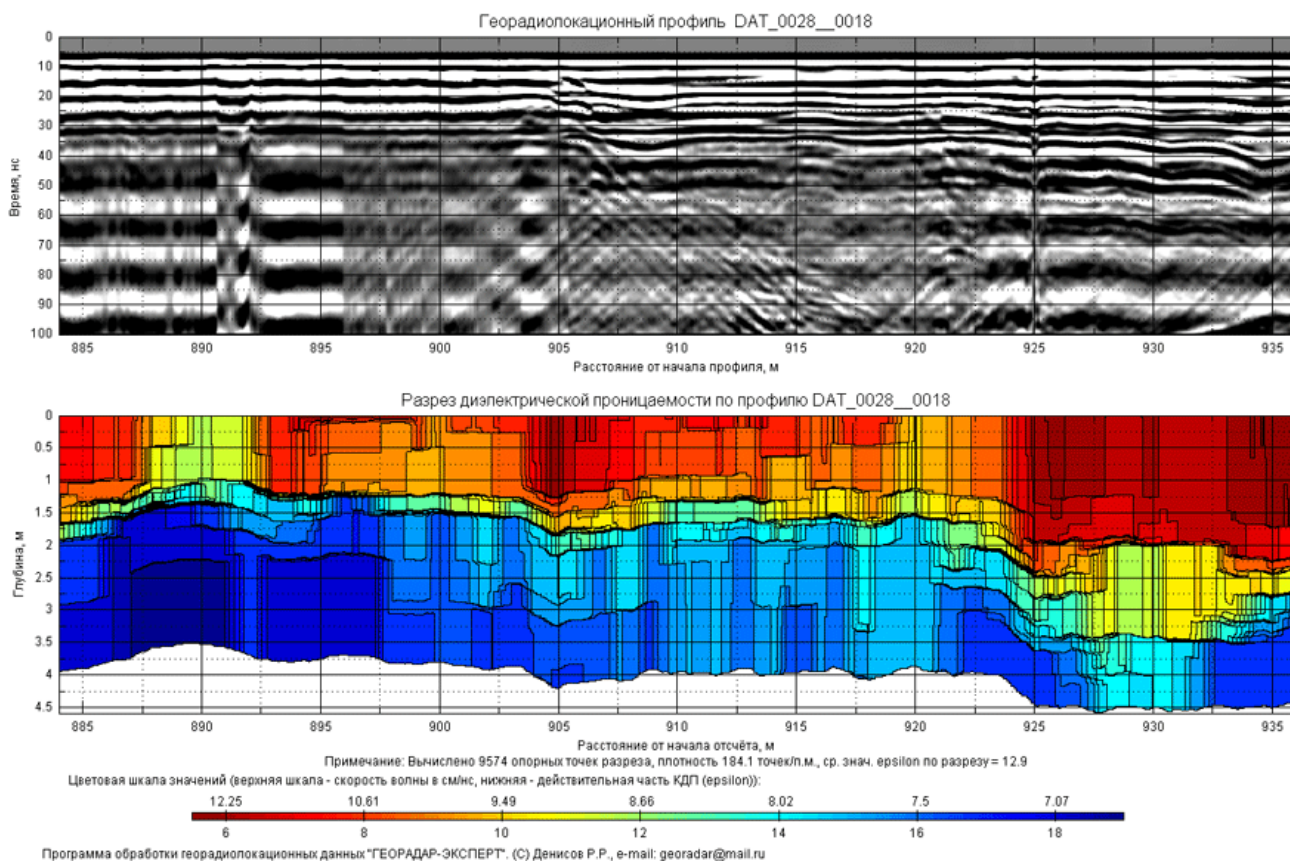


Рис.3

Георадиолокационный профиль, полученный при зондировании грунта в районе многолетней мерзлоты, и результат автоматизированной обработки в виде разреза диэлектрической проницаемости. В отличие от необработанной радарограммы, на разрезе можно наблюдать степень промерзания различных участков подповерхностной среды.

Автоматизированное построение разреза диэлектрической проницаемости имеет следующие преимущества перед традиционными методами обработки георадиолокационных данных:

- Увеличивается глубинность георадиолокационных исследований – алгоритм распознавания фрагментов дифракционных годографов имеет высокую помехоустойчивость и удовлетворительно работает и в шумовой области радарограммы [Рис. 4].
- Повышается информативность исследований – фиксируются границы разреза там, где нет достаточного скачка диэлектрической проницаемости для формирования характерных, для границ раздела сред, осей синфазности сигналов. Также наглядно прослеживается изменение диэлектрической проницаемости внутри слоя [Рис. 5].
- Значительно возрастает скорость обработки полевого материала, что немаловажно при постоянно увеличивающихся объемах георадарных работ, особенно в дорожной и железнодорожной отраслях.
- Расширяется область применения георадара. На основе разрезов диэлектрической проницаемости можно строить распределения влажности по разрезу [Рис. 6] или частотные распределения.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Сведено к минимуму влияние так называемого «человеческого фактора».

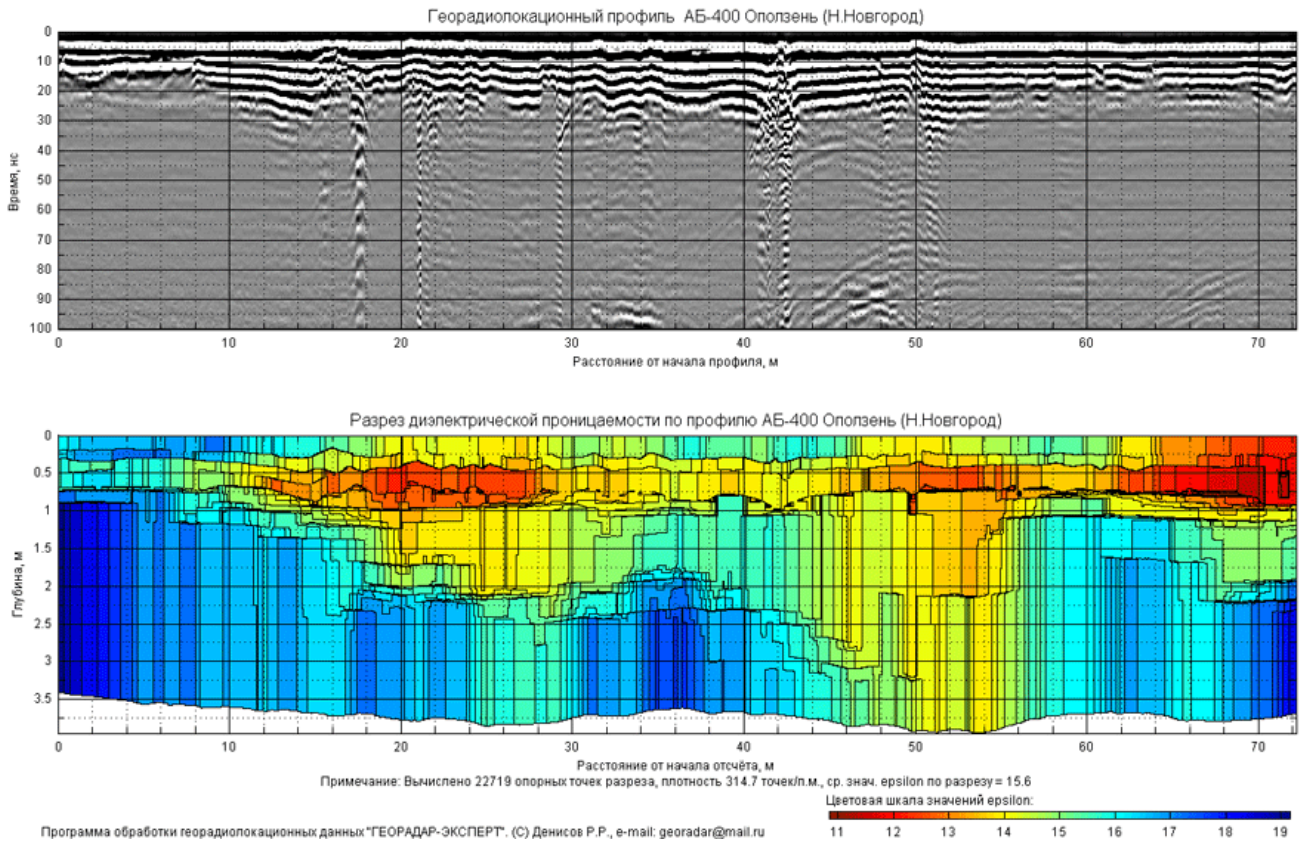


Рис. 4

Георадиолокационный профиль, пересекающий оползневой участок, и результат автоматизированной обработки в виде разреза диэлектрической проницаемости. В результате обработки определяется тело оползня и граница скольжения.

В заключении необходимо отметить, что предлагаемый метод не является панацеей при решении всех проблем георадиолокации, а представляет собой один из вариантов приближенного решения задачи инверсии, имеющий пределы применимости.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

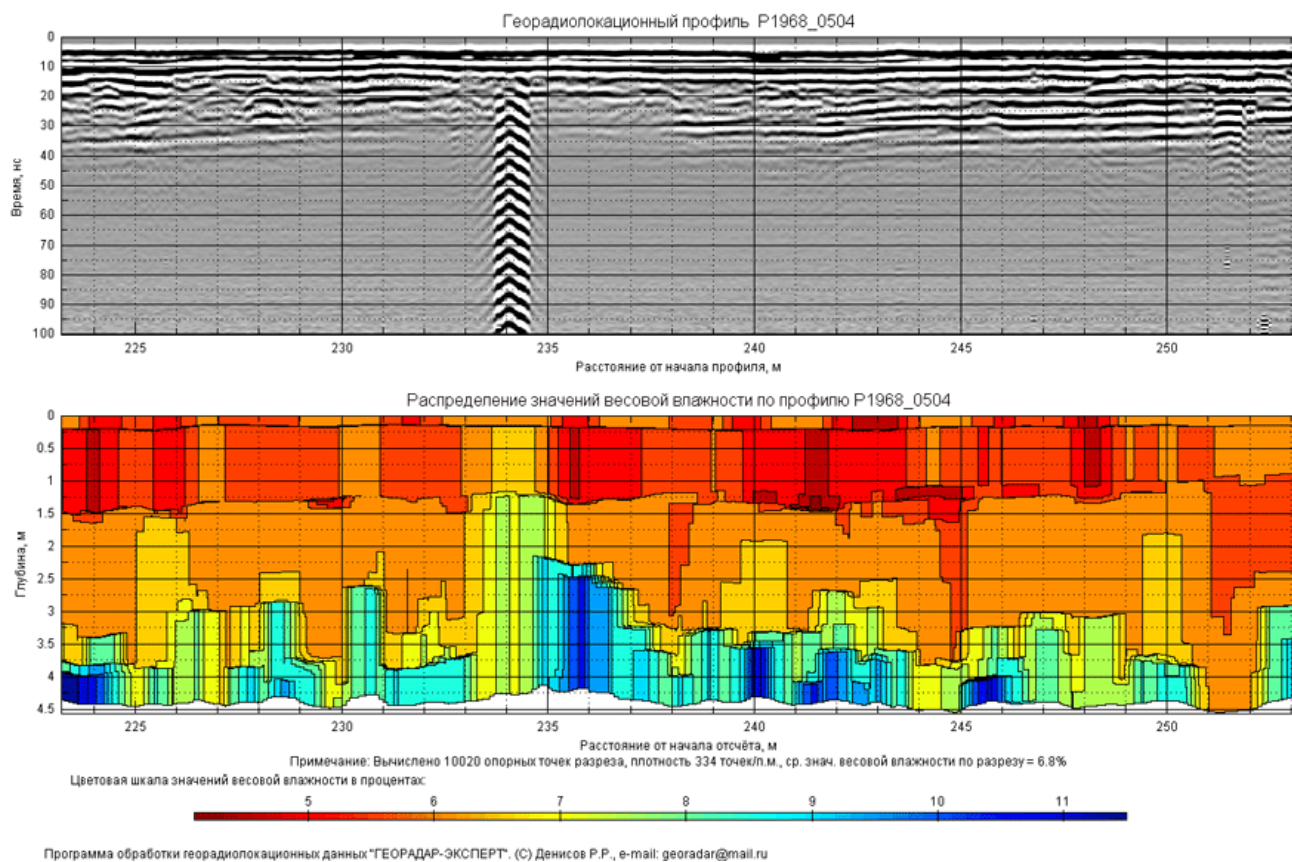


Рис.5

Георадиолокационный профиль вдоль песчаной насыпи автомобильной дороги. В результате автоматизированной обработки построен разрез, по которому можно судить о распределении влажности в районе водопропускной трубы, находящейся на горизонтальной отметке 234 м.

Литература

- Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С., 2006, Цифровая обработка изображений в среде MATLAB: Техносфера.
- Капустин В.В., Строчков Ю.А., 2008, Некоторые особенности обработки георадарных данных при исследовании строительных конструкций: Разведка и охрана недр, 1, 22-25.
- Капустин В.В., 2005, Дополнительные возможности компьютерной обработки георадарных и сейсмических данных: Разведка и охрана недр, 12, 26-31.
- В.Б. Левянт, И.Б. Петров, С.А. Панкратов., 2009, Исследование характеристик продольных и обменных волн отклика обратного рассеяния от зон трещиноватого коллектора: Технологии сейсморазведки, 2, 3-11.
- Старовойтов А.В., 2008, Интерпретация георадиолокационных данных: М., Изд-во Московского государственного университета.

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных
РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Свидетельство о государственной регистрации программы

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО
о государственной регистрации программы для ЭВМ
№ 2011616392

**Программа автоматизированной обработки
георадиолокационных данных «ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ»**

Правообладатель(ли): **Денисов Роман Рудольфович (RU)**

Автор(ы): **Денисов Роман Рудольфович (RU)**

Заявка № **2011614548**
Дата поступления **21 июня 2011 г.**
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ
17 августа 2011 г.



Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной
собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов