ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ



РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

ВЕРСИЯ ОТ 05.01.2025

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

оглавление

О ПРОГРАММЕ	8
Введение	8
Автоматизированный анализ BSEF	8
Суммирование разрезов	
Обработка сигналов георадарного профиля	
Повышение разрешения георадарных данных	
Подавление помех и воздушных отражений	
ОБЗОР ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	21
ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ	29
ПОДДЕРЖИВАЕМЫЕ ФОРМАТЫ ДАННЫХ	
СКОМПИЛИРОВАННЫЙ ФАЙЛ СПРАВКИ	
ПРОГРАММНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И УСТАНОВКА	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ И БОЛЕЕ МОНИТОРОВ	
ГРАФИЧЕСКИЙ ИНТЕРФЕЙС ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ	35
-	
Вкладки и информационная панель	
УПРАВЛЕНИЕ РАЗМЕРОМ ВКЛАДОК	
Заголовок окна программы	
Строка меню	
Строка сообщений	
ВСПЛЫВАЮЩИЕ ПОДСКАЗКИ	
Индикатор выполнения	
Индикатор ожидания	
Конфигурация рабочего пространства для работы в режиме 2D	
Конфигурация рабочего пространства для работы в режиме 3D	
Снимок экрана	
Открытие директории расположения файла в проводнике Windows	43
НАЧАЛО РАБОТЫ С ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫМ ПРОФИЛЕМ	
Загрузка файла профиля	
Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля	
Панель Size	
Панель Navigator	
Панель Adjusting Image	
Панель АGC	
Установка ноля шкалы глубины	47
Настройка шкал и режимов указателя мыши	
Редактирование данных профиля	
Обрезка профиля	
Разбивка профиля на фрагменты	
Добавление профиля	
РЕВЕРСИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ	
Сохранение профиля	
Таблица объёма работ	
Измерение скорости волны вручную	53
ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ	54
Частотная фильтрация	ς <i>Λ</i>
МЕЛИАННАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ	۰

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Сглаживание	57
Выделение огибающей сигналов	58
Вычитание среднего	59
Удаление тренда	60
Повышение детализации	60
Вейвлет-декомпозиция сигналов и повышение разрешения по глубине	60
Ресемплинг	61
Удаление помех с помощью разложения сигналов на компоненты	62
Удаление помех пространственным фильтром и замена трасс профиля	64
Пространственная фильтрация	65
Замена трасс профиля	66
B-Detector	67
Навигация по истории обработки	68
Сохранение и загрузка истории обработки	69
Обработка в пакетном режиме	70
Удаление истории обработки	70
Обработка сигналов в блочном режиме	71
Мьютинг	71
Корректировка положения георадарных трасс по вертикали	72
Корректировка положения георадарных трасс по горизонтали	72
Корректировка уровня поверхности земли на георадарном профиле	74
Объединение данных многоканального георадара	74
Конвертирование изображения георадиолокационного профиля из графического формата в формат EFI	D77
АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ	79
Ввеление	
Терминология	79
Георадиолокационный профиль	80
Локальный объект	80
Поле обратного рассеяния BSEF	80
Дифрагированное отражение	80
Точка анализа поля	81
Атрибут	81
Разрез атрибута	81
Ошибки анализа поля обратного рассеяния	81
Корректирующая функция	81
Базовые атрибуты	82
Опорные точки разреза	83
Ограничения метода	83
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА BSEF В СЛУЧАЕ ОТСУТСТВИЯ ДИФРАКЦИОННОЙ КОМПОНЕНТЫ ПОЛЯ	84
Параметры записи георадиолокационного профиля	86
Предварительная обработка данных	86
Анализ BSEF и сохранение результатов анализа	87
ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ПОЛЯ ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ	
Перечень атрибутов разреза	
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОСМОТР РАЗРЕЗОВ АТРИБУТА	
Загрузка файла георадарного профиля с результатами анализа BSEF	93
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА BSEF В ПРОЦЕССЕ ЗАГРУЗКИ ФАЙЛА ГЕОРАДАРНОГО ПРОФИЛЯ	
Очистка результатов анализа BSEF	
Очистка по отклонению от средних значений	
Очистка по критерию повторяемости	
Отмена результатов очистки и ограничений базовых атрибутов	
Визуализация результатов анализа BSEF	

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

	102
ОГРАНИЧЕНИЕ ДИАПАЗОНА БАЗОВЫХ АТРИБУТОВ	105
НАСТРОИКИ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ. В РУИНОМА РЕУИНАЛЕ	104
ПАСТРОИКА КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ В РУЧНОМ РЕЖИМЕ	100
ЛРЕЛВАРИТЕЛЬНЫЙ ПРОСМОТР РАЗРЕЗОВ ЛЛЯ ВЫБОРА ТИПА КФ	100
	109
Паналь Section	109
Thursday Corrective Eulertion Ontions	
Панель Basis – прореживание селіки разреза и ввоо попривок за рельеф	
Панель Primary Attribute и панель оля настроики разрезов оругих атриоутов	
Группа параметров Smootning RF Y(smpi) X(m)	
Группа параметров Start time of change with depth	
Tiapamemp Attribute values as aepth increase	
Группа параметров IQR-based data correction	
Группы параметров Primary attribute range и Attribute range	
ПОСТРОЕНИЕ РАЗРЕЗА	
Корректировка параметров создания разреза	
Настройка параметра Iteration	
Выбор атрибута разреза	
Настройка КФ	
Настройка оптимизации результатов анализа BSEF	
Настройка сглаживания разреза	
Построение разреза в пакетном режиме	
ПАРАМЕТРЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАЗРЕЗА	
	124
ПАНЕЛЬ EXTRAS	
НАЛОЖЕНИЕ РАЗРЕЗА НА ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫИ ПРОФИЛЬ	
ПРЯМОУГОЛЬНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ	
ОКРУГЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ АТРИБУТА	
ИСКЛЮЧЕНИЕ ЗАДАННОЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТИ ДАННЫХ ИЗ РАСЧЁТА РАЗРЕЗА	
Инвертирование данных	
Диапазон отображения атрибута	
НАСТРОЙКА ОСЕЙ И УКАЗАТЕЛЯ МЫШИ	131
Контурный график с заливкой	131
УПРАВЛЕНИЕ ЦВЕТОВОЙ СХЕМОЙ РАЗРЕЗА	
Выбор готовой цветовой схемы	
 ГЕНЕРАТОР СЛУЧАЙНОЙ ПВЕТОВОЙ СХЕМЫ.	
Сохранение и загрузка цветовой схемы	
РЕЛАКТИРОВАНИЕ ПВЕТОВОЙ СХЕМЫ	
Редактирование иветовой схемы с помошью кнопок на панели Colormap	
Кнопка Меал	133
Кнопки эффекта изолиний на разрезе	
Кнопка Reverse	135
Кнопка Invert	135
Кнопка Smooth	135
Кнопка Ром	126
Кнопки герестановки компонентов RGR	130 126
Редактирование иветовой суемы с помошью инструментое на екладке ензуданзании	
у соактарование цостовой слемы с помощою инструментов на вклавке визуализиции. Управление иветовым балансом и аркостью иветорой схемы	
ларатирование цветовой схемы с помощью указателей	
Редактирование цветовой схемы с помощою указаннелия фразмента неотовой схе	мы мышыл 100
Геоналирование цветовой схемы с помощью параметра Color to rapide на почени Color	man 1/0
териктирование цветовой слемы с помощью пириметри соют то типуе на пинели соют	тар140

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

Редактирование цветовой схемы с помощью интерактивного окна цветовой шкалы	141
Настройка градуировки цветовой шкалы	141
Установка порогов отображения разреза	142
Навигация по шагам редактирования цветовой схемы	143
Сохранение и загрузка цветовой схемы	143
СОХРАНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ	144
Сохранение изображения в графическом формате	144
Сохранение данных разреза в формат xzd	147
Сохранение в формат efd	147
Сохранение и загрузка параметров построения разреза	147
Экспорт данных в таблицу формата ТХТ	148
Экспорт данных в сеточные форматы GRD (Surfer) и ASC (ArcGIS)	148
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТРИБУТОВ	151
ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ГРАНИЦЫ СЛОЁВ	155
Принцип формирования слоёв	155
Панель Boundaries of Layers	156
Создание границы по узловым точкам	159
Создание границы в непрерывном режиме (рисование мышью)	160
Создание границы в автоматическом режиме	160
Редактирование границы	161
Добавление узловых точек линии границы	161
Разделение границы на две части	161
Обрезка границы	162
Объединение двух границ	162
Удаление узловых точек	163
Отображение и редактирование имени слоя	163
Поле ввода условий построения разреза для границы слоя	164
Построение разреза с учётом границ слоёв	
НАСТРОЙКА ОТОБРАЖЕНИЯ СЛОЁВ НА РАЗРЕЗЕ ИЛИ СЕЧЕНИИ 3D СБОРКИ	168
Сохранение и загрузка границ слоёв	
ЭКСПОРТ ПОЛОЖЕНИЯ ГРАНИЦ СЛОЕВ В ТАБЛИЦУ MS EXCEL	169
ТРЁХМЕРНАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ	172
Создание 3D сборки разрезов по координатам XY	172
Создание 3D сборки разрезов по координатам XYZ	176
Создание таблицы координат ХҮZ вручную	177
Создание таблицы координат ХҮZ с помощью конвертера GPS данных	177
Сборка разрезов по координатам ХҮZ	180
Загрузка 3D сборки	181
Визуализация данных 3D сборки	181
Вкладки X-Y, X-Z и Y-Z	
Вкладка Cube	
Изменение положения ортогональных сечений с помощью мыши	
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	
Панель Cube Components Display	
Панель Rounding	
Панель Smoothing	
Панель Axes Labels, Grid and Limits	
Панель Axis Katio	
Панель Cube View	
Панель Сире Cut and Alpha	189

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

Панель Light Source	191
Панель Visible Range	191
Панель Isosurface	193
Панель Cut Area	194
Панель Contours on 2D Views	196
Панель Colormap	197
Панель Attribute Features	197
Панель User Section	198
Пользовательское сечение	199
Создание пользовательского сечения	199
Изменение положения узловой точки	201
Сохранение и загрузка данных пользовательского сечения	202
Визуализация положения георадиолокационных профилей	202
Вращение осей 3D сборки мышью на вкладке Сиве	203
Таблица объёмов	204
Сохранение изображений 3D сборки	205
Автоматизированное сохранение серии изображений сечений 3D сборки	205
Автоматизированное сохранение сечений в местоположении профилей	205
ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ АТРИБУТА 3D СБОРКИ	206
Псевдокаротаж	207
ЛЕФЕКТОСКОПИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА	
Дефектоскопия - порядок действий пользователя	210
Создание таблицы по результатам дефектоскопии	212
СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ	
•	
СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ	
СОЗДАНИЕ, СОХРАНЕНИЕ И ЗАГРУЗКА ФАИЛА СТАТИСТИКИ	
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКОИ ИНФОРМАЦИИ	
ПОРОГОВАЯ ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ	
СТУПЕНЧАТЫИ ГРАФИК	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАНЕЛИ ВЫБОРА СЛОЕВ	
СОХРАНЕНИЕ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ СЛОЕВ ИСТОЧНИКА СТАТИСТИКИ	
ЭКСПОРТ СВОДНОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ТАБЛИЦЫ	
	230
СОХРАНЕНИЕ ГРАФИКА	230
СУММИРОВАНИЕ 2D ДАННЫХ	
Πλήεση διινανατιών	23/
	234
ПОДІ ОТОВКА ДАППВІХ ДЛЯ СУМІМИРОВАНИЯ.	
ИПВЕРТИРОВАНИЕ ДАППЫХ	230
	237
	237
	230
ЛОКАЛЬНЫЕ ЭКСТРЕМУИНЫ	239 2/1
ПРИЛОЖЕНИЯ	
СПРАВОЧНАЯ ТАБЛИНА ЗНАЧЕНИЙ ЛЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ЛИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ	
ПРОНИЦАЕМОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ	242
ТИПОВАЯ ПОСЛЕЛОВАТЕЛЬНОСТЬ ЛЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ПОЛУЧЕНИЮ РАЗРЕЗА ИССЛЕЛУЕМОЙ СРЕЛЫ	
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК НА ОПИСАНИЕ ПАНЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ	
Левая группа вкладок	

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

Нижняя группа вкладок в режиме 2D24	14
Нижняя группа вкладок в режиме 3D24	<i>15</i>
Статья "Обработка георадарных данных в автоматическом режиме", журнал "ГЕОФИЗИКА" №4 за 2010 г24	16
Свидетельство о государственной регистрации программы	54
Полезные ссылки	55

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

О программе

Введение

Идея разработки программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ возникла в результате обобщения многолетнего опыта профессиональной деятельности в области георадиолокационных исследований. Практические навыки, полученные на всех этапах производства георадарных работ, таких как общение с заказчиком, разработка методик полевых изысканий, камеральная обработка и формирование технического отчёта, позволили разработчикам программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ сформировать понимание того, каким должно быть современное программное обеспечение для обработки данных георадара и в каком виде должен быть представлен конечный результат этой обработки.

В итоге были определены три основных направления развития программного обеспечения георадиолокации:

- 1. Разработка и реализация алгоритмов, служащих для увеличения глубинности георадарного исследования без ухудшения вертикального разрешения георадиолокационного профиля;
- Повышение информативности георадиолокационного исследования с помощью перехода от представления данных о подповерхностной среде в виде совокупности амплитуд отражённых сигналов в форме радарограммы к характеристикам этой среды и отражённого от неё волнового поля в форме разреза атрибута;
- 3. Минимизация влияния человеческого фактора на процесс обработки георадиолокационной информации с помощью автоматизации этого процесса. В связи с растущими по всему миру объёмами георадарных исследований, актуальность этого направления также возрастает.

Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ был разработан с учётом всех этих факторов. В состав программного комплекса входят как широко используемые опции обработки георадарных данных, реализованные в каждом программном обеспечении для георадиолокации, так и разработанные специально для ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ алгоритмы и методы, повышающие глубинность и информативность георадиолокационных исследований.

Главной такой разработкой является автоматизированный анализ поля обратного рассеяния BSEF (Back-Scattering Electromagnetic Field). Конечным результатом обработки георадарных данных методом автоматизированного анализа BSEF являются разрезы атрибутов, в качестве которых выступают электрофизические характеристики подповерхностной среды и отражённого от этой среды волнового поля, а также величины, вычисленные на основе этих характеристик.

Автоматизированный анализ BSEF

При работе с георадиолокационными данными специалисты могут сталкиваются с ситуацией, когда качество результата выполненного ими георадиолокационного профилирования хуже, чем в рекламных материалах производителей геофизического оборудования. На рекламных радарограммах легко прослеживаются границы между слоями и хорошо видны дифрагированные отражения от локальных объектов, по которым несложно определить скорость распространения волн в подповерхностной среде и диэлектрическую проницаемость в слоях. Однако это не означает, что производители георадаров пытаются ввести в заблуждение потенциальных клиентов. Просто эти образцовые радарограммы получены в ходе георадиолокационного профилирования сред с малыми потерями и контрастными слоями, которые лучше всего отражают качество работы георадара.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На рисунке ниже показан пример георадиолокационного профиля, записанного на высококонтрастной среде с малыми потерями. Эта полевая запись не требует обработки, поскольку в ней уже содержится достаточно информации о строении исследуемой среды.



Но наряду с такими благоприятными для георадиолокации средами, приходится исследовать и малоконтрастные толщи, обладающими высоким уровнем поглощения электромагнитной энергии, не имеющих резких переходов между слоями, в условиях действия помех различной природы. Нередко бывают и такие полевые записи:



Данный георадиолокационный профиль записан георадаром 200 МГц на морском пляже. В процессе профилирования георадар удаляется от береговой линии в перпендикулярном ей направлении. Особенность данного исследования состоит в том, что зондируется прибрежный засоленный грунт, который обладает высокой проводимостью. По этой причине импульсы георадара быстро затухают, и уже на небольшой глубине интенсивность отражений от границ слоёв становится сопоставимой с уровнем шумов на георадиолокационном профиле. Шумы и помехи маскируют полезные отражения, поэтому визуальный анализ данного профиля не даёт положительного результата. Применение различного типа фильтраций для удаления помех, также не приводит к успеху. После удаления помех границы слоёв по-прежнему не видны:

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



То, что после подавления помех на георадиолокационном профиле отражения от границ слоёв не становятся заметными, не означает их отсутствие. Когда полезные отражения близки по своим характеристикам к помехам, в процессе фильтрации происходит удаление этих отражений совместно с помехами. Алгоритм автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF работает более избирательно, и способен отделиять полезные сигналы от близких к ним помех.

На рисунке ниже показан разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление), результатам автоматизированного созданный по анализа BSEF рассматриваемого георадиолокационного профиля. В отличие от визуально неинформативного профиля, разрез атрибута хорошо отображает строение подповерхностной среды. В пределах исследуемой толщи выделяются два основных слоя. Верхний слой характеризуется пониженными значениями удельного сопротивления, этот слой на разрезе отображается преимущественно синими цветами. Нижний слой обладает более высокими значениями удельного сопротивления и представлен жёлто-красными оттенками. По разрезу можно проследить, как по мере удаления от береговой линии, меняется мощность слоёв прибрежного грунта и удельное электрическое сопротивление внутри этих слоёв.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Наглядное представление изменчивости атрибута разреза можно получить с помощью статистического модуля программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, который даёт информацию в форме графиков и таблиц по 12 статистическим показателям. Показатели могут быть рассчитаны для каждого слоя, для указанных пользователем слоёв, для каждой границы слоя или для всего разреза в целом. В качестве примера, на рисунке ниже показан результат использования статистического модуля в виде графика изменения средних значений удельного электрического сопротивления в верхнем слое разреза атрибута **Resistivity**. Область графика, превышающая заданный пользователем порог, выделена красным цветом. Справа внизу располагается миниатюра разреза, на которой показаны границы слоёв. Заливкой выделен слой, данные которого представляет график.



Порог на статистическом графике отображается в виде горизонтальной красной линии. Если пользователь установил порог, то при сохранении изображения этого графика формируется таблица в формате MS EXEL, которая содержит информацию или по областям превышения порога, или по областям, не превышающих порог – в зависимости от выбора пользователя. Это удобно использовать в исследованиях, где индикатором нарушения является повышенные или пониженные значения атрибута разреза – например, для мониторинга дорожного покрытия.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Очевидно, что переход от представления данных о подповерхностной среде в виде совокупности амплитуд отражённых сигналов (радарограмма) к характеристикам этой среды, полученным в результате применения метода автоматизированного анализа BSEF (разрез атрибута), заметно повышает информативность георадиолокационного исследования. Результат, представленный в виде разреза атрибута, более понятен заказчику этого исследования. Перечень атрибутов, используемых в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, достаточно широк. Весь список, как и описание атрибутов, можно посмотреть в разделе <Перечень атрибутов разреза>.

Одним из преимуществ метода автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF перед другими способами обработки георадиолокационных данных, является возможность исследовать этим методом подповерхностные среды, электрофизические характеристики которых изменяются по вертикали плавно, без резких скачков. Резкие изменения свойств среды в вертикальном направлении создают условия для отражения зондирующих импульсов и регистрации их георадаром. Среды, обладающие плавным характером изменения электрофизических свойств, отражений формировать не могут. В подобных местах на радарограмме присутствует только высокочастотный шум и различного рода помехи, при условии, что исследуемая среда в этих местах не содержит локальных объектов.

Локальные объекты – это объекты в подповерхностной среде, линейные размеры которых сопоставимы с длиной волны зондирующего импульса георадара, а их электрофизические характеристики отличаются от электрофизических характеристик вмещающей среды. Например, в качестве таких объектов могут выступать камни в грунте. Локальные объекты обладают важной особенностью. Она состоит в том, что при взаимодействии зондирующего импульса георадара с локальными объектами, эти объекты становятся источником дифрагированных волн, кинематические и динамические характеристики которых несут информацию о свойствах вмещающей среды.

Из-за низкой интенсивности дифрагированных волн, которая часто сопоставима с уровнем помех, визуальным анализом можно обнаружить лишь малую часть этих волн на георадиолокационном профиле. Как правило, этого количества недостаточно для того, чтобы на основе измеренных характеристик этих волн получить детальную картину строения подповерхностной среды.

На рисунке ниже слева показан результат георадарного профилирования грунта с плавным изменением электрофизических характеристик. Георадиолокационный профиль записан георадаром 250 МГц. Профиль пересекает сухое русло сезонного ручья, тальвег которого находится отметке 25 м от начала профиля. Электрофизические характеристики грунтов по данному профилю изменяются с глубиной плавно, без резких скачков, формирующих отражения на георадиолокационном профиле. По этой причине, профиль не содержит характерных протяжённых осей синфазности сигналов, которые интерпретируются как отражения от границ слоёв. В этих условиях получить информацию о строении исследуемой среды можно с помощью автоматизированного анализа поля обратного рассеяния.

На рисунке ниже справа представлен разрез атрибута **Resistivity** (удельное электрическое сопротивление). Разрез атрибута **Resistivity** показывает положение и форму отложений русловых потоков, а также распределение удельных сопротивлений внутри этих отложений. Разрез показывает, что граница между плотным грунтом и рыхлыми отложениями имеет вогнутую форму и достигает максимальной глубины 5.5 метров в области тальвега ручья. Пониженные значения атрибута разреза свидетельствуют о том, что ручей пересох не полностью, и наименьшее удельное сопротивление, указывающее на наибольшую влажность, находится в области тальвега ручья, на глубинах ниже 1 метра.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Время обработки, затраченное на выполнение автоматизированного анализ BSEF и расчёта разреза сравнительно невелико. Обработка рассматриваемого георадарного профиля длилась чуть менее минуты на компьютере с четырёхядерным процессором 2.4 МГц и операционной системой Windows 10. Значительная экономия времени происходит в случае обработки большого объёма георадарных данных в пакетном режиме.

Особенно актуальна экономия времени для обработки результатов георадиолокационного профилирования протяжённых многокилометровых объектов, таких как автомобильные и железные дороги, или нитки магистральных трубопроводов. Пользователь, настроив параметры и запустив процесс автоматизированной обработки, может переключиться на другие задачи, а программный комплекс будет самостоятельно загружать георадарные профили и сохранять результаты обработки на жёсткий диск компьютера.

В ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрен экспорт результатов обработки в графические форматы, в форматы электронных таблиц MS EXCEL, в таблицы универсального текстового формат ASCII, а также в сеточный формат данных GRD программы Surfer. Экспорт данных в эти форматы позволяет более широко использовать результаты обработки с помощью стороннего программного обеспечения. Например, для дополнительного анализа или интеграции в различные геоинформационные системы. Изображения разрезов атрибута или сечений 3D сборки, сохранённые в графическом формате, можно использовать в качестве подложки на чертеже геоподосновы в AutoCAD или для вставки в отчёт о георадиолокационном исследовании.

Использование метода автоматизированного анализа BSEF имеет следующие преимущества перед другими методами обработки георадиолокационных данных:

- Увеличивается глубинность георадиолокационного исследования. Алгоритм автоматизированного анализа BSEF имеет высокую избирательность и хорошо обнаруживает полезные отражения среди помех даже в условиях сильного зашумления данных на больших глубинах;
- Повышается информативность георадиолокационного исследования. Разрез атрибута, рассчитанный по результатам автоматизированного анализа BSEF, позволяет получить информацию о строении подповерхностной среды даже в условиях плавного изменения её электрофизических характеристик, когда на георадиолокационном профиле отсутствуют отражения от границ слоёв. Если же эти границы на профиле присутствуют, то информация

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

об изменении электрофизических характеристик внутри каждого слоя также представляет интерес для исследователя;

- Возрастает скорость обработки полевого материала, что немаловажно при постоянно увеличивающихся объёмах георадарных работ, особенно в дорожной и железнодорожной отраслях;
- Расширяются области применения георадара и список решаемых задач;
- Сводится к минимуму влияние так называемого человеческого фактора на процесс обработки и интерпретации георадарных данных;
- Предоставляются более широкие, по сравнению с другими методами обработки георадиолокационных данных, возможности для исследования сложно построенных сред.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Суммирование разрезов

Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ обладает достаточно широким набором атрибутов для решения целого спектра задач георадиолокации. Бывает так, что разрез одного атрибута не даёт полной информации об исследуемом объекте, но различные фрагменты этой инофрмации распределены по нескольким разрезам ряда атрибутов. В этом случае суммирование разрезов позволяет объединить разрозненную информацию об объекте исследования в один суммарный разрез. Также, суммирование устраняет артефакты, вызванные накоплением ошибок в процессе сбора и обработки георадиолокационной информации.

На рисунке ниже слева показан георадиолокационный профиль, записанный в ходе исследования погребённой долины георадаром 100 МГц. В центре показан набор разрезов ряда атрибутов для суммирования, созданных по результатам автоматизированного анализа BSEF этого профиля. Справа показан результат суммирования этих разрезов.



Визуальный анализ георадиолокационного профиля показывает, что его волновая картина малоинформативна с глубины 2 метра. Подошва долины, по априорной информации, находится ниже этого значения. На разрезах атрибутов просматриваются некоторые детали погребённого рельефа, однако каждый из разрезов в отдельности не даёт полной информации о строении изучаемой толщи.

Операция суммирования объединила эту разрозненную информацию в одно целое. Рельеф подошвы погребённой долины на суммарном разрезе хорошо прослеживается по всей его длине. На рисунке рельеф долины обозначен пунктирной линией. Данный пример иллюстрирует, как использование модуля суммирования позволило решить проблему недостаточной информативности георадиолокационного профиля и отдельных разрезов атрибутов по этому профилю.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Обработка сигналов георадарного профиля

Наряду с автоматизированным анализом поля обратного рассеяния BSEF и созданием на основе этого анализа разрезов атрибутов исследуемой среды и отражённого от неё волнового поля, в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализован полный набор методов обработки данных, который должен присутствовать в каждом программном обеспечении для обработки георадиолокационной информации. Это различные виды преобразования сигналов, управление геометрией и визуализацией георадарного профиля, работа с вручную созданными пользователем границами слоёв, объединение двумерных данных в трёхмерную сборку и многое другое. Иными словами, программный комплекс имеет всё то, с чем привык работать специалист по георадиолокации.

Наряду с широко используемыми методами обработки данных георадиолокации, для ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ специально разработаны алгоритмы и методы, позволяющие эффективно повысить разрешение сигналов георадиолокационного профиля и подавить сложные помехи.

Повышение разрешения георадарных данных

Специально разработанный для ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ метод B-Detector (Boundaries Detector) предназначен для подавления помех и повышения вертикального разрешения сигналов георадиолокационного профиля, что облегчает прослеживание близлежащих, в вертикальном направлении, отражений от границ слоёв. С помощью B-Detector пользователь увеличивает частоту и ширину спектра сигналов на уже записанных георадарных данных, тем самым уменьшая длительность этих сигналов и увеличивая степень детализации георадиолокационного профиля.

В результате обработки методом B-Detector георадиолокационный профиль, полученный с помощью низкочастотной антенны, выглядит так, как будто бы частота антенны георадара для записи этого профиля была настроена на частоту, в несколько раз превышающую реальную частоту антенны. Вертикальное разрешение сигналов такого георадиолокационного профиля также в разы выше. При необходимости, методом B-Detector можно понижать центральную частоту сигналов георадиолокационного профиля.

Далее, в качестве примера обработки данных с помощью метода B-Detector, рассмотрен георадиолокационный профиль, записанный в ходе обследования дорожного покрытия



георадаром 1200 МГц. Начиная с отметки 4 м по профилю асфальтобетонное покрытие автомобильной дороги состоит из двух слоёв. По информации, верхний слой априорной асфальтобетона имеет среднюю толщину 0.04 м, нижняя граница второго слоя асфальтобетона залегает в диапазоне глубин от 0.12 до 0.15 м от поверхности дорожного покрытия. Ниже располагается слой щебёночного основания, толщина которого, в среднем, составляет 0.15 м. Не все отражения от границ этих слоёв заметны необработанном георадиолокационном на профиле. Например, сложно обнаружить

отражение от границы контакта слоёв асфальтобетона на глубине 0.04 м. Из этого можно сделать вывод, что антенна 1200 МГц не обеспечивает достаточного разрешения сигналов на радарограмме для детального изучения строения этой дорожной конструкции.

В такой ситуации, казалось бы, логично использовать более высокочастотную антенну, которая излучает радиоимпульсы меньшей длительности, что улучшило бы разрешение сигналов. Но с

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

увеличением частоты возрастает затухание радиоимпульса, а значит выбор более высокочастотной антенны приведёт к снижению глубинности георадарного исследования. По этой причине, на аппаратном уровне, невозможно достичь улучшения разрешения отражённых сигналов без уменьшения глубинности георадарного исследования. На программном уровне частично решить эту проблему можно с помощью метода B-Detector.

На рисунке ниже показан результат обработки рассматриваемого георадиолокационного профиля методом B-Detector. В результате применения этого метода разрешение сигналов георадиолокационного профиля заметно повысилось. Отражения от границ конструктивных слоёв



дорожной конструкции стали компактными, не перекрывают друг друга, И хорошо прослеживаются. Исчезли фазовые искажения, вызванные взаимовлиянием отражений от близлежащих границ. Выровненные фазы отражений делают георадиолокационный профиль хорошо адаптированным к процессу автоматизированной пикировке границ, которая реализована в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Наличие опции автоматизированной пикировки границ В программном обеспечении для георадиолокации важно для обработки больших

объёмов данных, например, полученных в ходе автодорожных или железнодорожных георадарных исследований.

Далее, в качестве ещё одного примера, представлен результат георадиолокационного профилирования автомобильной дороги георадаром 400 МГц. На верхнем рисунке показана необработанная полевая запись, внизу представлен результат её обработки методом B-Detector.



В результате применения метода B-Detector, на обработанном профиле уверенно прослеживается нижняя граница дорожного покрытия, глубина залегания которой колеблется около отметки 0.2 м. Эту границу сложно полностью обнаружить на исходных данных. На рисунке ниже слева показан

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



амплитудно-частотный спектр сигналов исходного георадиолокационного профиля, справа спектр сигналов после применения метода B-Detector:

После применения метода B-Detector центральная частота сигналов георадиолокационного профиля увеличилась примерно в 3.5 раза – с 264 МГц до 911.4 МГц. Ширина спектра сигналов увеличилась в 3.7 раза – с 74.7 МГц до 277 МГц. Увеличение ширины спектра сигнала свидетельствует об уменьшении его длительности, что приводит к улучшению вертикального разрешения сигналов на георадиолокационном профиле. Таким образом, в результате применения метода B-Detector, георадиолокационный профиль выглядит так, как если бы он был записан не георадаром 400 МГц, а гипотетическим более высокочастотным георадаром с центральной частотой 400*3.5=1400 МГц, который обеспечивает не характерную для высокочастотного георадара глубину проникновения зондирующего импульса. Такую глубину, как у георадара с центральной частотой 400 МГц.

GEORADAR-EXPERT 2.0

Licensee: www.georodor-expert.ru

Часто, в дорожном исследовании требуется получить два георадиолокационных профиля по одному и тому же месту. Один профиль записывается с помощью высокочастотной антенны, обеспечивающей проникновение зондирующего импульса на глубину около 1 метра. Эта запись используется для изучения слоёв дорожного покрытия. Второй профиль записывается с помощью более низкочастотной антенны, обеспечивающей глубину исследования 3 - 8 метров. Такая антенна подходит для исследования грунта земляного полотна.

Если эксплуатируется одноканальный георадар, в котором не предусмотрена одновременная работа двух антенн, настроенных на различные частоты, то для записи двух георадиолокационных профилей по одному и тому же месту, необходимо два раза проходить георадаром один и то же профиль с разными антеннами.

В подобном случае, с помощью метода B-Detector можно достичь компромисса между затраченным временем на запись и обработку данных и качеством результата исследования. Использование одной среднечастотной антенны, например, антенны 400 МГц - как в рассматриваемом примере, сократит объём полевых и камеральных работ вдвое. Принимая во внимание значительный километраж георадарного профилирования при дорожных работах, это ощутимая экономия.

Ещё один аргумент в пользу применения метода B-Detector. Небольшая проектно-изыскательская организация может не обладать полным комплектом георадаров, антенны которых перекрывают весь диапазон рабочих частот георадиолокации для решения широкого спектра задач. Приобретение большого количества геофизического оборудования требует значительных финансовых затрат, а это чувствительно для небольшой организации. Применение метода В-

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Detector позволит сэкономить на высокочастотных антеннах, позволяя какое-то время иметь в наличии одну среднечастотную и одну низкочастотную антенну, например, 500 и 100 МГц.

Наряду с методом B-Detector, повышение вертикального разрешения георадиолокационного профиля в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ можно производить с помощью вейвлетдекомпозиции. Это преобразование напоминает оконное преобразование Фурье, только в преобразовании Фурье сигнал раскладывается на составляющие в виде синусов и косинусов, а при вейвлет-декомпозиции разложение производится с помощью специальных функций - вейвлетов, график которых по форме напоминает зондирующий импульс георадара. После вейвлетдекомпозиции, сигнал восстанавливается по высокочастотным уровням разложения. Центральная частота восстановленного сигнала и ширина его спектра больше, чем у исходного сигнала, а значит восстановленный сигнал короче, чем исходный.

Ниже показано сравнение результатов применения методов B-Detector (верхнее изображение) и вейвлет-декомпозиции сигналов.



Каждый из представленных методов повышения разрешения георадиолокационных данных имеет свои достоинства. Пользователь, в зависимости от особенностей волновой картины георадарного профиля и задачи исследования, может выбирать, какой из этих методов использовать в каждом конкретном случае.

Подавление помех и воздушных отражений

Одна из проблем, с которыми сталкивается специалист по обработке георадиолокационных данных - это подавление отражений от объектов, расположенных на дневной поверхности. Эти, так называемые воздушные отражения, часто имеют высокий уровень амплитуд, что позволяет им хорошо маскировать полезные сигналы. Экранировка антенн георадара не позволяет полностью избавиться от воздушных отражений. В наибольшей степени, воздушные отражения проявляются на радарограммах, полученных с помощью дипольных низкочастотных антенн, где экранировка не предусмотрена. Также, в качестве помех могут выступать дифрагированные отражения от контрастных локальных объектов, залегающих на небольшой глубине.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Пространственный фильтр, реализованный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, позволяет решить эту проблему. В качестве примера подавления интенсивных маскирующих помех с помощью пространственного фильтра взят георадарный профиль, записанный георадаром 150 МГц, который пересекает трамвайные пути. На рисунке ниже слева показан необработанная запись. На этой записи интенсивные отражения от металлических рельсов и объектов инфраструктуры трамвайных путей накладываются на более слабые отражения от границ слоёв в грунтовой толще. Справа показан результат пространственной фильтрации. Дифрагированные отражения-помехи подавлены и не маскируют отражения от протяжённых границ.



Наряду с пространственным фильтром, в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализовано удаление помех с помощью разложения сигналов георадиолокационного профиля на компоненты. Если матрицу сигналов георадиолокационного профиля разложить на компоненты, а потом восстановить, предварительно отбросив те уровни разложения, которые содержат информацию о помехе, то на восстановленном георадиолокационном профиле помеха будет отсутствовать. Каждый уровень разложения содержит свои характерные особенности сигналов. Младшие уровни содержат пространственно-протяжённые горизонтально ориентированные сигналы георадарного профиля. Чем выше уровень разложения, тем компактнее становятся компоненты разложения.

На рисунке далее слева представлен пример георадиолокационного профиля, который содержит два типа волн. Это протяжённые субгоризонтальные оси синфазности сигналов и хорошо просматривающиеся дифрагированные отражения в форме гипербол. В центре показан результат восстановления этого профиля по младшим уровням разложения. Заметно, что на профиле исчезли характерные отражения в виде гипербол. Справа представлен результат восстановления по старшим уровням разложения. В этом случае отброшена информация о субгоризонтальных осях синфазности, а дифрагированные отражения не затронуты.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ насчитывает более двух десятков опций, предназначенных для обработки сигналов георадарного профиля. С помощью этих опций решается практически весь спектр задач, которые могут возникнуть у пользователя в процессе обработки георадиолокационных данных. Пользователь может сохранить последовательность шагов обработки данных в файл и применять эту последовательность в дальнейшем.

Автоматизация действий пользователя по обработке однотипной георадиолокационной информации освобождает его от присутствия за компьютером. В режиме пакетной обработки пользователю нужно лишь выбрать группу файлов георадарных данных, после чего загрузка, обработка и сохранение результата производится в автоматическом режиме, без участия пользователя.

Обзор графического интерфейса пользователя

Графический интерфейс пользователя программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ организован в виде набора вкладок, объединённых в группы. Каждая группа вкладок предназначена для определённых задач и содержит панели с элементами управления этими задачами. Всего имеется три группы вкладок, условно названных по их расположению в главном окне программного комплекса – левая группа, верхняя и нижняя.

Левая группа вкладок находится в левой части рабочего окна программного комплекса и содержит панели визуализации результатов автоматизированного анализа BSEF в виде гистограмм, а также панели с элементами управления параметрами создания разреза атрибута. Когда в программу загружен файл данных георадиолокационного профиля, который не содержит результатов анализа BSEF, левая группа вкладок скрывается и в главном окне программного комплекса остаётся только верхняя и нижняя группы вкладок.

Нижняя группа вкладок находится в нижней части главного окна программного комплекса и служит для размещения панелей с элементами управления обработкой и визуализацией георадиолокационных профилей. Верхняя группа вкладок занимает пространство, ограниченное левой и нижней группами вкладок, и предназначена для размещения осей визуализации данных. Пользователь может менять соотношение размеров вкладок, а также скрывать левую и нижнюю группы, тем самым увеличивая область визуализации данных в верхней группе вкладок.

В ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрено два способа организации рабочего пространства главного окна программы – режим 2D и режим 3D. В зависимости от того, какой тип данных загружается в программу, программный комплекс автоматически выбирает соответствующий загружаемым данным режим рабочего пространства.

Режим 2D предназначен для работы с двумерными данными – георадиолокационным профилем и разрезом атрибута, созданным по результатам автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF. Режим 3D служит для работы с трёхмерной сборкой разрезов, созданной по результатам автоматизированного анализа BSEF георадиолокационных профилей, полученных в ходе площадного георадарного исследования.

Далее представлена серия снимков экрана главного окна программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в различной конфигурации.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Ниже показано главное окно в режиме 2D с открытой вкладкой визуализации разреза атрибута. Соотношение вкладок установлено по умолчанию для экрана компьютера с разрешением Full HD.

Ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с открытой вкладкой визуализации георадиолокационного профиля. В отличие от предыдущего примера, соотношение групп вкладок изменено, ширина верхней и нижней групп вкладок увеличены за счёт уменьшения ширины левой группы.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Далее показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с открытой вкладкой отображения амплитудно-частотного спектра сигналов георадарного профиля. Ширина левой группы вкладок увеличена за счёт уменьшения ширины верхней и нижней групп.



Ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с открытой вкладкой визуализации разреза атрибута с учётом поправки за рельеф.



Далее показана вкладка визуализации разреза с учётом поправки за рельеф в режиме ограничения видимости атрибута. В этом режиме устанавливаются прозрачными те области разреза, значения

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

атрибута которых выходят за границы заданного пользователем диапазона. Скрытые области не принимаются во внимание в процессе статистического, и других анализов разреза.



Как было отмечено выше, режим 3D главного окна программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предназначен для работы с результатами площадной георадарной съёмки. Этот режим служит для визуализации трёхмерной сборки разрезов, созданных по результатам автоматизированного анализа BSEF георадиолокационных профилей неодинаковой длины и произвольной ориентации. В процессе формировании 3D сборки разрезов возможен учёт их положения в соответствии с координатами GPS или ГЛОНАСС.

В режиме 3D левая группа вкладок скрыта. Верхняя группа вкладок состоит из вкладок визуализации 3D объёма, трёх взаимно перпендикулярных сечений 3D объёма, а также пользовательских сечений 3D объёма, которые в отличие от взаимно перпендикулярных сечений, могут иметь сложную форму. Нижняя группа вкладок служит для размещения элементов управления 3D визуализацией.

На рисунке далее показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в режиме 3D с открытой вкладкой визуализации объёма 3D сборки. Объём делится на части тремя ортогональными сечениями - одним горизонтальным и двумя вертикальными. В результате получается восемь подобъёмов – вокселей. Четыре вокселя лежат выше горизонтального сечения и четыре расположены ниже этого сечения. Менять размеры вокселей можно с помощью перемещения ортогональных сечений вдоль соответствующих им осей. На представленном примере вырезан один верхний воксель объёма 3D сборки.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Пользователь может управлять ортогональными сечениями 3D сборки — менять их положение, усреднять заданную толщину 3D объёма по всем трём направлениям X Y Z, создавать свои сечения произвольной формы, сохранять эти сечения в файл и загружать их в 3D сборку из файла.

На рисунке ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с открытой вкладкой визуализации 3D объёма, содержащей три ортогональных сечения и одно пользовательское криволинейное сечение.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Ниже показана вкладка визуализации развёртки этого криволинейного сечения. Вертикальные линии обозначают положение узловых точек кривой, через которую проходит это сечение. Имена узловых точек отображаются над верхней границей сечения. Для каждой точки предусмотрена возможность получения графика каротажной кривой и таблицу её значений.



Пользователь может сохранять на жёсткий диск компьютера серию изображений ортогональных сечений 3D объёма в автоматическом режиме с заданным шагом по соответствующей оси. По сравнению с ручным режимом сохранения сечений, автоматический режим существенно экономит время. В ручном режиме сначала нужно выполнить действия по перемещению сечения в нужную точку на оси, а потом взаимодействовать с диалоговым окном сохранения изображения. Когда количество сечений составляет несколько десятков, процесс ручного сохранения занимает сравнительно много времени. На рисунке ниже показана директория сохранения набора горизонтальных сечений в проводнике Windows в режиме показа содержимого файла.



В режиме 3D предусмотрены все необходимые опции визуализации георадиолокационной информации, в том числе возможность управления прозрачностью элементов массива 3D сборки.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Это позволяет показать объекты, скрытые внутри объёма 3D сборки, что даёт больше наглядности в представлении результатов георадиолокационного исследования.

На рисунке ниже показан пример 3D визуализации, состоящей из изоповерхности и объёма 3D сборки, которые обладают различной степенью прозрачности. В полупрозрачном объёме 3D сборки просматриваются прослои пород в виде областей красных оттенков. Границы грунтовых аномалий представлены изоповерхностями синего цвета. Полупрозрачные изоповерхности не заслоняют друг друга полностью, и это позволяет наблюдать форму этих аномалий.



Ниже показан вариант визуализации объёма 3D сборки, в котором заданному пользователем диапазону значений атрибута определена полная прозрачность, а в качестве границы между прозрачной и непрозрачной областями объёма 3D сборки используется изоповерхность.



Когда 3D сборка содержит изоповерхности, эти изоповерхности делят объём 3D сборки на части. Пользователь может создать изоповерхности так, чтобы они проходили по границам контакта слоёв

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

исследуемой толщи. В этом случае предусмотрена возможность расчёта объёма слоёв, ограниченных изоповерхностями, что представляет несомненный практический интерес.

На рисунке ниже показаны оси 3D сборки, которые содержат ортогональные сечения и две изоповерхности – жёлтую и фиолетовую. Значения, через которые проходят эти изоповерхности, показаны в нижней левой части рисунка, в прямоугольниках соответствующих цветов. В правой части рисунка показана автоматически сгенерированная таблица объёмов, ограниченных этими изоповерхностями. Аналогичным образом можно получить информацию о площади слоёв в режиме 2D. Только в этом случае границы слоёв определяют не изоповерхности, а проложенные пользователем линии.



Ниже показан вариант визуализации объёма 3D сборки, где активировано отображение положения георадиолокационных профилей в виде линий белого цвета, и разрезов атрибутов по этим профилям. 3D массив содержит одну изоповерхность, которая показывает положение кровли нижнего слоя. Для изоповерхности и массива 3D сборки заданы различные степени прозрачности.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Преимущества использования ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, разработанный в результате обобщения многолетнего опыта обработки георадиолокационных данных, является эффективным инструментом для решения широкого спектра задач георадиолокации, в том числе и в тех случаях, когда использование программного обеспечения для обработки георадиолокационных данных сторонних производителей, не приводит к положительным результатам.

Информативность и качество камеральных работ, выполняемых с помощью программного комплекса, обеспечивает организации, использующей ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в своих исследованиях, высокую конкурентоспособность на рынке геофизических услуг. Далее представлена информация о сходстве и различиях между ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и сторонним программным обеспечением для обработки георадиолокационных данных.

Сходство

В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализован полный набор опций обработки данных, который входит состав каждого профессионального программного обеспечении для обработки георадиолокационной информации. Иными словами, в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ имеется всё, с чем привык работать специалист по георадиолокации.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Отличия

Отличие программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ от программных продуктов других производителей состоит в наличии специализированных алгоритмов, использование которых выводит на новый уровень качество обработки георадиолокационных данных. В состав ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ входят следующие опции, специально разработанные для данного программного комплекса:

- рассеяния Автоматизированный анализ поля обратного BSEF (Back-Scattering • Electromagnetic Field). Осуществляет переход от представления данных 0 подповерхностной среде в виде совокупности амплитуд отражённых сигналов в форме радарограммы к характеристикам этой среды и отражённого от неё волнового поля в виде разреза атрибута. Такое представление делает более понятным результат обработки георадарных данных как самим специалистам по георадиолокации, так и специалистам в смежных областях. Например, геологам или инженерам-проектировщикам. Анализ BSEF эффективно работает в зонах сильного зашумления сигналов, расположенных в нижней части георадарного профиля, что позволяет увеличить глубинность георадарного исследования. Наряду с этим, анализ BSEF позволяет получить информацию о строении исследуемой подповерхностной среды даже в условиях плавного изменения её электрофизических характеристик, т.е. когда отражения от границ слоёв отсутствуют на георадиолокационном профиле. Использование автоматизированного анализ BSEF предоставляет специалисту больше возможностей для исследования сложно построенных подповерхностных сред.
- Метод B-Detector (Boundaries Detector). Данный метод предназначен для подавления помех и повышения вертикального разрешения сигналов георадиолокационного профиля, что облегчает прослеживание близлежащих, в вертикальном направлении, отражений от границ слоёв. С помощью B-Detector пользователь увеличивает частоту и ширину спектра сигналов на уже записанных георадарных данных, тем самым уменьшая длительность этих сигналов и увеличивая степень детализации георадиолокационного профиля. В результате обработки методом B-Detector георадиолокационный профиль, полученный с помощью низкочастотной антенны, выглядит так, как будто бы частота антенны георадара для записи этого профиля была настроена на частоту, в несколько раз превышающую реальную частоту антенны. Вертикальное разрешение сигналов этого георадиолокационного профиля также в разы выше. Также, при необходимости, можно понижать центральную частоту сигналов радарограммы.
- Метод разложения радарограммы на компоненты. Это не вейвлет разложение сигналов, хотя оно также реализовано в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Данный метод преобразовывает матрицу сигналов георадарного профиля в набор матриц, каждая из которых содержит определённый тип отражённых волн. Пользователь отбрасывает матрицы с волнами, определёнными в качестве помех, после чего суммирует оставшиеся уровни разложения, тем самым исключая эти волны-помехи из совокупности сигналов георадарного профиля. Таким образом, можно убрать все дифрагированные отражения, в том числе и воздушные, отставив на радарограмме только протяжённые границы слоёв. Или наоборот, убрать все

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

протяжённые границы, оставив только дифрагированные отражения для лучшего обнаружения арматуры в железобетонной конструкции, например.

- Модуль статистического анализа. Данный модуль предназначен для обобщения результатов георадарного профилирования и наглядного представления изменчивости георадиолокационной информации. С помощью результатов статистического анализа, представленных в виде таблиц и графиков, можно устанавливать взаимосвязь между физико-механическими характеристиками исследуемой среды и различными статистическими показателями, формируя, таким образом, совокупность признаков, которую можно применять в дальнейшем для оценки состояния аналогичных объектов. Источником статистических данных являются георадиолокационные профили, разрезы атрибутов, рассчитанные на основе результатов автоматизированного анализа BSEF и 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. Использование модуля статистического анализа ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ программного комплекса поднимает качество результатов георадиолокационного исследования на новый, более высокий уровень.
- Модуль дефектоскопии строительных конструкций. Дефектоскопия бетонных строительных конструкций основана на выявлении областей разреза с аномальными отклонениями значений атрибута Q-factor. Результаты дефектоскопии сохраняются в виде разреза с выделенными зонами нарушений, и сводной дефектной ведомости, в которой по каждому георадиолокационному профилю дана количественная и качественная оценка состояния объекта, в ходе исследования которого получен тот или иной профиль.
- Модуль суммирования 2D данных. Предназначен для суммирования разрезов разнородных атрибутов или сечений 3D сборки. В результате суммирования происходит устранение артефактов, вызванных накоплением ошибок в процессе сбора и обработки георадиолокационной информации, а также восстановление модели подповерхностной среды по элементам суммирования (разрезам или сечениям 3D сборки), каждый из которых содержит только некоторую часть полезной информации.
- Конвертирование изображения радарограммы из графического формата в полноценный формат георадиолокациого профиля. Необходимость такой конвертации может возникнуть, когда файл данных георадиолокационного профилирования утрачен, а имеется только изображение этого профиля на бумаге или на странице электронного документа. В результате конвертации, пользователь получает возможность применять к георадиолокационному профилю все опции обработки сигналов и все виды анализа георадарных данных, предусмотренные в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Поддерживаемые форматы данных

Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ поддерживает форматы данных георадаров большинства современных производителей. Если какой-либо формат не входит в список поддерживаемых, такой формат может быть добавлен в программу по заявке пользователя.

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, rd7 георадар MÅLA RAMAC (Швеция);
- ??t георадар MÅLA (Швеция, знаком ?? обозначены различные цифры в расширении файла);
- dt георадар IDS Ris (Италия);
- dt1 георадар Pulse EKKO (Канада);
- gsf георадары Geoscanners AB (Швеция);
- txt георадар ЛОЗА (Россия) в текстовом формате с разделителем ";", состоящим из трёх столбцов: № трассы, № точки трассы по глубине, амплитуда;

Следующие форматы файлов являются специализированными форматами программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ:

- efd файл данных, содержащий матрицу сигналов георадиолокационного профиля, его параметры и результаты анализа BSEF, если таковой производился (см. раздел <Сохранение в формат efd>). Этому типу файла назначен значок
- gexyz файл координат GPS, используемый для формирования 3D сборки (см. раздел <Создание 3D сборки разрезов по координатам XYZ>). Этому типу файла назначен значок
- xzd файл данных разреза, используемый для формирования 3D сборки (см. раздел <Сохранение данных разреза в формат xzd>). Этому типу файла назначен значок
- ge3d файл данных 3D сборки разрезов (см. раздел <Трёхмерная визуализация>). Этому типу файла назначен значок
- cubeset файл настройки ориентации и освещения куба 3D сборки на вкладке Cube (см. раздел <Панель Light Source>). Этому типу файла назначен значок
- geprm файл настроек параметров построения разреза (см. раздел <Сохранение и загрузка параметров построения разреза>). Этому типу файла назначен значок
- gecmap файл цветовой схемы разреза или 3D сборки (см. раздел <Сохранение и загрузка цветовой схемы>). Этому типу файла назначен значок
- gepro файл параметров обработки георадиолокационного профиля со всеми этапами обработки (см. раздел <Сохранение и загрузка истории обработки>). Этому типу файла назначен значок
- gelay файл данных пользовательских границ слоёв (см. раздел <Пользовательские границы слоёв>). Этому типу файла назначен значок
 ;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- ge3ucs файл данных пользовательского сечения 3D сборки (см. раздел <Пользовательское сечение>). Этому типу файла назначен значок +;
- gedda файл, содержащий информацию о положении областей удаления данных на разрезе (см. раздел <Исключение заданной пользователем части данных из расчёта разреза>). Этому типу файла назначен значок
- gestat файл, содержащий результаты статистического анализа георадиолокационного профиля, разреза, сечения 3D сборки или слоя (см. раздел <Статистический анализ>). Этому типу файла назначен значок

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

Программные требования и установка

Программный комплекс 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 программного комплекса в режиме 3D визуализации желательно иметь не менее 4 Гб системного ОЗУ и 512 Мб видео ОЗУ. Разрешение экрана компьютера Full HD 1920х1080 является оптимальным для работы с ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Не рекомендуется использовать разрешение экрана 4К и более.

Инструкция по установке и регистрации программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предоставляется пользователю совместно с дистрибутивом программы. Программный комплекс запускается двойным щелчком левой кнопкой мыши по его исполняемому файлу с расширением **ехе** или по ярлыку, содержащему ссылку на исполняемый файл, а также по значку файла данных программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Программному комплексу ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ назначен значок 🖽.

Для формирования 3D сборки и возможности сохранения табличных данных в формате электронных таблиц необходимо наличие установленной на компьютере пользователя программы Microsoft Excel.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Использование двух и более мониторов

Если к компьютеру подключён один или несколько дополнительных мониторов, то сразу после запуска программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на экране основного дисплея откроется панель выбора монитора для размещения рабочего окна ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ со списком доступных мониторов.



На панели выбора основной монитор обозначается как **Primary monitor**, дополнительные мониторы обозначены как **Second monitor**. Правее обозначения монитора размещена информация о разрешении экрана в пикселях и флажок выбора. По умолчанию флажок выбора установлен на дополнительном мониторе. Чтобы изменить выбор, пользователь должен установить флажок напротив нужного монитора и нажать кнопку **OK**.

После нажатия кнопки **ОК** панель выбора закрывается, и элементы графического интерфейса пользователя ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ отображаются на экране выбранного монитора. Рабочее окно ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ может отображаться только на одном экране, расширение рабочего окна за пределы выбранного монитора не предусмотрено.



Возможность выбора монитора при запуске ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ доступна только тогда, когда в настройках дисплея выбран режим расширения рабочего стола на экраны дополнительных мониторов.

Быстрый доступ к выбору режима дисплея в Windows доступен с помощью одновременного нажатия клавиши с логотипом **Windows** и клавиши **P** на клавиатуре компьютера (**WIN+P**). После нажатия сочетания этих клавиш отроется окно выбора режимов, в котором нужно выбрать режим **Расширить**.

Также, можно щёлкнуть правой кнопкой мыши в области рабочего стола и в открывшемся меню выбрать пункт Параметры экрана. В результате откроется окно настроек параметров Windows в разделе **Дисплей**. В этом разделе нужно установить параметр **Несколько дисплеев** в режим Расширить эти экраны. Список доступных режимов содержится в выпадающем списке.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Графический интерфейс пользователя

Вкладки и информационная панель

На рисунке ниже показано рабочее окно программного комплекса 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, щёлкнув 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 уже

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью 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 с помощью кнопки, расположенной в правой части горизонтального разделителя.



Одновременное скрытие левой и нижней группы вкладок производится с помощью 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 ГЕОРАДР-ЭКСПЕРТ отображаются название программы, имя загруженного в программу файла, краткие характеристики его данных и, в правой части заголовка, кнопки сворачивания и закрытия окна.

E GEDRADAR-EXPERT D:\GE_USERS\GAZPROM\2\P250_0079.efd 258x714 dx, m: 0.05 dt, ns: 0.778
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.

밑	GEORADAR-EXPERT								
	File	Edit	Processing	Analysis	Section	Layers	3D data	Colormap	Help

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:

		<<	<	>	>>
22m.efd: Processing step 2/2, Frequency filtering, F1stop = 5.7709, F1pass = 491.451, F2pass = 796	363	3, F2stop =	2458.4,	Keff = 1	

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

Всплывающие подсказки

Zero point level								
Samples	ok	7	From file	✓				
Nanosec	• App	oly new	zero point	t level				
-								

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

хода выполнения вычислений.

выполнения

горизонтальном разделителе группы вкладок. Индикатор выполнения служит для отображения

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

Индикатор выполнения

回	
	1 2
	Position X-Y on Z Position X-Z on Y Position X-Z on X Additional transparent areas

Индикатор ожидания



Индикатор ожидания состоит из вращающихся оранжевых прямоугольников вокруг прямоугольного цента. Индикатор ожидания отображается в том случае, когда программа выполняет расчёты И элементы пользовательского интерфейса могут не взаимодействовать с пользователем в процессе выполнения этих расчётов.

Индикатор

В центре индикатора ожидания расположена квадратная кнопка оранжевого цвета. Данная кнопка служит для закрытия текущего индикатора ожидания.

на

расположен

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Конфигурация рабочего пространства для работы в режиме 2D

Режим 2D предназначен для работы 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.

С помощью инструментов визуализации можно регулировать растяжку изображения 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).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



На следующем рисунке в области визуализации данных активирована вкладка амплитудночастотного 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**):



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 **Х-Ү**. Щёлкая мышью по изображению сечения, пользователь меняет положение двух других сечений – **Х-Z** и **Y-Z**. На вкладках остальных ортогональных сечений пользователь также может управлять положением двух других сечений с помощью 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 - Х-Z и Y-Z:



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 3Dсборки нужно навести указатель на изображение куба, и удерживая левую кнопку мыши, двигать её в нужном направлении – куб вращается вслед за перемещением мыши.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Управлять положением 3D-сборки, также можно с помощью 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 степенью 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 полупрозрачным.



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



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.



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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Если файл профиля не содержит результатов анализа поля обратного рассеяния, то левая группа вкладок автоматически скрывается.

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 открываемый файл содержит результаты анализа поля обратного рассеяния, то после загрузки профиля, в левой группе вкладок размещаются панели, относящиеся к результатам анализа поля обратного рассеяния и построения разреза.

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля

Настройка параметров отображения георадиолокационного профиля осуществляется с помощью 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.

X Y

Панель Size

Панель Size предназначена для изменения размеров и пропорций окна отображения георадиолокационного профиля на вкладке GPR Profile, а также разреза атрибута на вкладках Section и Terrain Correction, если таковые присутствуют в верхней группе вкладок. С помощью 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 Мах.

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 горизонтальной оси служит второй снизу горизонтально ориентированный слайдер (результат увеличения масштаба по горизонтальной оси служит второй снизу горизонтально лаки 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 изображения по вертикали служит вертикально ориентированный слайдер, расположенный вплотную к окну навигации справа.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 порогами 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 перемещении левой визирки влево повышается уровень белого (рисунок 2), правой визирки вправо – уровень чёрного (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**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 услужит для управления размером окна усиления. Слайдер **L** (Level) расположен в правой части панели **AGC** и услужит 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 HЧ сигналы, в нижних положениях – на BЧ 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 с помощью кнопки AGC.

Установка ноля шкалы глубины



Положение нуля шкалы глубин радарограммы регулируется на панели **Zero Point Level** которая принадлежит нижней группе вкладок и является не удаляемой, 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

Axis	Step	Grid	Color	Auto
Distance, m ok	0.5			✓
Depth, m ok	0.1			✓
Time,⊓s ok	2			✓

Настройка параметров шкал и режимов указателя мыши осуществляется на панели **Axis**, которая принадлежит нижней группе вкладок и является не удаляемой, 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**, с помощью 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.

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



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.

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

Редактирование данных профиля

Profile Parameters							
Base, m	\checkmark	ok 0.93					
Permittivity	\checkmark	ok 25.11					
Step, m	\checkmark	ok 0.1					
Start, m	\checkmark	ok 0					
Length, m	\checkmark	ok 100.8					
Time, ns	\checkmark	ok 199.61					

Редактирование данных загруженного радиолокационного профиля осуществляется на панели **Profile Parameters**, которая принадлежит нижней группе вкладок и является не удаляемой, 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. С помощью кнопки **оk** данные параметра применяются к георадиолокационному профилю.

На панели Profile Parameters редактируются следующие параметры профиля:

- Base, m расстояние между центрами передающей и приёмной антенн георадара в метрах;
- 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 / √ε', 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Step, m шаг георадиолокационного профилирования (расстояние между георадиолокационными трассами) в метрах. После изменения данного параметра меняется длина георадиолокационного профиля (параметр Length, m);
- Start, m значение начала отсчёта 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

CutK	
X1, m	
X2, m	
Y1,ns	
Y2, ns	
Cut within	
Cut edges	

Настройка параметров обрезки загруженного радиолокационного профиля осуществляется на панели **Cut**. Чтобы отобразить панель **Cut**, следует щёлкнуть по пункту меню **Cut GPR Profile**, расположенному в группе меню **Edit**. Панель будет расположена в нижней группе вкладок. Убрать панель **Cut** можно с помощью 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Когда загружаются данные из файла текстового формата георадара **ЛОЗА**, и этот файл содержит координаты GPS, то в ходе загрузки такого файла автоматически сохраняется таблица высот по каждой георадарной трассе в формате **MS Excel**. В этом случае, в процессе разделения профиля на фрагменты, таблица высот также разделяется и результат этого разделения сохраняется в папку, содержащую части разделённого георадарного профиля.

Если в директории нахождения загружаемого для разделения файла текстового формата георадара **ЛОЗА** с данными GPS находится файл с именем загружаемого файла, но с расширением **gexyz** (об этих файлах более подробно см. в разделе <Создание 3D сборки разрезов по координатам XYZ>), то этот файл также будет разделён и результаты этого разделения будут сохранены в папку, содержащую части разделённого георадарного профиля.

После завершения процесса разделения файла на фрагменты, файл первой части разделённого георадарного профиля автоматически загружается в программу.

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

<u>Примечание:</u> 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

	A	В
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

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**.

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

и его порядковом номере с помощью 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**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 (**Velosity, 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 с помощью кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Обработка сигналов георадиолокационного профиля

- Signal Pr	ocessing-		
Fourier	Detrend	ASub	0
Hilbert	Resmpl		
EdgeX	Smoo	0	11
EdgeY	MedF	1	3
Res+	Wave	6	6
<<	<	>	>>

Панель доступа к опциям цифровой обработки сигналов Signal Processing принадлежит нижней группе вкладок и является не удаляемой, 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 вода 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 границы 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.

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

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 **Аpply**.

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 навести 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.

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 с помощью 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Выделение огибающей сигналов

Процесс выделения огибающей сигналов с помощью 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 границами 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 начатия 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

Удаление тренда

Иногда на георадиолокационном профиле можно наблюдать помеху в виде засветки или затемнения его участков, вызванное наличием тренда в георадиолокационных трассах. Детализация волновой картины на таких участках заметно понижена. Используя опцию удаления тренда можно ликвидировать это негативное влияние, и тем самым улучшить визуализацию георадиолокационного профиля.

Процесс удаления тренда запускается кнопкой **Detrend** и не имеет настраиваемых параметров. На рисунке ниже показано проявление тренда на георадарном профиле (рисунок слева) и результат удаления этого тренда (рисунок справа):



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 с помощью 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 вейвлетдекомпозиции (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 с помощью кнопки **Wave** на панели **Signal Processing**. Окна ввода параметров, расположенные справа от этой кнопки, служат для настройки вейвлетдекомпозиции. 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 с помощью 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

георадиолокационных трассах, которое должно быть после ресемплинга (ресемплинг по вертикали).

Удаление помех с помощью 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 — 512х265 (512 точек с георадиолокационных трассах, количество трасс равно 265). Это значит, что разложение производится по 265 уровням.

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



0 5 10 15 20 25 Distance, m Результат восстановления по уровням разложения от 1 до 21



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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.



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.



Результат восстановления по уровням разложения от 1 до 9

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Настройка параметров восстановления сигналов матрицы георадиолокационного профиля осуществляется на панели Signal Deconposition. Чтобы отобразить панель Signal Deconposition, следует по пункту меню Signal Decomposition in Components, щёлкнуть расположенному в группе меню Processing. Панель будет размещена в нижней группе вкладок. Убрать панель Signal Decomposition можно с помощью 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 Deconposition** 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.

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.

С помощью 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 с помощью 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 вкладок. Убрать панель Interference Rejection можно с помощью 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 с помощью кнопки Traces, – замена

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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, с помощью 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:



- 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.
- 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 вверху).
- 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 вверху). Угол наклона созданной линии в градусах будет отображаться в верхней части панели Interference Rejection, правее надписи Slope angle.
- 4. Если пользователь видит, что измерительный уклон не совсем параллелен удаляемому участку оси синфазности, то можно скорректировать его угол наклона. Для этого следует навести 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).
- 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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>).

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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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:

- 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.
- 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.
- 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. С помощью **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**:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 щёлкнуть по пункту меню **B-Detector**, расположенному в группе меню **Processing**. Панель будет размещена в нижней группе вкладок. Убрать панель **B-Detector** можно с помощью 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 осцилляций 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 В-Detector. Когда отмечен данный флажок, окно ввода параметра Dfactor недоступно;
- Dfactor коэффициент детализации. С увеличением данного коэффициента увеличивается детализация результата обработки опцией B-Detector;
- 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,

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

которая распложена 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 буду 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 **gepro** выполняется с помощью 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 **gepro**, 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.gepro** и **filename_processing_flow.txt**. На рисунке ниже показан пример содержания текстового файла с шагами обработки:

```
Data processing flow in GEORADAR-EXPERT 2.1
GPR profile name: 150 MHz Soil Subsidence
Step #1 : Frequency filtering, Flstop = 83.75, Flpass = 116.25,
F2pass = 168.75, F2stop = 196.25, Keff = 1
Step #2 : Wavelet decomposition, order 6 level 6
Step #3 : Average substraction, window size100 traces
02-May-2023 13:17:22.114
```

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 с помощью пункта меню **Load Processing History** из группы меню **Processing**.

Отобразить загруженную историю обработки в информационном окне программы можно с помощью пункта меню View Loaded Processing List из группы меню Processing.



Отобразить уже применённую историю обработки в информационном окне программы можно с помощью 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Пункт меню Change GPR Profile Parameters in Batch Mode, расположенный в группе меню Processing, служит для применения параметров георадарного профиля, содержащихся на панели Profile Parameter, к группе георадарных профилей в пакетном режиме. Чтобы значение параметра, содержащееся на панели Profile Parameter (более подробно см. в <Редактирование данных профиля>), был применён к загружаемому файлу, флажок рядом с наименованием этого параметра должен быть снят. Если флажок отмечен, то значение параметра считывается из файла георадарного профиля, а не из окна ввода параметра.

С помощью меню Change GPR Profile Parameters in Batch Mode, например, удобно назначать одинаковую длину группе георадарных профилей. Для этого пользователь вводит значение длины георадарного профиля в окно ввода Length, m на панели Profile Parameter, снимает флажок этого параметра и с помощью меню Change GPR Profile Parameters in Batch Mode выбирает файлы георадарных профилей для обработки. Выбранные файлы по очереди загружаются в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, к георадарному профилю применятся значение длины профиля, указанное в окно ввода Length, m, а затем изменения сохраняются.

Удаление истории обработки

Очистить память истории обработки можно с помощью пункта меню Clear Processing History, расположенного в группе меню Processing. Или с помощью кнопки навигации по истории обработки << прейти 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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Обработка сигналов в блочном режиме



При обработке сигналов длинных георадиолокационных профилей, с количеством трасс в несколько десятков тысяч, может возникать дефицит объёма 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, с помощью пункта меню Block-by-block Processing, расположенного в группе меню Processing, открыть панель Block. Панель

загружается в нижнюю группу вкладок. Убрать панель **Block** можно с помощью 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 и 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.



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 синфазности сигналов (см. раздел <Пользовательские границы слоёв>). После завершения создания границы нужно навести на эту границу указатель мыши, и щёлкнуть 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 с помощью 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 с помощью 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, добавились дополнительные трассы на участке 0 – 100 м, которые являются результатом интерполяции.
Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Корректировка уровня поверхности земли на георадарном профиле

Корректировка уровня поверхности земли на георадиолокационном профиле требуется для результатов георадиолокационного исследования, в ходе которого антенны георадара находились в отрыве от поверхности земли. Например, антенны георадара могут быть закреплены на внешней подвеске БПЛА или автомобиля для дорожных исследований. В процессе перемещения георадара, антенны которого закреплены таким способом, расстояние между антеннами и поверхностью объекта исследования не будет величиной постоянной, а будет колебаться в определённых пределах.

На рисунке ниже слева показан фрагмент георадарного профиля, полученного в ходе георадиолокационного исследования с помощью БПЛА. Можно заметить, что вследствие периодических небольших изменений высоты полёта, импульсы георадара достигают поверхности земли в различное время. По этой причине оси синфазности отражённых сигналов на радарограмме имеют пилообразный характер искажений. На рисунке справа представлен результата применения опции корректировки уровня поверхности земли. На радарограмме исчезли пилообразные искажения и оси синфазности сигналов стали более плавными.



Перед корректировкой поверхности земли необходимо отрезать верхнюю часть георадарного профиля, содержащую сигнал прямого прохождения из передающей антенны георадара в приёмную антенну (более подробно см. раздел <Обрезка профиля>). Опция корректировки поверхности земли не имеет настроек, для запуска процесса корректировки нужно воспользоваться пунктом меню Surface Level Correction из группы меню Edit.

Объединение данных многоканального георадара

Многоканальные георадары выгодно отличаются от одноканальных георадаров прежде всего производительностью работ. В случае одноканального георадара, для каждого диапазона исследуемых глубин, обусловленного задачами георадарного исследования, необходимо подключать антенны с определёнными частотными характеристиками и осуществлять проход георадара по одному и тому же маршруту с каждой антенной.

В случае использования многоканального георадара, в состав которого входят несколько одновременно работающих антенн, за один проход георадара исследователь получает сразу несколько радарограмм. Сигналы этих радарограмм имеют различное разрешение и глубину проникновения. Радарограммы от высокочастотных антенн обладают лучшим разрешением сигналов, чем сигналы радарограмм от низкочастотных антенн, однако низкочастотные антенны обеспечивают большую глубинность исследования.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Для удобства обработки и интерпретации эти отдельные радарограммы можно объединить в один георадарный профиль. Глубина этого результирующего георадарного профиля будет зависеть от глубины зондирования наиболее низкочастотной антенной, входящей в состав многоканального георадара. Разрешение сигналов в каком-либо диапазоне глубин этого результирующего профиля будет зависеть от частотной характеристики антенны, чьи сигналы будут располагаться в этом диапазоне глубин.

Для объединения радарограмм, состоящих из одинакового количества георадиолокационных трасс, предназначен модуль **Data Combining**. С помощью данного модуля за один раз можно объединить две радарограммы в один георадарный профиль. Если необходимо объединить более двух радарограмм, то пользователь сначала объединяет две радарограммы от наиболее высокочастотных антенн многоканального георадара, после чего результат этого объединения пользователь сохраняет в файл. Затем пользователь объединяет сохранённый результирующий профиль с радарограммой от наиболее высокочастотной антенны из множества ещё необъединённых радарограмм, после чего результат объединения снова сохраняется и так далее. Таким образом, производится объединение радарограмм в порядке уменьшения центральных частот антенн, от которых эти радарограммы получены.

Объединение данных происходит следующим образом: пользователь загружает в модуль **Data Combining** одновременно две радарограммы. В процессе загрузки программа определяет частотный состав этих радарограмм и размещает данные от более высокочастотной антенны в верхней части результирующего георадарного профиля. Данные от антенны с более низкой центральной частотой отображаются в нижней части результирующего профиля.

Результирующий профиль отображается в области визуализации данных на вкладке **GPR Profile**. Диапазон глубин результирующего георадарного профиля, в котором осуществляется плавный переход от высокочастотных данных к низкочастотным данным, называется переходной зоной. Границы переходной зоны на изображении результирующего профиля показаны горизонтальными пунктирными линиями:



Пользователь может управлять шириной переходной зоны, перемещая линии границ по вертикали с помощью мыши, или задавая точные значения положения границ в наносекундах. Для изменения положения границы транзитной зоны вручную, необходимо навести указатель мыши на линию этой границы, нажать левую кнопку мыши и, удерживая её в нажатом положении, переместить указатель мыши. Линия границы будет перемещаться по вертикали вслед за указателем мыши до тех пор, пока левая кнопка мыши будет нажата.

Чтобы изменить цвет линий границ, нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши по одной из этих линий. В результате в окне программы отобразится панель выбора цвета. Пользователь мышью выбирает цвет и нажимает кнопку **ОК**, после чего панель выбора цвета закрывается, а линиям границ назначается выбранный цвет.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Data Combining				
LF		5 5	~	
T1	ok	27.:	1	
T2		41.)	6	
TZone		Defa	ult	
Load Save		/e		

Настройка параметров объединения радарограмм осуществляется на панели Data Combining. Чтобы открыть панель Data Combining, следует щелкнуть по пункту меню Combining Multi-Channel GPR Data, расположенному в группе меню Edit. Панель Data Combining размещается в нижней группе вкладок. Убрать панель Data Combining можно с помощью кнопки закрытия в правом верхнем углу панели.

Панель **Data Combining** содержит следующие элементы управления параметрами объединения (перечисление снизу-вверх):

 Load – кнопка загрузки данных для объединения. После нажатия кнопки Load откроется окно выбора файлов радарограмм. В этом окне пользователю необходимо выбрать два файла и нажать кнопку открытия. Если радарограммы из загружаемых файлов состоят из неодинакового количества георадиолокационных трасс, то загрузка будет отменена;

- Save кнопка сохранения результирующего георадарного профиля в файл формата efd. Действие данной кнопки аналогично действию пункта меню Save EFD, который расположен в группе меню File. При сохранении результирующий георадарный профиль должен отображаться в области визуализации на вкладке GPR Profile;
- TZone кнопка управления показом границ переходной зоны. Каждое последующее нажатие на кнопку TZone отменяет текущее состояние видимости границ. Если границы отображаются, то нажатие на кнопку TZone скрывает границы, а последующее нажатие на данную кнопку снова делает границы видимыми;
- Default кнопка установки ширины переходной зоны по умолчанию;
- T1, T2 элементы управления положением границ переходной зоны. Пользователь задаёт значения положения границ в наносекундах, после чего нажимает кнопку ok для применения этих значений. Окно ввода T1 служит для определения положения верхней границы, в окне ввода T2 задаётся положение нижней границы;
- LF данная группа элементов управления служит для подавления артефактов на результирующем георадарном профиле, возникших в процессе объединения. Флажок служит для включения режима подавления фазовых искажений в переходной зоне. Выпадающий список, расположенный справа от флажка, служит для выбора уровня подавления НЧ помех на результирующей радарограмме. Чем выше выбранное значение из выпадающего списка, тем шире диапазон подавления НЧ. При нулевом значении НЧ помеха не подавляется;
- Выпадающий список, расположенный в верхней части панели Data Combining, предназначен для управления отображением данных на вкладке GPR Profile. Список состоит из двух пунктов с наименованиями файлов радарограмм, загруженных для объединения, и пункта Combined data для отображения результата объединения. Для отображения тех или иных данных на вкладке GPR Profile, пользователь выбирает соответствующий пункт из выпадающего списка.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Конвертирование изображения георадиолокационного профиля из графического формата в формат EFD

В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализована конвертация изображения радарограммы из графического формата в формат георадиолокационного профиля **efd**. Необходимость такой конвертации может возникнуть, когда файл георадиолокационного профилирования утрачен и в наличии только изображение этого профиля в статье или отчёте. В результате конвертации, пользователь получает возможность применять к георадиолокационному профилю все опции цифровой обработки сигналов и все виды анализа георадарных данных, предусмотренные в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ.

Исходными данными для конвертации является изображение волновой картины георадарного профиля без горизонтальных и вертикальных шкал, а также без заголовков и подписей. Если документ, содержащий изображение для конвертации, находится в электронном виде, то удобно отобразить фрагмент этого документа так, чтобы изображение радарограммы присутствовало на экране монитора компьютера, и вырезать этого изображение с помощью программы **Ножницы** (Snippng Tool), которая входит в состав дистрибутива Windows и сохранить результат обрезки в формате png или jpg. Также, можно сделать снимок экрана кнопкой на клавиатуре компьютера, вставить этот снимок в графический редактор, обрезать и сохранить результат обрезки в формате png или jpg.

Если изображение для конвертации находится на бумажном носителе, то страницу, содержащую изображение радарограммы, необходимо отсканировать или сфотографировать, а после обрезать и сохранить так, как описано выше.

На рисунке ниже показана страница документа, содержащая изображение радарограммы. Красной рамкой обозначена контур обрезки этого изображения. После сохранения обрезанного изображения в файл формата **png** или **jpg**, это изображение можно использовать для конвертации.



Загрузка изображения радарограммы для конвертации в графическом формате **png** или **jpg**, осуществляется с помощью меню **Convert GPR Profile Picture to EFD Format**, которое расположено в группе меню **File** на панели меню. В процессе загрузки отобразится всплывающая панель **Set GPR profile parameters**, на которой необходимо задать параметры георадарного профиля. Источником

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

информации о задаваемых параметрах служат шкалы на изображении радарограммы. В окна ввода **Start,m** и **End, m** предназначены для ввода значений положения начала и конца георадарного профиля в метрах, окно ввода **Time, ns** служит для ввода времени двойного пробега волны на радарограмме в наносекундах. Кнопка **OK** служит для запуска процесса конвертации изображения георадарного профиля в соответствии с заданными на панели **Set GPR profile parameters** параметрами. Кнопка **Cancel** служит для отмены конвертирования.

Set GPR profile parameters		
Start, m	0	
End, m	100	
Time, ns	400	
ОК	Cancel	

После завершения процесса конвертирования, происходит сохранение результата конвертирования в файл формата **efd**. Сохранение осуществляется в директорию расположения исходного файла изображения. Файлу присваивается такое же имя, как и у исходного графического файла. После завершения процесса сохранения файла, производится загрузка георадиолокационного профиля из этого файла в программу. На рисунке ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с

загруженным георадиолокационным профилем, который является результатом конвертирования изображения из документа, показанного в качестве примера. В левой части главного окна отображено графическое представление результатов автоматизированного анализа BSEF (более подробно об анализе BSEF см. в разделе <

Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния>).



Автоматизированный анализ поля обратного рассеяния

Введение

Метод автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF (back-scattering electromagnetic field) заключается в выделении, усилении и определении программными средствами характеристик дифракционной компоненты волнового поля, зарегистрированного георадаром, с целью построения модели подповерхностной среды на основе этих характеристик.

В рамках данного метода, исследуемая подповерхностная среда рассматривается как совокупность распределённых в пространстве локальных неоднородностей, размеры которых сопоставимы с длиной волны зондирующего импульса георадара. Динамические и кинематические характеристики дифрагированных волн, порождённых этими неоднородностями, содержат информацию о строении исследуемой среды и свойствах её структурных элементов.

В случае, когда в исследуемой среде отсутствуют локальные неоднородности, использование метода анализа поля обратного рассеяния не даст результата, однако в природе подобные среды практически не встречаются. Естественные и искусственные толщи, как правило, содержат достаточное количество локальных объектов, порождающих дифрагированные волны.

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

Процесс обработки георадиолокационных данных с целью создания модели подповерхностной среды осуществляется в два этапа.

На первом этапе производится автоматизированный анализ BSEF результата георадиолокационного профилирования, сохранённого в файл. Можно анализировать как отдельные файлы георадиолокационного профиля, так и набор файлов в пакетном режиме. Анализ BSEF выполняется один раз для одного георадиолокационного профиля и не требует контроля со стороны пользователя. Результаты анализа BSEF, наряду с данными проанализированного георадиолокационного профиля, сохраняются во внутренний формат программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ **efd** (electromagnetic field data) и загружаются в программу при загрузке георадиолокационного профиля из файла этого формата.

На втором этапе производится расчёт и визуализация модели исследуемой среды. Пользователь загружает файл георадиолокационного профиля с результатами анализа BSEF формата efd в программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, делает необходимые настройки, описание которых представлено в следующих разделах данного руководства, и запускает процесс автоматизированного расчёта модели среды. Результат расчёта, в виде разреза выбранного пользователем атрибута волнового поля или параметра подповерхностной среды, отображается в окне визуализации главного окна программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, может быть сохранён в графическом формате, или экспортирован в виде табличных данных текстового формата, а также в другие широко используемые форматы.

Терминология

В данном разделе даны пояснения ключевых понятий, которые используются для описания метода анализа поля обратного рассеяния.

Георадиолокационный профиль

Георадиолокационный профиль (георадарный профиль, радарограмма, B-scan) — это двумерное изображение подповерхностной среды, полученное в результате георадиолокационного профилирования и состоящее из отражений зондирующего импульса георадара от неоднородностей этой среды.

В процессе георадиолокационного профилирования антенны георадара, сохраняя неизменным расстояние между собой, перемещаются по установленному маршруту и через определённые промежутки времени или заданную оператором георадара дистанцию (шаг профилирования) излучают электромагнитный зондирующий импульс в исследуемую среду.

Излучив в некоторой точке маршрута следования зондирующий импульс, георадар через равные интервалы времени определённое количество раз регистрирует амплитуды отражений зондирующего импульса и записывает эти амплитуды в память. Так формируется георадиолокационная (георадарная) трасса – функция амплитуды принятого георадаром сигнала от времени его прихода в приёмную антенну для некоторой точки маршрута следования георадара.

По мере продвижения по маршруту георадар формирует двумерный массив амплитуд отражённых сигналов. В этом массиве георадиолокационные трассы расположены по вертикали, а порядок расположения трасс по горизонтали определён очерёдностью их получения.

Чаще всего, массив отражённых сигналов георадиолокационного профиля визуализируется в виде точечного изображения, где яркость точек зависит от величины амплитуды. Массив амплитуд содержит как полезные сигналы, которые представляют собой отражения от реальных неоднородностей исследуемой среды, так и помехи. Помехи могут быть порождены объектами на дневной поверхности - так называемые воздушные отражения, многократными отражениями от контрастного подповерхностного объекта и влиянием электронных приборов, генерирующих сигналы в рабочей полосе частот георадара. Подавление помех и выделение полезной информации из массива сигналов георадиолокационного профиля является основной задачей обработки георадиолокационных данных.

Локальный объект

Локальный объект (локальная неоднородность) – объект подповерхностной среды, электрофизические характеристики которого отличаются от вмещающего этот объект пространства, а линейные размеры этого объекта 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).

Поле обратного рассеяния BSEF

Поле обратного рассеяния BSEF (back-scattering electromagnetic field) это зарегистрированное георадаром вторичное электромагнитное поле, возникающее в результате отражения зондирующего импульса георадара от неоднородностей подповерхностной среды.

Дифрагированное отражение

Локальный объект в зондируемой среде порождает дифрагированную волну, несущую информацию, как о рассеивающем объекте, так и о характеристиках вмещающей этот объект среды. Использование дифрагированных отражений затруднено из-за слабой интенсивности дифракционной компоненты волнового поля. Выделение дифракционной компоненты из волнового поля, зарегистрированного георадаром, является начальным этапом автоматизированного анализа BSEF.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Точка анализа поля

Точка анализа поля — это точка, принадлежащая дифракционной компоненте волнового поля, зарегистрированного георадаром. В процессе автоматизированного анализа BSEF, в окрестности данной точки измеряются кинематические и динамические характеристики дифракционной компоненты поля.

Атрибут

Характеристики дифракционной компоненты волнового поля, измеренные в окрестности точки анализа поля, а также величины, вычисленные на основе этих характеристик, называются атрибутами точки анализа поля. В состав набора атрибутов, также входят координаты точки анализа поля.

Разрез атрибута

Разрезом атрибута называется двумерная модель подповерхностной среды, созданная по результатам автоматизированного анализа BSEF, которая показывает изменение значений определённого атрибута в плоскости сечения исследуемой среды.

В процессе автоматизированного создания двумерной модели среды производится расчёт двух разрезов. Рассчитывается разрез заданного пользователем атрибута и разрез действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости **є**', который является вспомогательным разрезом и не визуализируется, за исключением случая, указанного далее.

На основе значений разреза атрибута $\mathbf{\epsilon}'$ вычисляется скорость распространения зондирующего импульса в подповерхностной среде по формуле $v = c/\sqrt{(\mathbf{\epsilon}')}$, где v – скорость электромагнитной волны в среде, а с – скорость электромагнитной волны в вакууме. Вычисленные значения v используются для внесения в модель среды скоростных поправок, в результате которых корректируется положение структурных элементов разреза по вертикали.

Разрез атрибута **ɛ**' визуализируется только в одном случае – если для создания разреза выбран он сам. Так разрез атрибута **ɛ**' рассчитывается совместно с другим атрибутом, и у разреза **ɛ**' могут быть свои настройки, отличные от настроек атрибута разреза, то настройки разреза атрибута **ɛ**' вынесены на отдельную панель **Primary Attribute** (более подробно см. в разделе <Панель Primary Attribute и панель для настройки разрезов других атрибутов>).

Ошибки анализа поля обратного рассеяния

Ошибки автоматизированного анализа поля обратного рассеяния могут возникать в результате влияния помех на точность измерения характеристик дифракционной компоненты в окрестности точки анализа поля. Для минимизации ошибок анализа применяется корректирующая функция.

Корректирующая функция

Затухание зондирующего импульса георадара в подповерхностном пространстве имеет частотно зависимый характер. По мере распространения зондирующего импульса, его высокочастотные компоненты затухают быстрее, чем низкочастотные. Характер взаимосвязи между частотными характеристиками отражённого импульса и временем его распространения зависит от состава и расположения структурных элементов разреза, а также от температурно-влажностных условий во время записи георадиолокационного профиля.

Изменение диэлектрической проницаемости исследуемой среды с возрастанием времени распространения зондирующего импульса также происходит по некоторому закону, зависящему от свойств подповерхностного пространства и температурно-влажностных условий на момент георадарной съёмки.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Если установить зависимость между диэлектрической проницаемостью и частотными характеристиками отражённых сигналов – центральной частотой **f**, шириной спектра Δ **f**, отношения центральной частоты к ширине спектра **Q** и вероятностью принадлежности точки анализа поля к дифракционной компоненте **P**, то эти зависимости можно использовать для коррекции значений диэлектрической проницаемости при расчёте модели среды. Такие зависимости называются корректирующими функциями, сокращённо - КФ. Иными словами, корректирующая функция – это уравнение регрессии, определяющее зависимость значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости в зависимость значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости **£**

Применение КФ позволяет минимизировать ошибки автоматизированного анализа BSEF. Корректирующая функция применяется в том случае, когда разреза атрибута, рассчитанный без использования Кф, имеет хаотичный характер расположения структурных элементов разреза или не соответствует априорной информации об исследуемом объекте.

Корректирующая функция рассчитывается автоматически или задаётся вручную (более подробно см. в <Настройка корректирующей функции в ручном режиме>). Графики КФ размещаются на соответствующих панелях в левой группе вкладок. На рисунке ниже показаны панели корректирующих функций.



Наиболее часто для КФ используется зависимость действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ε' от центральной частоты спектра отражённых сигналов f, график которой расположен на панели Corrective Function: Permittivity - Frequency. Этот тип корректирующей функции выбран для расчёта разреза по умолчанию (флажок выбора КФ Use this CF на панели Corrective Function: Permittivity - Frequency отмечен, оси графика КФ окрашены в зелёный цвет). Подробно о настройках КФ – см. в разделе <Настройки корректирующей функци>.

Базовые атрибуты

Базовыми называются те атрибуты точки анализа поля, которые используются для расчёта корректирующей функции. Ниже перечислены базовые атрибуты:

ε' – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости;

f – центральная или средневзвешенная частота спектра отражённого сигнала – в зависимости от того, отжата или нажата кнопка-переключатель **WAFreq** на панели гистограммы частоты, которая

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

имеет название Central Frequency, если кнопка WAFreq находится в отжатом состоянии и Average Frequency, если кнопка WAFreq нажата;

Δf – ширина спектра отражённого сигнала;

Q – отношение центральной частоты к ширине спектра отражённого сигнала;

Р – вероятность принадлежности точки анализа поля к дифракционной компоненте поля обратного рассеяния.

Опорные точки разреза

Опорные точки разреза – это точки анализа поля, которые используются для расчёта разреза атрибута. Количество опорных точек разреза может быть меньше, чем количество точек анализа поля, если к точкам анализа поля применялись ограничения диапазонов базовых атрибутов или оптимизация данных.

Ограничения метода

Ограничение метода автоматизированного анализа поля обратного рассеяния состоит в том, что действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости **ɛ**['] не может быть вычислена по параметрам дифракционной компоненты поля, если таковая отсутствует на георадиолокационном профиле. Причины отсутствия дифракционной компоненты компоненты следующими:

Отсутствие локальных неоднородностей

Если исследуемая среда не содержит локальных неоднородностей, линейные размеры которых сопоставимы с длиной волны зондирующего импульса георадара, то дифрагированные волны формироваться не будут, вследствие чего автоматизированный анализ BSEF не сможет выделить дифракционную компоненту из волнового поля георадиолокационного профиля. В реальности, подповерхностные среды, не содержащие локальных неоднородностей, в твёрдом состоянии практически не встречаются. В естественных и искусственных толщах всегда имеются локальные объекты различного масштаба и природы, являющиеся источником дифрагированных волн в том количестве, которое обеспечивает создание разреза атрибута приемлемого качества.

Локальные неоднородности могут отсутствовать в каком-либо слое подповерхностной среды, например, в толще воды. В этом случае пользователь, с помощью ручной пикировки границ, может выделить слой воды и вручную назначить ему диэлектрическую проницаемость 81. Это касается и других сред, в толще которых нет локальных неоднородностей, но известно значение диэлектрической проницаемости **ε**'.

Широкий шаг георадиолокационного 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, то регистрация дифрагированных волн георадаром становится невозможной. Вследствие этого невозможно и определение по характеристикам дифрагированных волн диэлектрической проницаемости **є** среды, которая вмещает локальные объекты, породившие эти волны.

На рисунках ниже дана иллюстрация влияния шага профилирования на формирование дифрагированного отражения на георадиолокационном профиле. Профилирование осуществляется георадаром с центральной частотой зондирующих импульсов 250 МГц.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



На рисунке 1 схематично показана исследуемая георадаром подповерхностная среда, вмещающая два локальных объекта. На изображения объектов наложено изображение дифрагированных отражений от этих объектов. Вертикальные линии на схеме показывают положение георадиолокационных трасс. Шаг георадиолокационного профилирования определяет расстояние между трассами, равное 0.7 м. Затухание электромагнитных волн в среде высокое – пусть это будет влажный суглинок.

На рисунке 2 показана радарограмма, полученная в ходе георадарного профилирования этой среды с шагом 0.7 м. Вертикальными линиями условно показано положение георадиолокационных трасс. При таком широком 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 от локального объекта при таких условиях не имеет форму гиперболы и не может быть использовано для определения диэлектрической проницаемости подповерхностной среды, вмещающей локальный объект.

Оранжевые стрелки на рисунках 1 и 2 соединяют места отражений от локального объекта в ходе георадиолокационного профилирования с этими же отражениями, визуализированными на радарограмме.

На рисунке 3 показана та же схема, что и на рисунке 1, только шаг профилирования уменьшен до 0.1 метра. При таком шаге профилирования, дифрагированные отражения от локальных объектов уверенно регистрируются георадаром и отображаются на радарограмме – см. рисунок 4. На каждое такое отражение уже приходится свыше десятка георадиолокационных трасс.

В разделе <Параметры записи георадиолокационного профиля> даны рекомендации по установке оптимальных параметров записи георадиолокационных профилей для возможности определения диэлектрической проницаемости ε' с помощью анализа поля обратного рассеяния. Однако, отсутствие дифракционной компоненты на георадиолокационном профиле не является препятствием для выполнения автоматизированного анализа BSEF, более подробно см. в разделе <Результаты анализа BSEF в случае отсутствия дифракционной компоненты поля>.

Результаты анализа BSEF в случае отсутствия дифракционной компоненты поля

Когда на георадиолокационном профиле дифракционная компонента поля отсутствует (см. раздел <Ограничения метода>), вычисление действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости **є'** на основе измерения параметров дифракционной компоненты невозможно. Однако, это не является препятствием для выполнения автоматизированного анализа поля обратного рассеяния.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

В случае отсутствия дифракционной компоненты, в процессе анализа BSEF значения **ɛ**' вычисляются на основе значений центральной частоты спектра, полученного в окрестности точки анализа поля. Для вычисления используется принцип возрастания значения **ɛ**' с уменьшением частоты, что соответствует подповерхностной среде, в которой влажность монотонно возрастает с глубиной.

Если в реальной среде изменение ε' с возрастанием глубины происходит иначе, то эту взаимосвязь можно установить с помощью подбора корректирующей функции ε'(f), опираясь на априорную информацию об исследуемом объекте.



Когда файл георадиолокационного профиля с результатами анализа волнового поля, не содержащего дифракционную компоненту, загружен в программу, то в верхней части окна гистограммы **Permittivity** отображается сообщение **Note! There is too much GPR traces spacing!** Смысл этого сообщения в том, что шаг георадиолокационного профилирования при записи данного профиля был установлен слишком большим, и по этой причине дифракционная компонента на георадиолокационном профиле отсутствует.

Действия пользователя по созданию разреза в случае такого георадарного профиля не отличаются от действий с профилем, волновая картина которого содержит дифракционную компоненту, однако пользователь должен понимать, что значения **ε'** могут потребовать коррекции, и производить эту коррекцию нужно на основе априорной информации об исследуемой среде, с помощью корректирующей функции и ограничения диапазона атрибута **ε'** (более подробно см. разделы <Oграничение диапазона базовых атрибутов>, <Группы параметров Primary attribute range и Attribute range>, <Настройки корректирующей функции>).

На рисунке ниже показано рабочее окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с загруженным георадиолокационным профилем, записанным со слишком большим шагом профилирования. Запись производилась в ходе обследования автомобильной дороги георадаром с центральной частотой 1700 МГц и шагом профилирования 0.27 м, который почти в 5 раз превышает рекомендуемый шаг профилирования для этой частоты 0.05 м. На вкладке визуализации показан разрез атрибута *ε*'.



Как можно видеть из представленного снимка экрана с рабочим окном программы, отсутствие дифракционной компоненты на георадиолокационном профиле, в целом, не препятствует получению информации о толщине дорожного покрытия (слой красного цвета на разрезе) и прочих слоёв дорожной одежды. Однако степень достоверности и детализации разреза атрибута ϵ' , рассчитанного по результатам анализа BSEF георадиолокационного профиля с дифракционной компонентой выше, чем без таковой.

Параметры записи георадиолокационного профиля

Для результативного анализа поля обратного рассеяния, параметры записи георадиолокационного профиля должны удовлетворять следующим условиям:

- Расстояние между георадиолокационным трассами должно быть одинаковым. Т.е. георадиолокационное профилирование должно координироваться с помощью датчика перемещения георадара, или осуществляться в пошаговом режиме с одинаковой величиной шага. 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 не должны выходить за пределы следующих значений (верно для дипольных антенн с диаграммой направленности в ≈120°, применяемых во многих георадарах и для сред с умеренным поглощением электромагнитных волн):

Центральная частота	Шаг профилирования, м	Максимальное время
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

<u>Примечание:</u> в сильно поглощающих средах (влажные суглинистые грунты, влажные торфяники, и пр.), шаг георадиолокационного профилирования должен быть уменьшен не менее, чем в два раза. Для рупорных антенн, имеющих узкую диаграмму направленности, шаг также должен быть уменьшен, величина шага для таких антенн подбирается экспериментальным путём.

Предварительная обработка данных

Обработку сигналов георадиолокационного профиля перед выполнением автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF производить не рекомендуется. Вся необходимая обработка заложена в алгоритм анализа BSEF и выполняется в процессе этого анализа.

Если во время записи георадиолокационного профиля не использовался датчик перемещения георадара, например, измерительное колесо, или иное средство позиционирования, необходимо скорректировать значение длины профиля в файле профиля и сохранить это изменение. Некорректное значение длины георадиолокационного профиля негативно влияет на результат анализа BSEF.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Анализ BSEF и сохранение результатов анализа

Split profile 🔽		
Length 1000		
tteration		
Save		
Batch		
Start		

Настройка параметров автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF осуществляется на панели **ABSEF**. Чтобы отобразить панель **ABSEF**, следует щёлкнуть по пункту меню **BSEF Analysis**, расположенному в группе меню **Analysis**. Панель размещается в нижней группе вкладок. Скрыть панель **ABSEF** из нижней группы вкладок можно с помощью кнопки закрытия **x**, расположенной в правом верхнем углу панели.

Анализ BSEF имеет следующие настройки:

- Iteration количество итераций процесса выделения дифрагированной компоненты поля. С увеличением количества итераций возрастает количество обнаруженных дифрагированных отражений, однако увеличивается и количество ошибок обнаружения. Наиболее часто используется значения 3, реже значение 1. Значение 2 используется очень редко. Рекомендуется для одного георадиолокационного профиля выполнить анализ BSEF два раза со значением Iteration = 3 и Iteration = 1, сохраняя результаты анализа в разные файлы с расширением efd, после чего выбрать тот вариант, разрез атрибута которого в наибольшей степени соответствует априорной информации об исследуемом объекте. Если обрабатывается группа георадиолокационных профилей, записанных одним и тем же георадаром на одном и том же объекте исследования, то для выбора количества итераций достаточно сравнить варианты итераций для одного профиля из этой группы, и применять выбранное количество итераций для анализа BSEF остальных профилей;
- Length длина фрагмента георадарного профиля в георадиолокационных трассах. Данный параметр используется, когда флажком Split profile установлено автоматическое разделение профиля на фрагменты в процессе анализа BSEF. По умолчанию, задано значение параметра Length, равное 1000 трассам;
- Split profile когда данный флажок отмечен (по умолчанию), то в процессе анализа BSEF выполняется автоматическое разделение профиля на заданные параметром Length, фрагменты. Эти фрагменты сохраняются во временные файлы, а затем поочерёдно загружаются и анализируются. После того, как все фрагменты будут проанализированы, они объединяются в одно целое. Если флажок Split profile отмечен, но количество георадиолокационных трасс в профиле меньше заданного параметром Length, то такой профиль в процессе анализа BSEF не разделяется. Если в окне Length отсутствует значение, то разделение на фрагменты не выполняется. Когда выполняется анализ частей разделённого георадарного профиля, то информация о порядковом номере текущей анализируемой части отображается в заголовке информационного окна анализа BSEF. По умолчанию, автоматическое разделение активировано с параметром Length, равным 1000 трассам. Не рекомендуется отключать автоматическое разделение, так как этот режим оптимизирует использование памяти компьютера и сокращает время анализа.

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

- Start запуск процесса анализа BSEF загруженного в программу георадиолокационного профиля. После окончания процесса анализа BSEF пользователь должен вручную сохранить результаты с помощью кнопки Save на панели ABSEF или с помощью пункта меню Save EFD из группы меню File на панели меню;
- Batch запуск процесса анализа BSEF нескольких профилей. После нажатия данной кнопки открывается окно выбора файлов профиля. После того, как пользователь выберет файлы,

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

окно выбора закрывается и запускается процесс анализа георадиолокационных профилей, которые загружаются в программу и обрабатываются по очереди, а результаты обработки автоматически сохраняются в файл с расширением **efd** в ту же директорию, что и обрабатываемый файл;

 Save – данная 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.

Во время выполнения анализа BSEF главное окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ скрыто. Отображается только информационная панель с индикатором прогресса выполнения, информирующая пользователя о текущем обрабатываемом профиле. Если в процессе анализа профиль разбивается на фрагменты, то в заголовке окна информационной панели отображается информация о том, какая часть фрагмента анализируется и общее количество фрагментов:

臣	GEORADAR-EXPERT 2.1 BSEF Analysis Split GPR Profile Part 1 of 2 - X	
	BARE analysis of CDD date from the file	
	12220001.eta	
To cancel the BSEF analysis with loss of results, click the X in the upper right corner.		

Чтобы прервать процесс анализа и возвратиться в главное окно программы, нужно нажать кнопку **X** в правой верхней части информационной панели. В результате появится окно подтверждения отмены, где пользователь может подтвердить прерывание или возобновить процесс анализа:



После завершения анализа георадарного профиля, ранее открытого в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, главное окно программы восстанавливается, а панели отображения результатов анализа и настроек параметров построения разреза загружаются в левую группу вкладок. После этого отобразится напоминание о необходимости сохранения результатов анализа BSEF вручную:



В пакетном режиме результаты анализа автоматически сохраняются в файл efd. По окончании анализа в пакетном режиме пользователю будет предложен выбор закрыть ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ или восстановить главное окно программы с загрузкой последнего проанализированного георадарного профиля.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Построение разреза на основе результатов анализа поля обратного рассеяния

Перечень атрибутов разреза

Атрибуты волнового поля обратного рассеяния георадиолокационного профиля являются количественными характеристиками георадарной записи. На основе атрибутов волнового поля рассчитываются атрибуты исследуемой среды, такие как диэлектрическая проницаемость, влажность, удельное электрическое сопротивление, проводимость и т.д. Разрезы атрибутов позволяют получить детальную информацию о строении и состоянии подповерхностной среды и её структурных элементов, а также о нарушениях в этой среде.

В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ для построения разрезов используются следующие атрибуты:

- Real part of complex relative permittivity (сокращённо Re(permittivity)) действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Величина безразмерная, вычисляется по формуле $\varepsilon' = (C/v)^2$, где C – скорость света в вакууме, v – скорость электромагнитной волны в подповерхностной среде;
- Central frequency центральная частота спектра отражённого сигнала. Измеряется в МГц;
- Average frequency средняя частота спектра отражённого сигнала. Вычисляется как среднее арифметическое значение частот резонансных пиков спектра отражённого сигнала. Измеряется в МГц;
- Weighted average frequency средневзвешенная частота спектра отражённого сигнала. Вычисляется по формуле $F_{wa} = \frac{\sum A_i F_i}{\sum A_i}$, где A_i - спектральная амплитуда на частоте F_i .

Измеряется в МГц;

- **Q-factor** величина безразмерная, рассчитывается по формуле $Q=F/\Delta F$,где F центральная частота спектра отражённого сигнала, Д – ширина спектра отражённого сигнала по уровню -3 дБ от максимальной амплитуды спектра;
- Robust Q-factor величина безразмерная, рассчитывается по формуле $Q=F/\Delta Fr$, где F -. центральная частота спектра отражённого сигнала, *ДFr* – ширина спектра отражённого сигнала по уровню -3 дБ от максимальной амплитуды спектра после робастной оптимизации;
- **Q-factor by peak frequency shift** величина безразмерная, рассчитывается по формуле

 $\frac{1}{Q^*} = \frac{4}{t} \frac{(\omega_0^2 - \omega_t^2)}{\omega_0^2 \omega_t}$, где ω_0 - центральная частота спектра в начальной точке георадиолокационной приведена в публикации John H. Bradford. Frequency-dependent attenuation analysis of groundpenetrating radar data. GEOPHYSICS,VOL. 72, NO. 3 MAY-JUNE 2007; P.J7–J16. Авторы публикации отмечают, что аномальные отклонения атрибута, рассчитанного этим способом, являются индикатором наличия в грунте лёгких жидких органических загрязнителей неводной фазы (LNAPL), таких как нефть, бензол и подобных им веществ;

Q-factor by weighted average frequency – величина безразмерная, рассчитывается по формуле $Q=Fwa /\Delta F$, где Fwa - средневзвешенная частота спектра отражённого сигнала, ΔF — ширина спектра отражённого сигнала по уровню -3 дБ от максимальной амплитуды спектра;

- Signal bandwidth ширина спектра отражённого сигнала по уровню -3 дБ от максимальной амплитуды спектра. Измеряется в МГц;
- Signal energy Энергия отражённого сигнала, рассчитанная по его частотному спектру;
- Frequency interval количество октав от заданной пользователем частоты до частоты на разрезе, измеряется в МГц (октава – это частотный интервал, граничные значения которого отличаются в два раза). Значение частоты в МГц, относительно которой производятся вычисления, вводится пользователем в окне ввода Freq, MHz. Если пользователь не ввёл значение частоты, расчёт производится от центральной частоты спектра сигналов всего георадиолокационного профиля. Положительные значения данного атрибута свидетельствуют о том, что значение частоты на разрезе меньше значения заданной частоты. Отрицательные значения показывают, что значение частоты на разрезе больше заданной частоты;
- Spectral irregularity количество пиков (локальных максимумов) спектра отражённого сигнала, амплитуды которых превышают уровень -3 дБ от максимальной амплитуды спектра;
- **Spectral flatness** отношение среднего геометрического значения амплитуд спектра отражённого сигнала к среднему арифметическому значению амплитуд спектра в децибелах:

$$ext{Flatness} = 20 ext{ lg } rac{\sqrt[N]{\prod_{n=0}^{N-1} x(n)}}{\sum_{n=0}^{N-1} x(n)}$$

, где x(n) - амплитуда *n*-й составляющей спектра. Ненулевые значения атрибута **Spectral flatness** имеют отрицательный знак. Данный атрибут характеризует равномерность распределения энергии спектра по частотам. Уменьшение значения атрибута **Spectral flatness** соответствует возрастанию концентрации энергии на определённых участках спектра, что улучшает отношение сигнал/шум. Максимально возможное значение атрибута 0 дБ соответствует равномерному распределению спектральных составляющих по частотному диапазону спектра, т.е. белому шуму;

- Normalized spectrum area натуральный логарифм площади нормализованного спектра.
 Безразмерная величина, рассчитывается по формуле *S* = ln(¹/_{A₀} Σ(*A_if_i*)), где *A₀* – максимальная амплитуда спектра, *A_if_i* – амплитуда и частота *i*-й составляющей спектра;
- Spectral amplitude максимальная амплитуда спектра отражённого сигнала. Измеряется в дБ;
- Diffraction amplitude средняя амплитуда дифрагированного отражения. Измеряется в дБ;
- Radarogram signals нормированные амплитуды отражённых сигналов георадиолокационного профиля. Величина безразмерная;
- Envelope signals амплитуда огибающей сигналов георадиолокационного профиля. Величина безразмерная, является модулем результата преобразования Гильберта, применённого к трассам георадиолокационного профиля;
- Gravimetric water content влажность весовая. Измеряется в %, вычисляется по соотношению *ɛ*'=3.2+1.1*W*, где *W* – весовая влажность, *ɛ*' – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Формула представлена в книге Владов *М.Л., Старовойтов А.В., "Введение в георадиолокацию", Учебное пособие -М.: Издательство МГУ, 2004*;
- Volumetric water content влажность объёмная. Измеряется в %, вычисляется по соотношению ε[']= 3.03 + 9.3w+ 146w² - 76.7w³, где w – объёмная влажность, ε['] – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости.

Формула представлена в публикации Topp, 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;

- Resistivity удельное электрическое сопротивление. Рассчитывается на основе данных о зависимости удельного сопротивления грунта от его весовой влажности, представленных в IEEE Standard 142-1991, стр. 129, таблица 11 Effect of Moisture Content on Soil Resistivity. Измеряется в Ом·м;
- Conductivity удельная электрическая проводимость. Измеряется в См/м, рассчитывается по формуле σ=1/ρ, где ρ - атрибут Resistivity;
- Concrete moisture content влажность бетона. Измеряется в %, по формулам, приведённым в публикации Jin X, Ali M. Simple empirical formulas to estimate the dielectric constant and conductivity of concrete. Mierow Opt Technol Lett. 2019;61:386-390;
- Concrete conductivity удельная электрическая проводимость бетона. Измеряется в См/м, вычисляется по формулам, приведённым в публикации Jin X, Ali M. Simple empirical formulas to estimate the dielectric constant and conductivity of concrete. Mierow Opt Technol Lett. 2019;61:386-390;
- Concrete resistivity удельное электрическое сопротивление бетона. Измеряется в Ом·м, вычисляется по формулам, приведённым в публикации Jin X, Ali M. Simple empirical formulas to estimate the dielectric constant and conductivity of concrete. Mierow Opt Technol Lett. 2019;61:386-390;
- Dielectric loss tangent тангенс угла диэлектрических потерь. Величина безразмерная, вычисляется по формуле tgδ = ε"/ε', где ε' – действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, ε" - мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Формула приведена в книге М. И. Финкельштейн, В.И. Карпухин, В. А. Кутев, В. Н. Метёлкин. Подповерхностная радиолокация, - М.: Радио и связь, 1994;
- Damping rate логарифмический декремент затухания зондирующего импульса. Величина безразмерная, вычисляется по формуле λ = ln(X_k/X_{k+1}), где X_k и X_{k+1} - значения амплитуд на k и k+1 отсчёте огибающей сигналов георадиолокационной трассы;
- Probability вероятность принадлежности точки анализа поля к дифракционной компоненте поля обратного рассеяния. Измеряется в %;
- Resolution вертикальное разрешение разреза. Измеряется в метрах;
- Imaginary part of complex relative permittivity (сокращённо Im(permittivity)) мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Величина безразмерная, вычисляется на основе соотношения ε"/ε'=1/Q, где ε' действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, ε" мнимая часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости, Q атрибут Q-factor;
- Modulus of complex relative permittivity (сокращённо Mod(permittivity)) модуль комплексной относительной диэлектрической проницаемости. Величина безразмерная;
- Wave propagation velocity скорость распространения электромагнитной волны. Измеряется в метрах в наносекунду;
- Complex attribute сложный атрибут. Рассчитывается как средняя величина значений всех атрибутов, полученных в ходе автоматизированного анализа BSEF, после нормализации

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

значений этих атрибутов. Особенность атрибута **Complex attribute** в том, что он объединяет разнородные данные, которые дополняют друг друга и повышают информативность разреза. Это особенно заметно при обработке сильно зашумлённых данных георадара;

 Complex attribute excluding amplitudes – рассчитывается также, как и атрибут Complex attribute, но без учёта амплитудных атрибутов.

Если пользователь испытывает затруднение в выборе атрибута, рекомендуется создать разрезы нескольких атрибутов, например, **Re(permittivity)**, **Frequency**, **Q-factor**, **Complex attribute** и **Complex attribute excluding amplitudes** и сохранить изображения разрезов этих атрибутов в графическом формате. В результате анализа изображений разрезов, для дальнейшего применения выбирается тот атрибут, разрез которого в наибольшей степени соответствует априорной информации об исследуемой среде. Если априорная информация отсутствует, рекомендуется использовать информацию об аналогичных объектах исследования, находящихся в похожих температурновлажностных условиях.

Предварительный просмотр разрезов атрибута

Предварительный просмотра разрезов упрощает выбор атрибута разреза. Пользователь, в зависимости от задачи георадарного исследования, опираясь на априорную информацию или логику формирования подповерхностных слоёв исследуемого объекта, может быстро выбрать подходящий вариант разреза через окно предварительного просмотра. Атрибут выбранного разреза автоматически устанавливается для расчёта итогового разреза.

Для вызова окна предварительного просмотра используется пункт меню Attribute Sections Preview из группы меню Section.



После открытия окна начинается расчёт изображений разрезов, время которого зависит от размера георадиолокационного профиля. По мере готовности разрезы появляются в окне предварительного просмотра. При создании разрезов учитываются текущие ограничения диапазона базовых атрибутов, а также опции очистки BSEF. Сглаживание разреза атрибута **Real part of compex relative permittivity** осуществляется в соответствии со значениями, указанными на

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

панели **Primary Attribute**, в группе параметров **Smoothing: RF Y(smpl) X(m)**, сглаживание разрезов других атрибутов осуществляется в соответствии со значениями, указанными на панели настроек остальных атрибутов, в группе параметров **Smoothing: RF Y(smpl) X(m)**, более подробно см. в разделе <Группа параметров Smoothing RF Y(smpl) X(m)>.

Для выбора атрибута щёлкните мышью по наиболее подходящему разрезу в окне предварительного просмотра, после чего выбранный разрез будет отмечен зелёной рамкой. Чтобы подтвердить выбор, нажмите кнопку **Apply and Close** в правом нижнем углу окна. После этого окно предварительного просмотра закроется, а атрибут выбранного разреза отобразится в выпадающем списке на панели **Attributes**. Для закрытия окна без применения выбора нажмите кнопку **X** в правом верхнем углу окна.

Для корректировки цветовой схемы разрезов, в левой части окна предварительного просмотра расположено окно цветовой шкалы с указателями фрагмента цветовой схемы (более подробно см. раздел <Редактирование цветовой схемы с помощью указателей>), выпадающий список выбора цветовой схемы и следующие кнопки управления цветовой схемой:

- Initial Colormap отмена всех изменений цветовой схемы;
- Flip Colormap реверсирование цветовой схемы по вертикали;
- Invert Colormap создание негатива текущей цветовой схемы;
- Auto Contrast автоматический контраст для выделения малоконтрастных деталей. На рисунке ниже показано сравнение разреза до (слева) и после применения автоматического контраста:





Для сохранения цветовой схемы в файл gecmap используется кнопка Save Colormap, которая дублируется в меню Save Colormap из группы Colormap.

Для сохранения снимка окна предварительного просмотра используется кнопка Screenshot, которая дублирует пункт меню Save screenshot в группе File.

Загрузка файла георадарного профиля с результатами анализа BSEF

Загрузка файла георадиолокационного профиля с результатами анализа поля обратного рассеяния с расширением efd, осуществляется так же, как и загрузка любого другого формата файла профиля, поддерживаемого в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Для этого нужно воспользоваться пунктом 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 (более подробно см. в разделе <Загрузка файла профиля>). Описание панелей отображения результатов анализа BSEF см. в разделе <Визуализация результатов анализа BSEF>.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Преобразование результатов анализа BSEF в процессе загрузки файла георадарного профиля

В процессе загрузки профиля с результатами анализа BSEF, данные анализа могут быть преобразованы в зависимости от настроек ограничений базовых атрибутов, применённых опций очистки данных и выбранного состояния сглаживания базовых атрибутов.

По умолчанию, после загрузки профиля, гистограммы базовых атрибутов отображают данные, рассчитанные по всем точкам анализа без ограничений, и для расчёта корректирующих функций и построения моделей среды (разрезов атрибута) используются все точки анализа поля.

Если задано ограничения диапазона базовых атрибутов (см. раздел <Ограничение диапазона базовых атрибутов>) и активирован флажок Lock rng на панели Section, ограничения применяются при загрузке профиля, и гистограммы отображают данные только оставшихся после ограничения точек. Когда флажок Lock rng снят, то при загрузки следующего профиля ограничения базовых атрибутов сбрасываются. Флажок Lock rng обычно используется в пакетном режиме создания разрезов, когда необходимо сохранить заданный диапазон ограничений для загружаемых профилей.

Помимо флажка Lock rng, на панели Section расположены флажки Lock CF и Lock Smooth. Эти флажки не влияют на преобразование результатов анализа BSEF при загрузке профиля, однако, как и флажок Lock rng, они используются в пакетном режиме создания разрезов. Флажок Lock CF блокирует изменение корректирующих функций при загрузке профиля, а флажок Lock Smooth блокирует изменение значение сглаживания разреза по горизонтали, которое при загрузке профиля со снятым флажком Lock Smooth определяется автоматически.

Если до загрузки георадиолокационного профиля были активированы опции очистки данных (более подробно см. раздел <Очистка результатов анализа BSEF>), они также применяются к результатам анализа BSEF загружаемого профиля.

Результаты автоматизированного анализа BSEF содержат данные базовых атрибутов как в исходном, так и в сглаженном состояниях. Сглаживание базовых атрибутов в процессе анализа выполняется для минимизации возможных ошибок анализа, проявляющихся в аномально резких отклонениях значений атрибутов.

Для выбора состояния сглаживания базовых атрибутов используйте флажок **Smooth** на панели гистограммы **Permittivity**. Если флажок установлен, при настройке параметров создания разреза применяются сглаженные значения базовых атрибутов. После изменения выбора состояния сглаживания происходит обновление гистограмм базовых атрибутов и корректирующих функций.

Не сглаженные результаты анализа дают более детальную модель подповерхностной среды. Это может быть полезно в задачах, где требуется изучение мелких объектов или локальных изменений в структуре подповерхностного слоя. Однако такая детализация может затруднить интерпретацию, так как мелкие отклонения могут создавать «шум» и визуальные помехи.

Для задач, где важна общая структура подповерхностных слоёв, лучше подходит сглаженный вариант результатов анализа. Сглаживание позволяет минимизировать локальные колебания значений атрибутов, за счёт чего слои на разрезе выглядят более цельными и непрерывными. Это способствует более чёткому выделению границ слоёв и облегчает анализ подповерхностных структур, особенно в условиях высокой степени неоднородности или при наличии сильных шумов в данных.

Очистка результатов анализа BSEF

В настоящем разделе дано описание инструментов для подготовки результатов автоматизированного анализа BSEF к дальнейшему использованию и интерпретации с помощью очистки данных. Очистка данных — это процесс выявления и устранения неточностей, аномалий и ошибок в исходных данных для повышения их достоверности и согласованности. Целью очистки является минимизация искажений, вызванных неполадками аппаратуры, шумами, выбросами, систематическими ошибками или пропусками, которые могут снижать точность и информативность последующего анализа.

В процессе автоматизированного анализа производится выявление и подавление типовых помех на георадиолокационном профиле, однако такое подавление может быть не всегда эффективным, что негативно сказывается на достоверности анализа BSEF. Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предоставляет пользователю ряд инструментов для очистки данных от ошибочных значений, что повышает достоверность модели подповерхностной среды, рассчитанной по результатам анализа BSEF георадиолокационных профилей с высоким уровнем помех.

При этом важно учитывать, что очистка данных не всегда приводит к улучшению их качества и может искажать исходную структуру или приводить к потере значимых деталей, особенно если параметры очистки заданы неверно. Критерием корректности очистки является соответствие разреза, построенного на основе очищенных данных, априорной информации об исследуемой среде или логике формирования подповерхностных слоёв объекта.

Выбор способа и параметров очистки данных зависит от цели георадиолокационного исследования и осуществляется на основе опыта применения инструментов очистки в аналогичных задачах. Пользователь может настраивать параметры очистки методом подбора, изменяя их и оценивая разрез после каждой корректировки. Применение очистки данных рекомендуется в тех случаях, когда настройка корректирующей функции и других параметров создания разреза не даёт положительного результата.

Очистка по отклонению от средних значений

В этом методе очистки данные считаются недостоверными, если их отклонение от среднего значения на заданной глубине превышает допустимый порог. Для каждого отсчёта георадарного профиля по глубине рассчитываются средние значения атрибута **Central frequency**, что формирует вектор средних частот (ВСЧ). Затем значения **Central frequency** каждой точки анализа сравниваются со значением ВСЧ на соответствующей глубине. Недостоверными считаются те точки, значения атрибута **Central frequency** которых отклоняются от ВСЧ более чем на заданный пользователем процент — как в большую, так и в меньшую сторону.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

На схеме выше иллюстрируется принцип очистки данных по отклонению от средних значений. Красные и зелёные маркеры на схеме обозначают точки измерения характеристик поля обратного рассеяния, полученные в процессе анализа BSEF. По горизонтальной оси графика отложена частота, измеренная при анализе BSEF, а по вертикальной оси — положение точки анализа поля на георадиолокационном профиле по глубине.

Синяя линия на графике представляет ВСЧ, пунктирные линии — допустимое отклонение **Dev,%** от ВСЧ, заданное пользователем. Точки анализа, значения которых попадают в область, ограниченную линиями допустимых отклонений, используются для расчёта разреза (зелёные маркеры). Точки, частоты которых лежат за пределами допустимого диапазона, исключаются из расчёта (красные маркеры).

Если на панели гистограммы частоты кнопка **WAFreq** находится в нажатом состоянии, то расчёты выполняются не по центральной, а по средневзвешенной частоте (более подробно в <Замена центральной частоты на средневзвешенную для расчёта КФ>).

Очистка данных по отклонению от средних значений наиболее эффективна для георадиолокационных профилей, полученных в результате исследования горизонтально-слоистых сред, например, строительных или дорожных конструкций.



Элементы управления очистки данных по отклонению от средних значений расположены на панели **Mean Deviation Data Cleaning**, которая размещается в левой группе вкладок. Данная панель содержит следующие элементы управления:

- Apply кнопка запуска процесса очистки результатов анализа BSEF по отклонению от средних значений;
- Cancel кнопка отмены очистки результатов анализа BSEF по отклонению от средних значений. Когда к результатам анализа BSEF применена очистка данных по отклонению от средних значений, кнопка Cancel отображается оранжевым цветом. После отмены очистки кнопка Cancel становится серой;
- Do not smooth data флажок для отмены сглаживания ВСЧ. Сглаживание ВСЧ в процессе очистки осуществляется по умолчанию, с помощью автоматически рассчитываемого скользящего окна. Когда флажок Do not smooth data отмечен, сглаживание ВСЧ в процессе очистки данных не производится;
- Thr Deviation, % (порог отклонения) окно ввода допустимого отклонения частоты от ВСЧ в процентах. Точки анализа, отклонение значения атрибута частоты которых превышает заданное значение в обе стороны, не используются при расчёте разреза;
- Horizontal win, m размер горизонтального окна для вычисления ВСЧ, в метрах. Когда значение Horizontal win, m не введено, то частоты для расчёта ВСЧ берутся по всей длине георадарного профиля. Таким образом, для георадарного профиля рассчитывается одна ВСЧ. Когда значение Horizontal win, m определено, то ВСЧ рассчитывается для каждой георадиолокационной трассы в заданной параметром Horizontal win, m окрестности георадарной трассы. Если значение в окне ввода Horizontal win, m равно нулю, или превышает длину георадарного профиля, то рассчитывается ВСЧ по всей длине георадарного профиля.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Очистка по отклонению от средних значений осуществляется следующим образом: пользователь, на панели Mean Deviation Data Cleaning, задаёт параметры очистки, а затем кнопкой Apply запускает процесс очистки. По окончании процесса

очистки кнопка Cancel изменят свой цвет с серого на оранжевый, а рамка панели Mean Deviation Data Cleaning становится зелёного цвета. Эти изменения цвета являются индикаторами того, что к результатам анализа BSEF применена очистка данных по отклонению от средних значений. После отмены очистки цвет кнопки Cancel меняется на серый, а рамка панели Mean Deviation Data Cleaning становится белого цвета.

После очистки данных пользователь создаёт разрез и оценивает результат. Если результат не соответствует априорной информации о разрезе, параметры очистки можно скорректировать и повторно нажать **Apply**. Далее разрез создаётся заново, и пользователь оценивает его. Таким образом осуществляется подбор оптимальных параметров очистки. Для сокращения времени подбора параметров можно увеличить значения прореживания данных, что ускоряет создание разреза (прдробнее см. в разделе <Панель Basis – прореживание сетки разреза и ввод поправок за рельеф>).

Далее, рисунке показан георадиолокационный профиль, полученный в ходе исследования железобетонной плиты толщиной около 0.2 м, лежащей на песчаном слое толщиной около 0.2 м. Под изображением георадиолокационного профиля находятся разрезы атрибута **Concrete moisture content** (влажность бетона), рассчитанного без выполнения очистки данных по отклонению от средних значений (слева) и с применением такой очистки.



На разрезе, рассчитанным по очищенным данным, уверенно прослеживается толща плиты и распределение влажности внутри этой толщи, а также более влажный слой песчаной подушки, выполняющей функции дренажа. Разрез, рассчитанный без применения очистки, показывает менее точную модель исследуемой среды. Причиной этому служит частичная экранировка зондирующих импульсов георадара металлическими прутками арматуры, а также взаимные наложения отражений от этих прутков, порождающие ошибку измерения в ходе автоматизированного анализа BSEF.

Очистка по критерию повторяемости

Выявление недостоверных значений для данного типа очистки осуществляется по критерию повторяемости пар базовых атрибутов [ε' f], [ε' Δf], [ε' Δ] или [ε' P] в массиве результатов анализа. Если количество точек с одинаковыми значениями выбранной пользователем пары или нескольких пар атрибутов меньше установленного порога, то такие точки считаются случайными, содержащими недостоверные данные, и исключаются из расчёта разреза.

Очистка по критерию повторяемости лучше подходит для задач, ориентированных на выявление крупных подповерхностных объектов, таких как грунтовые слои. Если цель георадиолокационного исследования заключается в обнаружении компактных объектов, которые характеризуются небольшим количеством точек анализа (например, локальных разуплотнений, скрытых полостей, трещин или протечек), то очистка данных может привести к потере полезной информации.

На рисунке ниже показано сравнение разрезов удельного сопротивления, созданного без использования очистки данных (верхний разрез) и с применением очистки. Разрезы созданы по результатам анализа BSEF георадиолокационного профиля, который пересекает русло пересохшего ручья. Применение очистки данных позволило точнее локализовать на разрезе область влажного грунта с пониженным удельным сопротивлением, которая отображается синим цветом, а также положение границы между рыхлыми отложениями и плотным грунтом на глубинах от 4 метров и ниже.



Установка пороговых значений для очистки результатов анализа BSEF по критерию повторяемости выполняется на панелях Permittivity – Frequency Data Cleaning, Permittivity – Bandwidth Data Cleaning, Permittivity – Q-factor Data Cleaning и Permittivity – Probability Data Cleaning.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



 Панель Permittivity – Frequency Data Cleaning используется для очистки данных по критерию повторяемости значений пары базовых атрибутов [ɛ' f].

 Панель Permittivity – Bandwidth Data Cleaning предназначена для очистки данных по критерию повторяемости значений пары базовых атрибутов [ε' Δf].

 Панель Permittivity – Q-factor Data Cleaning позволяет настраивать очистку по критерию повторяемости значений пары атрибутов [ε' Q].

 Панель Permittivity – Probability Data Cleaning используется для очистки по критерию повторяемости значений пары атрибутов [ε' P].

По умолчанию панели очистки скрыты и могут быть отображены или скрыты через пункт меню Add Repeatability Data Cleaning Panels в группе меню Section. При активации панели загружаются в левую группу вкладок, перед панелями гистограмм базовых атрибутов.

Каждая панель содержит однотипные элементы управления и визуализации данных. Для отображения карты повторяемости значений пары базовых атрибутов используется график, где:

 горизонтальная ось показывает значения действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости є';

 вертикальная ось показывает значения второго атрибута в паре.

Яркость точки пересечения значений на карте повторяемости указывает на количество повторений данной пары значений в массиве данных. Чем ярче точка пересечения, тем больше повторений.

Значения количества повторений на карте повторяемости нормированы и находятся в диапазоне от 0 до 1. Текущее пороговое значение отображается в поле ввода в правом нижнем углу панели, справа от кнопки **Apply Thr**. При загрузке панели пороговое значение равно нулю. Нулевой порог отключает очистку данных, а пороговое значение 1 не

используется, так как оно исключает все точки из расчёта разреза.

Очистку данных можно выполнять по одной или нескольким парам атрибутов. Для этого установите пороговые значения на нужных панелях и нажмите **Apply Thr** на любой панели. Эта кнопка запускает единый процесс очистки с учётом всех заданных порогов.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Слайдер над графиком карты повторяемости — удобный инструмент для настройки порога. Крайнее левое положение слайдера соответствует нулевому порогу. При перемещении слайдера текущее значение порога отображается в поле ввода, а точки ниже порога окрашиваются в сине-зелёный цвет. Порог можно также установить, введя значение прямо в поле ввода.

Нажатием кнопки **Apply Thr** запускается процесс очистки данных согласно установленным порогам, и на основе очищенных данных пересчитываются и обновляются гистограммы базовых атрибутов и графики корректирующих

функций.

Для отмены очистки и возврата к исходным данным установите нулевые значения порога на всех панелях (либо переместите все слайдеры в крайнее левое положение) и нажмите **Apply Thr**.

В левой нижней части панели очистки находятся элементы управления точностью округления значений атрибута ϵ' , которые определяют детализацию карты повторяемости. Пользователь на любой панели задаёт значение округление в поле ввода правее кнопки **Round** и нажимает эту кнопку для применения значения округления для карты повторяемости на всех панелях. С уменьшением значения точности детализация возрастает, но избыточная детализация может снизить эффективность очистки. Обычно используется точность от 0.01 до 1.

На рисунке ниже показано окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ для экрана Full HD. Вертикальный ряд панелей очистки данных размещён слева.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Отмена результатов очистки и ограничений базовых атрибутов



Кнопки отмены очистки данных и ограничения диапазона базовых атрибутов (более подробно об ограничении см. в разделе <Ограничение диапазона базовых атрибутов>)

расположены на панели Cancel Actions, которая размещается в левой группе вкладок и содержит следующие кнопки:

- Range limit кнопка отмены ограничения диапазона всех базовых атрибутов. Дублирует кнопку Max Rng All, расположенную на панели Permittivity;
- Data cleaning кнопка отмены результатов очистки данных. Эту кнопку эффективно использовать в том случае, когда нужно возвратиться к исходным результатам анализа BSEF после применения более, чем одного метода очистки. Вместо того, чтобы для каждого метода использовать свою кнопку отмены, удобно воспользоваться данной кнопкой;
- Cancel all кнопка отмены результатов очистки данных и ограничений диапазона базовых атрибутов одним нажатием кнопки.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Визуализация результатов анализа BSEF



Для визуальной оценки результатов анализа поля обратного рассеяния и особенностей подповерхностной среды, а также для выбора диапазона ограничения базовых атрибутов, если таковой необходим, служат гистограммы базовых атрибутов.

Гистограмма показывает распределение количества точек анализа поля по значениям атрибута. Чем выше элемент гистограммы, тем больше точек анализа поля с этим значением атрибута содержатся в результатах анализа BSEF.

Гистограммы базовых атрибутов размещены на следующих панелях:

- Панель Permittivity содержит гистограмму базового атрибута є' (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости). Если отмечен флажок Smooth на данной панели, то базовые атрибуты используются после процедуры сглаживания. В противном случае базовые атрибуты используются в исходном виде, без сглаживания.
- Панель Central Frequency (Average Frequency, если кнопкапереключатель на этой панели WAFreq находится в нажатом положении) содержит гистограмму базового атрибута f (центральная или средневзвешенная частота спектра отражённого сигнала – в зависимости от того, в не нажатом или нажатом состоянии находится кнопка-переключатель WAFreq).
- Панель Bandwidth содержит гистограмму базового атрибута Δf (ширина спектра отражённого сигнала).
- Панель **Q-factor** содержит гистограмму базового атрибута **Q** (отношение центральной частоты к ширине спектра отражённого сигнала).
- Панель Probability содержит гистограмму базового атрибута Р (вероятность принадлежности точки анализа поля к дифракционной компоненте поля обратного рассеяния).

Элементы управления, которые размещены в нижней части панелей.

Кнопка **Range** запускает процесс ограничения диапазона атрибута в соответствии с заданными значениями в окнах ввода, расположенных правее этой кнопки. В ближайшее к кнопке **Range** окно вводится значение нижней границы диапазона, в соседнее окно вводится значение верхней границы диапазона. Кнопка **Max Range** устанавливает максимальный диапазон атрибута.

На панели гистограммы атрибута **Permittivity** расположена кнопку **Max Rng All**. С помощью этой кнопки устанавливается максимальный диапазон атрибутов сразу для всех гистограмм.

На панели гистограммы **Central Frequency** расположена кнопка-переключатель **WAFreq** (Weighted Average Frequency). Функция данной кнопки описана в разделе <Замена центральной частоты на средневзвешенную для расчёта КФ>.

Информация о параметрах элемента гистограммы

Чтобы отобразить параметры элемента гистограммы, следует навести указатель мыши на этот элемент и щёлкнуть правой кнопкой мыши. После щелчка рядом с элементом гистограммы отобразится всплывающее окно, содержащее информацию о значении атрибута и количестве точек анализа с этим значением. Чтобы удалить это окно, следует по этому окну щёлкнуть левой кнопкой мыши.

Изменение масштаба гистограммы по вертикали

В случае, когда элемент гистограммы достаточно мал, чтобы щёлкнуть по нему мышью для отображения информации по этому элементу, для более лёгкого доступа к элементу можно увеличить масштаб гистограммы в нижней её части. Для этого следует переместить указатель мыши в область гистограммы, но не на элемент гистограммы, и один раз щёлкнуть левой кнопкой мыши. В результате масштаб элементов гистограммы в нижней части увеличится. Чем ближе к нижней границе гистограммы находится указатель мыши во время щелчка, тем крупнее масштаб нижней части гистограммы. Чтобы осуществить возврат к исходному масштабу, следует выполнить двойной щелчок левой кнопкой мыши в области гистограммы.

Ограничение диапазона базовых атрибутов

Ограничение диапазона базовых атрибутов - это ещё один, помимо корректирующей функции, способ минимизации ошибок анализа поля обратного рассеяния. Если в случае применения КФ количество опорных точек разреза не изменяется, то в результате ограничения диапазона происходит исключение из множества опорных точек разреза тех точек, значения ограничиваемого атрибута которых выходят за пределы установленного диапазона.

Ограничение базовых атрибутов применяется в том случае, когда разрез, созданный без такового ограничения, имеет хаотичный характер расположения структурных элементов или не соответствует априорной информации об исследуемом объекте. Пользователь принимает решение об ограничении по каждому из базовых атрибутов и о выборе диапазона ограничения, опираясь на априорную информацию об исследуемом объекте.

Информация о количестве точек анализа поля после ограничения и их доле от общего количества точек анализа отображается в строке сообщений:

Number of measuring points after limitation: 9198 (25.4 % of total)

Для определения границ диапазона ограничения используются окна ввода, расположенные на панели гистограммы правее кнопки **Range**. Ближнее к кнопке **Range** окно используется для ввода нижней границы диапазона, окно правее служит для ввода верхней границы диапазона. Для применения заданного диапазона нужно нажать кнопку **Range**.

Для отмены ограничения какого-либо базового атрибута и возврата к его полному диапазону следует нажать кнопку **Max Range**, расположенную в правом нижнем углу панели гистограммы этого атрибута. Возврат к полному диапазону сразу для всех базовых атрибутов осуществляется кнопкой **Max Rng All** на панели гистограммы **Permittivity**.

Ниже представлены рекомендации по ограничению базовых атрибутов:

ε' – ограничение применяется редко. Вместо ограничения диапазона данного атрибута рекомендуется, при необходимости, задавать диапазон ε' в группе параметров Primary attribute range на панели Primary Attribute (более подробно см. в разделе <Группы параметров Primary attribute range и Attribute range>). Значения диапазона ε' определяются пользователем на основе априорной информации об исследуемой среде, с учётом

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

температурно-влажностных условий на момент записи георадиолокационного профиля, или на основе информации о похожем объекте в таких же погодных условиях. Ориентировочные значения **є'** представлены в разделе <Справочная таблица значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости в зависимости от влажности>;

- f ограничение применяется редко;
- Δf ограничение применяется редко;
- Q ограничение иногда применяется, когда использование корректирующей функции отключено (более подробно см. раздел <Панель Corrective Function Options>). В этом случае рекомендуется изменять значение только нижней границы диапазона, оставляя верхнюю границу диапазона без изменения. Значение нижней границы диапазона устанавливается так, чтобы оно не превышало значения Q для наиболее высокого элемента гистограммы Q-factor. Ограничение данного атрибута может осуществляться совместно с ограничением атрибута Р;
- Р ограничение иногда применяется, когда использование корректирующей функции отключено (более подробно см. раздел <Панель Corrective Function Options>). В этом случае, к улучшению результата расчёта разреза иногда приводит установка значения нижней границы диапазона атрибута **Probability** в пределах от 70 85, оставляя границу верхнего диапазона, равную 100, неизменной. Ограничение данного атрибута может осуществляться совместно с ограничением атрибута **Q**.

Настройки корректирующей функции

Определение корректирующей функции (КФ) дано в разделе <Терминология>. В текущем разделе приведено описание настроек КФ.

Панели графиков КФ находятся в левой группе вкладок и открываются при загрузке георадиолокационного профиля, содержащего результаты анализа BSEF, или по окончании этого анализа. Панели на вкладке размещаются в вертикальном направлении, одна за другой и имеют следующие наименования:

- Corrective Function: Permittivity Frequency зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от центральной или средневзвешенной частоты спектра отражённых сигналов є'(f). Если кнопка-переключатель на панели гистограммы базового атрибута частоты WAFreq находится в нажатом состоянии, то на панели Corrective Function: Permittivity Frequency отображается зависимость диэлектрической проницаемости от средневзвешенной частоты, если кнопка WAFreq отжата (по умолчанию), то отображается зависимость от центральной частоты;
- Corrective Function: Permittivity Bandwidth зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от ширины спектра отражённых сигналов ε'(Δf);
- Corrective Function: Permittivity Q-factor зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от отношения центральной частоты к ширине спектра отражённых сигналов є'(Q);
- Corrective Function: Permittivity Probability зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от вероятности принадлежности точки анализа поля к дифракционной компоненте поля обратного рассеяния ε'(P).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Панели КФ имеют однотипные элементы управления. В левом нижнем углу панели КФ расположен флажок **Use this CF**. Данный флажок служит для выбора типа КФ и может быть отмечен только на одной из панелей КФ. Корректирующая функция, панели которой принадлежит отмеченный флажок, используется в процессе расчёта разреза. Зелёный цвет оси графика КФ свидетельствует о выборе данной корректирующей функции.

В правом нижнем углу панели КФ расположен выпадающий список, с помощью которого пользователь выбирает режим создания КФ – автоматический **Auto** или ручной **Manual**. Номера в названии КФ соответствуют вариантам КФ, литера **i** означает реверсивную КФ.

В режиме **Auto** варианты корректирующих функций формируются автоматически, на основе статистической обработки результатов анализа BSEF. В этом режиме КФ зависит от выбранных диапазонов базовых атрибутов и меняется вследствие изменения этих диапазонов (более подробно см. в <Ограничение диапазона базовых атрибутов>), а также в случае применения оптимизации данных анализа BSEF (более подробно см. в <Панель Optimization>).

В режиме **Manual** для формирования КФ используются показательные функции. Изменение параметров функций, из которых состоит КФ в данном режиме осуществляется с помощью слайдеров, которые располагаются по краям осей графика КФ и становятся доступными тогда, когда выбрана КФ в режиме **Manual** (более подробно см. в разделе <Настройка корректирующей функции в ручном режиме>).

Для отображения информации о значении атрибутов КФ в какойлибо точке области построения графика КФ, следует навести указатель мыши в эту точку и щёлкнуть правой кнопкой мыши. В результате отобразится всплывающее информационное окно со значением координат этой точки Х (атрибут, которому соответствует горизонтальная шкала графика КΦ) и Y (действительная часть комплексной относительной диэлектрической Чтобы проницаемости). скрыть

информационное окно, следует щёлкнуть левой кнопкой мыши по этому окну.

Выбор типа КФ флажком **Use this CF** и варианта корректирующей функции с помощью выпадающего списка, расположенном в правом нижнем углу панели КФ, осуществляется по принципу наибольшего соответствия результата расчёта разреза априорной информации об исследуемом объекте.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Настройка корректирующей функции в ручном режиме



Когда в выпадающем списке выбран режим КФ **Manual 1** или **Manual 2**, сверху и справа от окна графика КФ отображаются слайдеры настройки линии графика КФ.

Корректирующая функция в режиме **Manual 1** рассчитывается на основе экспоненты, в режиме **Manual 2** – на основе сигмоиды. Эти функции наибольшей мере подходят для отражения характера взаимосвязи параметров поля обратного рассеяния и электрофизических характеристик подповерхностной среды.

Вертикальный слайдер предназначен для изменения значения показателя степени функции, на основе которой формируется КФ, что приводит к изменению степени кривизны и направлению прогиба графика КФ.

Горизонтальный слайдер предназначен для горизонтального перемещения точки экстремума графика КФ. Слева от слайдера отображается значение атрибута, которому соответствует положение точки экстремума графика КФ на горизонтальной шкале. Это же значение на графике КФ показывает вертикальная

штриховая линия.

Кнопка, расположенная между горизонтальным и вертикальным слайдерами, служит в режиме **Manual 1** для выпрямления линии КФ, в режиме **Manual 2** для установки параметров сигмоиды по умолчанию.

При смене ручного режима создания КФ на автоматический, все изменения КФ, сделанные в ручном режиме сохраняются.

Замена центральной частоты на средневзвешенную для расчёта КФ

Панель гистограммы базового атрибута частоты содержит кнопку-переключатель **WAFreq** (Weighted Average Frequency). Когда данная кнопка находится в отжатом состоянии (по умолчанию), эта панель отображает гистограмму атрибута центральной частоты и называется **Central Frequency.** В этом случае на панели КФ **Corrective Function: Permittivity – Frequency** отображается зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от центральной частоты.

Когда кнопка-переключатель **WAFreq** находится в нажатом положении, панель гистограммы базового атрибута частоты имеет название **Weighted Average Frequency** отображает гистограмму средневзвешенной частоты. В этом случае на панели КФ **Corrective Function: Permittivity** – **Frequency** отображается зависимость действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от средневзвешенной частоты.

Производить замену центральной частоты на средневзвешенную рекомендуется в том случае, если разрез, созданный с использованием зависимости действительной части комплексной диэлектрической проницаемости от центральной частоты в качестве корректирующей функции, не соответствует априорной информации об исследуемом объекте.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Предварительный просмотр разрезов для выбора типа КФ

Для упрощения процесса выбора корректирующей функции служит опция предварительного просмотра разрезов основного атрибута **Real part of complex relative permittivity** (действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости), созданных в соответствии с различными типами корректирующей функции.

Пользователь, опираясь на априорную информацию или логику формирования подповерхностных слоёв исследуемого объекта, выбирает в окне предварительного просмотра подходящий вариант разреза. Корректирующая функция, использованная для его построения, затем применяется при создании разреза.

Для вызова окна предварительного просмотра выберите пункт меню **Corrective Function Result Preview** из группы меню **Section**.



Разрезы сгруппированы по количеству типов КФ: Permittivity – Frequency, Permittivity – Bandwidth, Permittivity – Q-factor и Permittivity – Probability. Каждая группа занимает один горизонтальный ряд. Название каждой группы КФ расположено слева, в начале группы, а корректирующая функция указана над соответствующим разрезом. В нижней части окна отдельно отображается разрез, рассчитанный без КФ, отмеченный надписью Ignore CF.

После открытия окна предварительного просмотра начинается расчёт изображений разрезов, время расчёта зависит от размера георадиолокационного профиля. По мере готовности, разрезы появляются в окне предварительного просмотра. При создании разрезов учитываются текущие ограничения диапазона базовых атрибутов, а также применяются опции очистки BSEF. Сглаживание разрезов осуществляется в соответствии со значениями, указанными на панели **Primary Attribute**, в группе параметров **Smoothing: RF Y(smpl) X(m)**, более подробно см. в разделе <Группа параметров Smoothing RF Y(smpl) X(m)>.

Для экономии времени создания разреза и места расположения разрезов, в окне предварительно просмотра не представлены разрезы, рассчитанные в соответствии инвертированными корректирующими функциями, которые в выпадающих списках выбора КФ отмечены литерой і.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Такие разрезы выглядят так же, как и разрезы, созданные с помощью не инвертированных КФ, только с реверсивной цветовой схемой. Чтобы увидеть, как выглядят разрезы с инвертированной КФ, нажмите кнопку **Reverse Colormap**. Для возврата к не реверсированной цветовой схеме повторно нажмите кнопку **Reverse Colormap** или воспользоваться кнопкой возврата к исходной цветовой схеме **Initial Colormap**.

Для выбора корректирующей функции, щёлкните мышью наиболее подходящий вариант разреза в окне предварительного просмотра. Выбранный разрез выделяется зелёной рамкой. Для подтверждения выбора нажмите кнопку **Apply CF and Close**. Окно предварительного просмотра закроется, а корректирующая функция, в соответствии с которой был создан выбранный разрез, установится в настройках создания разреза. Для закрытия окна без применения КФ, нажмите кнопку **X** в правом верхнем углу.

Для выбора реверсивной КФ запомните тип и название КФ, например, **Permittivity – Frequency**, **Auto 2**, закройте окно предварительного просмотра, и вручную выберите эту КФ, только с литерой і. Для данного примера - на панели **Corrective Function: Permittivity – Frequency** выбрите в выпадающем списке пункт **Auto 2i**.

Для корректировки цветовой схемы разрезов, в левой части окна предварительного просмотра находится цветовая шкала с указателями фрагмента цветовой схемы (более подробно см. раздел <Редактирование цветовой схемы с помощью указателей>), выпадающий список для выбора цветовых схем и следующие кнопки управления цветовой схемой:

- Initial Colormap отмена всех изменений цветовой схемы;
- Reverse Colormap реверсирование цветовой схемы по вертикали;
- Invert Colormap установка негатива текущей цветовой схемы;
- Auto Contrast автоматический контраст для выделения малоконтрастных деталей.
 Расположена над цветовой шкалой. На рисунке ниже показан сравнение разрез до (слева) и после применения автоматического контраста:



Для сохранения цветовой схемы в файл gecmap нажмите Save Colormap (дублируется в меню Save Colormap из группы Colormap).

Для сохранения снимка окна предварительного просмотра используется кнопка **Save screenshot**, также доступная через пункт меню **Save screenshot** в группе **File**.
Параметры построения разреза

Настройка параметров построения разреза осуществляется на панелях Section, Attributes, Optimization, Corrective Function Options, Basis, Primary Attribute и на панели настроек атрибута, расположенной рядом с панелью Primary Attribute.

Название панели настроек атрибута, расположенной рядом с панелью **Primary Attribute**, состоит из имени атрибута разреза, выбранного из выпадающего списка на панели **Attributes**, если выбранный атрибут не является атрибутом **Real part of complex relative permittivity**. В противном случает данная панель имеет название **Not Used** (более подробно см. в разделе <Панель Attributes>).

Панели **Colormap**, **Extras** и **Filled Contour Plot** служат для настроек визуализации уже созданного разреза, но эти настройки могут применятся и на конечном этапе создания разреза, если отмечены соответствующие флажки на этих панелях.

Панели настроек параметров построения разреза загружаются в левую группу вкладок следом за КΦ гистограмм базовых атрибутов панелями при загрузке файла панелями и С расширением efd, георадиолокационного профиля содержащего результаты автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF. Когда загружается файл георадиолокационного профиля другого формата, или файл **efd**, не содержащий результаты анализа BSEF, левая группа вкладок, со всеми размещёнными на ней панелями, скрывается.

Далее представлено описание панелей настроек в порядке их размещения в левой группе вкладок.

Панель Section



Панель Section содержит следующие элементы управления:

• Lock rng — если данный флажок отмечен, то при загрузке файла профиля с результатами анализа BSEF, диапазон базовых атрибутов, установленный в

ходе обработки предыдущего георадиолокационного профиля с результатами анализа BSEF, не изменяется. В противном случае, устанавливаются максимальные значения диапазонов всех базовых атрибутов;

- Lock CF если данный флажок отмечен, то при загрузке файла профиля с результатами корректирующая для анализа BSEF, функция, рассчитанная предыдущего георадиолокационного профиля, не изменяется. В противном случае, КФ автоматически рассчитывается соответствии результатами BSEF В С анализа загружаемого георадиолокационного профиля. Данный флажок используется, когда необходимо применить одну и ту же корректирующую функцию для обработки нескольких георадиолокационных профилей;
- Lock smooth если данный флажок отмечен, то при загрузке файла георадиолокационного профиля с результатами анализа BSEF, установленные ранее значения размера окна сглаживания разреза по горизонтали не изменяются. В противном случае, размер окна сглаживания рассчитывается автоматически, исходя из протяжённости загружаемого георадиолокационного профиля;
- Load settings кнопка загрузки параметров построения разреза из формата geprm. Данную кнопку дублирует пункт меню Load Settings, расположенный в группе меню Section (более подробно см. в разделе <Сохранение и загрузка параметров построения разреза>);

- Save settings кнопка сохранения параметров построения разреза в формат geprm. Данную кнопку дублирует пункт меню Save Settings, расположенный в группе меню Section (более подробно см. в разделе <Сохранение и загрузка параметров построения разреза>);
- Save for 3D кнопка сохранения разреза в формат xzd, используемый для создания 3D сборки. Данную кнопку дублирует пункт меню Save Section in XZD, расположенный в группе меню Section (более подробно см. в разделе <Сохранение данных разреза в формат xzd>);
- Section кнопка запуска процесса построения разреза на основе результатов анализа BSEF уже загруженного в программу георадиолокационного профиля. Данную кнопку дублирует пункт меню Create Section, расположенный в группе меню Section (более подробно см. в разделе <Построение разреза>);
- 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. Более подробно о пакетном режиме см. в разделе <Построение разреза в пакетном режиме>;
- Save image кнопка сохранения разреза в графическом формате. Данную кнопку дублирует пункт меню Save in Graphic Format, расположенный в группе меню File. В результате нажатия данной кнопки, в нижнюю группу вкладок загружается панель настроек сохранения изображения разареза Save in Graphic Format (более подробно см. раздел <Сохранение изображения в графическом формате>);

Панель Attributes



Панель Attributes содержит выпадающий список выбора атрибута разреза (более подробно см. в разделе <Перечень атрибутов разреза>), флажок инвертирования значений атрибута разреза и окно ввода дополнительного параметра

для атрибутов Frequency interval, Complex attribute и Complex attribute excluding amplitudes.

По умолчанию, установлен выбор атрибута **Real part of complex relative permittivity**, как наиболее часто используемого. Когда выбран данный атрибут, над раскрывающимся списком появляется надпись **PRIMARY ATTRIBUTE** – т.е. основной атрибут. При выборе любого другого атрибута надпись **PRIMARY ATTRIBUTE** скрыта. Настройки разреза атрибута **Real part of complex relative permittivity** размещены на отдельной панели **Primary Attribute** (аналогичные настройки для остальных атрибутов содержатся на панели, следующей за панелью **Primary Attribute** и имеющей имя выбранного атрибута).

Основным атрибутом **Real part of complex relative permittivity** назван по той причине, что разрез данного атрибута рассчитывается во всех случаях, вне зависимости от того, какой атрибут выбран. По данным разреза **Real part of complex relative permittivity** производится расчёт скоростной модели подповерхностной среды, на основании которой, в процессе формирования разреза осуществляется коррекция положения структурных элементов разреза по глубине.

Настройки разреза атрибута, который не является атрибутом **Real part of complex relative** permittivity, содержатся на панели, следующей за панелью Primary Attribute. Когда выбран атрибут **Real part of complex relative permittivity**, рамка этой панели имеет красный цвет и название панели **Not Used** (не используется). При выборе другого атрибута, рамка этой панели приобретает зелёный цвет и название панели, идентичное названию выбранного атрибута.

Таким образом, если выбран основной атрибут Real part of complex relative permittivity, то для настройки создания разреза нужно использовать только панель Primary Attribute, а если выбран

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

любой другой атрибут, то для настройки разреза нужно использовать и панель **Primary Attribute**, и панель с аналогичным настройками, имеющую имя выбранного атрибута. Чаще всего одноимённые настройки на обеих панелях устанавливаются одинаковыми.

Флажок Invert Attribute Value на панели Attributes служит для применения инвертирования значений атрибута разреза на конечном этапе расчёта разреза. В результате инвертирования зеркально меняется порядок значений атрибута разреза. В результате этого изменения максимальное значение атрибута разреза приобретает минимальное значение, минимальное значение становится максимальным (см. раздел <Инвертирование данных>).

Окно ввода на панели **Attributes** служит для определения дополнительного параметра следующим атрибутам:

- Frequency interval количество октав от заданной пользователем частоты до частоты на разрезе, измеряется в МГц (октавой называется частотный интервал, граничные значения которого отличаются в два раза). Окно для ввода значения частоты в МГц, относительно которой производятся вычисления, называется Frequency, MHz. Если пользователь оставил пустым окно ввода значения частоты, то расчёт производится от центральной частоты спектра сигналов всего георадиолокационного профиля;
- Complex attribute сложный атрибут. Рассчитывается как средняя величина значений всех атрибутов, полученных в ходе автоматизированного анализа BSEF, после нормализации значений этих атрибутов. Выравнивание значений данного атрибута регулируется параметром Equalize Factor, который, при выборе данного атрибута, становится доступным вместо параметра Frequency, MHz. Чем выше значение параметра Equalize Factor, тем резче переход от малых значений атрибута до максимальных;
- Complex attribute excluding amplitudes рассчитывается также, как и атрибут Complex attribute, но без учёта амплитудных атрибутов. Значения параметра для данного атрибута такое же, что и у атрибута Complex attribute.

Когда выбранные атрибуты не являются атрибутами **Frequency interval, Complex attribute** и **Complex attribute excluding amplitudes**, требующими определения дополнительного параметра, окно ввода параметра на панели **Attributes** не доступно для ввода.

Панель Corrective Function Options



Панель **Corrective Function Options** содержит элементы управления параметрами корректирующей функции. С помощью этих элементов можно отменить применение КФ для расчёта разреза или перейти в интервальный режим создания

КΦ.

Отмена использования КФ в процессе расчёта разреза осуществляется с помощью флажка **Ignore CF for section**. Когда флажок **Ignore CF for section** отмечен, КФ не используется. В этом случае, к улучшению результата расчёта разреза иногда приводит установка значения нижней границы диапазона базового атрибута **P** на панели **Probability** в пределах от 70 – 85, оставляя границу верхнего диапазона, равную 100, неизменной. Можно также увеличить значение нижней границы диапазона базового атрибута **Q** на панели **Q-factor** так, чтобы это значение не превышало значение этого атрибута для максимального элемента гистограммы **Q-factor**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Corrective Function Options			
Ignore CF for section	CF by whole length \checkmark		
Interval values in meters	CF by whole length		
	CF by equal spacing		
r Basis	CF by uneven spacing		

Выпадающий список на панели **Corrective Function Options** служит для перехода в интервальный режим расчёта корректирующей функции. В интервальном режиме КФ для каждого заданного интервала георадиолокационного профиля

рассчитывается своя корректирующая функция. Выпадающий список состоит из следующих пунктов:

- CF by whole length режим расчёта КФ для всего георадиолокационного профиля. Данный пункт установлен по умолчанию и используется в большинстве случаев;
- CF by equal spacing режим разбивки георадиолокационного профиля на одинаковые фрагменты;
- CF by uneven spacing режим разбивки георадиолокационного профиля на фрагменты различной длины.



Когда выбран пункт выпадающего списка **CF by equal spacing**, окно ввода на панели **Corrective Function Options** называется **Length of intervals**, **m** и служит для задания длины фрагмента георадиолокационного профиля в метрах. В соответствии с этим

значением георадиолокационный профиль разбивается на одинаковые фрагменты заданной протяжённости, и для каждого фрагмента рассчитывается своя КФ. Длина последнего фрагмента может быть меньше заданного в окне ввода **Length of intervals, m** значения, если длина георадиолокационного профиля не кратна этому значению.



Когда выбран пункт выпадающего списка **CF by uneven spacing**, окно ввода на панели **Corrective Function Options** называется **Interval border position**, **m** и служит для ввода значений границ фрагментов георадиолокационного профиля в метрах. В

соответствии с этими значениями георадиолокационный профиль разбивается на фрагменты, и для каждого фрагмента профиля рассчитывается своя КФ. Разделителем значений в окне ввода является пробел. Если введено единственное значение, то профиль разбивается на два фрагмента и заданное значения является границей между этими фрагментами.

Кнопка **Apply** служит для запуска процесса расчёта корректирующих функций для заданных фрагментов георадиолокационного профиля. После завершения расчёта отобразится всплывающее информационное окно с соответствующим сообщением.



В интервальном режиме КФ, вместо окна ввода значений фрагментов размещается выпадающий список выбора фрагмента Interval values in meters.

Гистограммы базовых атрибутов и графики корректирующих функций отображаются для того фрагмента, который выбран из выпадающего списка Interval values in meters. Для каждого

выбранного из списка фрагмента можно устанавливать свои ограничения базовых атрибутов и свой тип и вариант корректирующих функций. Или отменить использование КФ для выбранного фрагмента. На изображении георадиолокационного профиля, на вкладке **GPR Profile**, границы выбранного фрагмента выделяются рамкой голубого цвета.

Выход из интервального режима КФ и возврат к корректирующей функции, рассчитанной для всего георадиолокационного профиля, осуществляется с помощью кнопки **Return**, которая в интервальном режиме КФ отображается на месте кнопки **Apply**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Панель Basis – прореживание сетки разреза и ввод поправок за рельеф



На панели **Basis** размещены элементы управления базовыми параметрами разреза – плотностью и формой сетки разреза.

Плотность сетки разреза определяется параметрами Decimate section grid by Y X, times. С помощью выпадающего списка,

расположенного левее, задаётся степень прореживания сетки разреза по вертикали, с помощью выпадающего списка, расположенного правее, задаётся степень прореживания сетки разреза по горизонтали.

По умолчанию, установлено прореживание сетки разреза по вертикали и горизонтали в два раза. Прореживание с высокими значениями 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.

Ниже показано сравнение результатов создания разреза с различными значениями прореживания. Количество точек анализа поля для георадиолокационного профиля, на основе анализа BSEF которого рассчитаны разрезы, составляет около 20 тысяч. Как видно из представленного сравнения, даже заметное уменьшение количества опорных точек в 64 раза не приводит к значительному снижению информативности разреза. Высокие значения прореживания сетки разреза дают результат, схожий с НЧ фильтрацией изображения, в результате которого исчезают мелкие детали и элементы разреза становятся более целостными, а время расчёта разреза при этом уменьшается.



Прореживание по горизонтали и вертикали в 2 раза. Количество опорных точек уменьшено в 4 раза.



Прореживание по горизонтали и вертикали в 4 раза. Количество опорных точек уменьшено в 16 раз.



Прореживание по горизонтали и вертикали в 8 раз. Количество опорных точек уменьшено в 64 раза.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

	A	В	C 🗖
1	0	133	
2	5	135	
3	10	134	
4	20	132	E
5	30	135	
6	35	139	
7	40	141	
8	45	144	
9	50	145	
10			
4.4			

Коррекция формы сетки разреза осуществляется с помощью ввода данных о рельефе местности в формате файла электронных таблиц **MS EXCEL** с расширением **xls** или **xlsx**. Таблица данных рельефа в формате **MS EXCEL** состоит из двух столбцов. Столбец **A** – расстояния от начала профиля в метрах, столбец **B** – значения высот в метрах. Также, для введения поправок за рельеф можно загружать данные в формате **gexyz**. Более подробно об этом формате см. в

разделе <Создание 3D сборки разрезов по координатам XYZ>.

Для загрузки таблицы данных рельефа служит кнопка Load altitudes. После того, как данные рельефа загружены, кнопка Apply, расположенная слева от кнопки Load altitudes, меняет цвет с серого цвета на оранжевый. Кнопкой Apply запускается процесс создания разреза с поправкой за рельеф, результаты которого размещаются на вкладке Terrain Correction в верхней группе вкладок.

Когда отмечен флажок **Terrain correction** на панели **Basis**, то в результате нажатия кнопки **Section** на панели **Section**, создаётся два разреза – без поправки и с поправкой за рельеф. На рисунке ниже показаны верхняя группа вкладок с визуализацией разреза. Слева – разрез без поправок за рельеф, справа – с введёнными поправками:



Панель Primary Attribute и панель для настройки разрезов других атрибутов

- Thindry Autobace		
Smoothing: RF Y(smpl) X(m)	80	20
Start time of change with depth	0	
Attribute values as depth increases	As is	~
IQR-based data correction	7	0.01
Primary attribute range		
Not Used		
Smoothing: RF Y(smpl) X(m)	80	20
Smoothing: RF Y(smpl) X(m) 0 Start time of change with depth	80 0	20
Smoothing: RF Y(smpl) X(m) 0 Start time of change with depth Attribute values as depth increases	80 0 As is	20
Smoothing: RF Y(smpl) X(m) 0 Start time of change with depth Attribute values as depth increases IGR-based data correction	80 0 As is 7	20 0.01

Primary Attribute		
Smoothing: RF Y(smpl) X(m)	80	20
Start time of change with depth	0	
Attribute values as depth increases	As is	~
IQR-based data correction	7	0.01
Primary attribute range		
Q-factor		
Smoothing: RF Y(smpl) X(m)	80	20
Start time of change with depth	0	
Attribute values as depth increases	As is	~
IQR-based data correction	7	0.01

Среди атрибутов, использующихся в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, атрибут действительно части комплексной диэлектрической проницаемости **Real part of complex relative permittivity**, является основным для построения разреза, потому что разрез данного атрибута рассчитывается всегда, вне зависимости от того, какой атрибут выбран.

В процессе создания разреза атрибута, на основе разреза **Real part** of complex relative permittivity производится расчёт скоростной модели подповерхностной среды. Данные скоростной модели используются в процессе создания разреза для коррекции положения структурных элементов этого разреза по глубине.

Элементы управления настройками создания разреза атрибута Real part of complex relative permittivity содержатся на панели Primary Attribute. Данная панель располагается в левой группе вкладок и всегда имеет рамку зелёного цвета.

Панель, которая располагается в левой группе вкладок следом за панелью **Primary Attribute**, содержит настройки создания разреза других атрибутов. Когда выбран атрибут **Real part of complex relative permittivity**, эта панель имеет название **Not Used** (не используется) и рамку красного цвета. Когда выбран другой атрибут, не являющийся атрибутом **Real part of complex relative permittivity**, эта панель имеет рамку зелёного цвета и название, идентичное выбранному атрибуту.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Таким образом, если выбран основной атрибут **Real part of complex relative permittivity**, то для настройки создания разреза нужно использовать только панель **Primary Attribute**, а если выбран любой другой атрибут, то для настройки разреза необходимо использовать и панель **Primary Attribute**, и панель с аналогичным настройками, имеющую имя выбранного атрибута. Чаще всего одноимённые настройки на обеих панелях устанавливаются одинаковыми.

На обеих панелях размещены следующие элементы управления созданием разреза:

Группа параметров Smoothing RF Y(smpl) X(m)

Smoothing: RF Y(smpl) X(m)

Данная группа параметров предназначена для ввода величины сглаживания разреза по вертикали и горизонтали **Y(smpl) X(m)**, а

также коэффициента изменения скорости величины сглаживания с возрастанием глубины **RF** (Rate Factor) в том случае, когда величина сглаживания задана в виде двух значений, разделённых дефисом.

15 Значение величины сглаживания разреза по горизонтали **X(m)**, измеряемое в метрах, вводится в окно, расположенное правее вертикальной оранжевой кнопки, которая размещается между окнами ввода параметров сглаживания по вертикали и горизонтали и служит для копирования значений сглаживания на соседнюю панель.

Если сглаживание по горизонтали задаётся в виде одиночного значения, то это значение сглаживания действует для всего диапазона глубин. Если сглаживание по горизонтали задаётся в виде двух значений, разделённых дефисом (например, 5-20), то величина сглаживания меняется с возрастанием глубины от значения, расположенного левее дефиса до значения, расположенного правее дефиса, в соответствии со значением параметра **RF**.

Величина сглаживания по вертикали **Y(smpl)**, измеряемое в точках (сэмплах), из которых состоит двумерных массив разреза, вводится в окно, расположенное левее вертикальной оранжевой кнопки. Также, как и в случае сглаживания по горизонтали, величину сглаживания по вертикали можно вводить как в виде одиночного значения, так и в виде двух значений, разделённых дефисом. В этом случае значение сглаживания по вертикали меняется с возрастанием глубины от значения, расположенного левее дефиса до значения, расположенного правее дефиса, в соответствии со значением параметра **RF**.

Smoothing: RF Y(smpl) X(m)

Крайнее левое окно ввода в группе параметров Smoothing RF Y(smpl) X(m) служит для указания коэффициента скорости изменения

величины сглаживания с глубиной **RF** (Rate Factor). Параметр **RF** применяется в том случае, когда размеры окна сглаживания заданы в виде двух значений, разделённых дефисом. На графиках ниже показана зависимость величины сглаживания от значения **RF**. Вертикальная ось на графиках представляет шкалу глубин, горизонтальная ось показывает величину сглаживания.

Когда значение сглаживания, расположенное левее дефиса меньше значения сглаживания правее дефиса, например, 5 – 20, величина сглаживания меняется с глубиной следующим образом:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Когда значение сглаживания, расположенное левее дефиса больше значения сглаживания правее дефиса, например, 20 – 5, величина сглаживания меняется с глубиной следующим образом:



Рекомендуется вводить значение коэффициента **RF** в диапазоне от -3 до 3. Отсутствие значения или нулевое значение в окне ввода **RF** устанавливает линейный закон изменения размера окна сглаживания с возрастанием глубины.

С помощью знака и значения коэффициента **RF**, а также порядка значений диапазона в окне ввода размера окна сглаживания (по убыванию или по возрастанию), можно настроить сглаживание разреза в зависимости от задачи георадарного исследования.

Чаще всего, значения сглаживания задаются в виде одного числа. Изменение величины сглаживания по горизонтали применяется в случае, когда в верхней части разреза необходима высокая детализация, а в нижней части высокая детализации не позволяет целостно отобразить подповерхностные слои — например, при исследовании бетонной плиты, лежащей на грунте. Изменение величины сглаживания по вертикали применяется достаточно редко. Можно устанавливать изменение размера окна сглаживания разреза по вертикали и горизонтали одновременно.

Группа параметров Start time of change with depth

Start time of change with depth

Окно ввода, расположенное слева в данной группе параметров, предназначено для ввода значения времени в наносекундах.

Начиная с этого времени, для разреза начинает действовать правило изменения значений атрибута с возрастанием глубины. Это правило устанавливается с помощью выпадающего списка Attribute values as depth increases, который расположен под группой параметров Start time of change with depth.

Окно ввода, расположенное справа в группе параметров **Start time of change with depth**, предназначено для ввода значения атрибута, которое определяет дополнительное условие правила изменения значений атрибута с возрастанием глубины. Данное условие будет рассмотрено в описании правил, устанавливаемых с помощью выпадающего списка **Attribute values as depth increases**.

Параметр Attribute values as depth increase



С помощью данного выпадающего списка устанавливается правило изменения значений атрибута с возрастанием глубины. Данный список состоит из следующих пунктов:

- As is правила изменения значений атрибута с глубиной к разрезу не применяются. Выбор данного пункта установлен по умолчанию;
- Increase и Decrease значения атрибутов разреза, начиная со времени, заданном в левом окне ввода группы параметров Start time of change with depth, изменяются по следующим правилам, которые зависят от наличия значения в правом окне ввода группы параметров

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Start time of change with depth. Правила даны для пункта выпадающего списка Increase, в скобках указаны правила для пункта выпадающего списка Decrease:

- 1. Пустое правое окно ввода в группе параметров Start time of change with depth:
 - Если текущее значение атрибута разреза меньше (больше) значения, расположенного на один дискрет глубины выше, то текущее значение принимает значение предыдущего;
 - Если текущее значение больше (меньше) предыдущего значения, то текущее значение не изменяется. Таким образом, начиная с заданного времени, значение атрибута увеличивается (уменьшается) с глубиной.
- 2. Присутствует значение N в правом окне ввода в группе параметров Start time of change with depth:
 - Значения атрибута разреза, которые меньше (больше) значения N, изменяются на значение N;
 - Значения атрибута разреза, которые больше (меньше) значения N, остаются неизменными.

Установка правила Increase или Decrease помогает лучше визуализировать слой в нижней части разреза, если изначально на разрезе полноценно отображается только кровля этого слоя. Чтобы определить значение времени, с которого будет действовать правило Increase или Decrease, нужно создать разрез с выбранным пунктом As is из выпадающего списка Attribute values as depth increases, включить кнопкой +, расположенной в верхней части панели Axis на нижней группе вкладок, режим информационного курсора (подробнее см. раздел <Настройка шкал и режимов указателя мыши>) подвести курсор в нужное место разреза и ввести в левое окно ввода группы параметров Start time of change with depth значение информационного курсора Y, ns.

Далее, в качестве примера применения правила изменения значений атрибута с возрастанием глубины, представлены результаты георадиолокационного профилирования антенной 100 МГц с временной развёрткой 511 нс, выполненного целью определения мощности четвертичных песков.

На рисунке ниже слева показан георадиолокационный профиль, справа — разрез диэлектрической проницаемости, рассчитанный по результатам автоматизированного анализа BSEF данного профиля:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Кровля нижнего слоя грунта имеет вогнутую форму, это заметно и на разрезе, и на георадиолокационном профиле, а толща этого слоя на разрезе обладает фрагментарным характером, когда как, по априорной информации, данный слой достаточно однородный.



Чтобы показать эту однородность, для расчёта разреза было применено правило изменения значений атрибута с глубиной Increase начиная с времени 100 нс без дополнительного условия,

которое определяется в правом окне ввода группы параметров **Start time of change with depth**. Данный разрез показан на рисунке ниже слева.



На рисунке ниже справа показан результат применения правила Increase начиная с времени 100 нс, с учётом дополнительного условия, установленного в правом окне ввода группы параметров

Start time of change with depth, значение которого равно 9.1 (диапазон значений атрибута разреза 5 - 12).



В результате применения правила изменения значений атрибута с глубиной, отображение нижнего слоя на разрезе стало соответствовать априорной информации об этом слое.

Если для разных участков разреза необходимо установить различное время начала действия правила изменения значений атрибута с глубиной, тогда используется созданная вручную линия на разрезе, положение которой по вертикали определяет это время. Более подробно см. в разделе <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>.

Группа параметров IQR-based data correction

IQR-based data correction

Данная группа параметров предназначена для настройки корректировки значений атрибута с

использованием метода межквартильного размаха. Если флажок в данной группе параметров отмечен, то в процессе расчёта разреза анализируются сигналы георадиолокационного профиля, и по результатам этого анализа разрез разбивается на заданное количество кластеров.

Для каждого кластера вычисляются границы диапазона атрибута по формуле [Q1 - K* IQR, Q3 + K * IQR], где Q1 — первый квартиль, Q3 — третий квартиль, IQR — межквартильный размах, определяемый по формуле IQR=Q3–Q1, К — коэффициент ширины межквартильного размаха. Далее производится пересчёт значений атрибута внутри каждого кластера в соответствии с вычисленными значениями границ диапазона.

Количество кластеров задаётся в окне ввода, расположенном слева, а коэффициент ширины межквартильного размаха — в окне ввода, расположенном справа. На изображении группы

параметров IQR-based data correction количество кластеров установлено равным 7, а коэффициент ширины межквартильного размаха — 0.01.

Если на вкладке GPR Profile созданы границы слоёв (более подробно см. раздел < Пользовательские границы слоёв>) и в группе параметров **QR-based data correction** установлен флажок применения корректировки методом межквартильного размаха, то разрез будет разделён на кластеры на основании пользовательских границ слоёв. В этом случае автоматическое определение количества кластеров по заданному значению в окне ввода не используется.

Если границы слоёв содержат поля ввода условий (более подробно см. <Поле ввода условий построения разреза для границы слоя>), то корректировка значений атрибута для кластера с условием iqr N, где N – значение множителя ширины межквартильного размаха, будет выполняться с использованием значения множителя N, а не значения множителя из окна ввода.

На рисунках ниже показаны примеры разреза атрибута Q-factor в режиме наложения на георадиолокационный профиль с заданной прозрачностью. Слева находится разрез, созданный без применения корректировки методом межквартильного размаха, справа разрез, созданный с такой корректировкой, в которой количество кластеров установлено равным 7, а множитель ширины межквартильного размаха равен 0.1.

Георадиолокационный профиль имеет чёткие границы между слоями грунта. Режим полупрозрачного наложения позволяет визуализировать, что корректировка улучшает позиционирование элементов разреза в пределах слоёв исследуемого объекта.



Группы параметров Primary attribute range и Attribute range

Данные группы параметров используются корректировки диапазона атрибута разреза. Левое

окно служит для ввода значения нижней границы диапазона атрибута, правое окно используется для ввода верхней границы диапазона атрибута. Отмеченный флажок в данных группах параметров служит для применения корректировки диапазона атрибута разреза в процессе расчёта разреза.

Attribute range

Primary attribute range

В группе параметров Attribute range кнопка ok служит корректировки для диапазона атрибута vжe

созданного разреза без повторного создания разреза. Кнопка **X** в группе параметров **Attribute range** используется для возврата к начальным значениям атрибута, если эти значения были изменены с помощью кнопки ок.

Для основного атрибута Real part of complex relative permittivity корректировка диапазона возможна только путём создания разреза заново, с отмеченным флажком группы параметров Primary attribute range.

для

Построение разреза

Чтобы создать разрез на основе результатов анализа BSEF выполните следующие действия:

- 1. Загрузите файл георадиолокационного профиля в формате efd, содержащего результаты автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF (более подробно см. в разделе <Загрузка файла профиля>);
- 2. Выберите пункт Real part of complex relative permittivity из выпадающего списка на панели Attribute;
- С помощью кнопки Section на панели Section запустите процесс расчёта разреза с настройками по умолчанию. Сообщение об окончании процесса расчёт разреза отобразиться в всплывающем информационном окне. Созданный разрез размещается на вкладке Section верхней группы вкладок;
- 4. Выполните настройки визуализации разреза. Более подробно см. в разделе <Параметры визуализации разреза>;
- 5. Если расположение структурных элементов разреза и значения атрибута этих элементов не противоречат априорной информации об исследуемом объекте или аналогичном объекте в похожих, на момент записи георадиолокационного профиля, температурно-влажностных условиях, то процесс создания разреза можно считать завершённым. В противном случае требуется корректировка параметров создания разреза.

Корректировка параметров создания разреза

Корректировка параметров, влияющих на качество разреза, может осуществляться перед выполнением анализа BSEF (более подробно см. <Настройка параметра Iteration>), перед созданием разреза (более подробно см. <Выбор атрибута разреза> <Настройка КФ> <Настройка оптимизации результатов анализа BSEF> <Настройка сглаживания разреза>), и после создания разреза (более подробно см. <Параметры визуализации разреза> <Управление цветовой схемой разреза>).

Если георадиолокационный профиль содержит несколько тысяч георадиолокационных трасс, то для ускорения процесса подбора параметров, рекомендуется увеличить степень прореживания сетки разреза, путём увеличения значений в выпадающих списках группы параметров **Decimate** section grid by Y X, times на панели **Basis**.

Настройка параметра Iteration

По умолчанию, параметр автоматизированного анализа BSEF **Iteration**, который расположен на панели **ABSEF**, равен 3 (более подробно см. в раздел <Анализ BSEF и сохранение результатов анализа>). Если автоматизированный анализ BSEF был проведён с параметром **Iteration** = 3 и настройки создания разреза не приводят к положительному результату, то рекомендуется сделать копию обрабатываемого георадиолокационного профиля и провести анализ BSEF с параметром Iteration = 1, после чего настроить параметры создания разреза.

Выбор атрибута разреза

Описание атрибутов представлено в разделе <Перечень атрибутов разреза>. Наиболее часто рассчитываются разрезы атрибутов Real part of complex relative permittivity, Central frequency, Weighted average frequency, Q-factor, Robust Q-factor, Resistivity, Spectral flatness, Damping rate. Если пользователь испытывает затруднение в выборе атрибута, рекомендуется создать разрезы нескольких атрибутов и сохранить изображения этих разрезов в графическом формате. В результате анализа изображений разрезов, для дальнейшего применения выбирается тот атрибут,

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

разрез которого в наибольшей степени соответствует априорной информации об исследуемой среде. Если априорная информация отсутствует, рекомендуется использовать информацию об аналогичных объектах исследования, находящихся в похожих температурно-влажностных условиях.

Настройка КФ

Подбор вида корректирующей функции и решение о её использовании — это важный этап создания разреза.

В первую очередь рекомендуется принять решение об использовании КФ. Для этого флажком **Ignore CF for section** на панели **Corrective Function Options** отключите КФ и создайте разрез. Сравните результаты создания разреза с КФ и без КФ. Если результат создания разреза без КФ не удовлетворительный, попробуйте, при отключённой КФ, установить границы базового атрибута Probability на панели гистограммы **Probability** в диапазоне от 70 – 80 до 100, примените установленный диапазон с помощью кнопки **Range** на этой панели, и создайте разрез. Также попробуйте установить нижнюю границу диапазона базового атрибута Q-factor на панели гистограммы **Q-factor** в пределах от 2-2.5, оставляя верхнюю границу неизменной. Если данные действия не приводят к положительному результату, кнопкой **Max Rng All** на панели гистограммы **Permittivity** установите максимальные диапазоны базовых атрибутов, и вернитесь к режиму использования КФ для расчёта разреза, сняв выбор флажка **Ignore CF for section** на панели **Corrective Function Options**.

Установкой флажка Use this CF на панели КФ Corrective Function: Permittivity – Frequency выберите этот, наиболее часто используемый, тип корректирующей функции. Из раскрывающегося списка, расположенного в правом нижнем углу панели Corrective Function: Permittivity – Frequency выберите пункт Manual 1, после чего нажмите кнопку , которая расположена в правом верхнем углу окна графика КФ, между слайдерами управления формой графика КФ. В результате график КФ примет вид прямой наклонной линии, а ползунок вертикального слайдера примет серединное положение. Кнопкой Section на панели Section запустите расчёт разреза с данной КФ и оцените результат.

Создайте ещё два варианта разреза - когда ползунок вертикального слайдера находится примерно на расстоянии 1/3 от своего нижнего положения и на расстоянии 1/3 от своего верхнего положения. Выберите из этих трёх вариантов ту корректирующую функцию, применение которой дало результат, в наибольшей степени соответствующий априорной информации об исследуемом объекте. Если результат удовлетворительный, но значения атрибута разреза инвертированы, выберите из выпадающего списка пункт **Manual 1 i** и снова запустите процесс расчёта разреза.

Установите ползунок горизонтального слайдера так, чтобы экстремум графика КФ примерно соответствовал значению частоты наиболее высокого элемента гистограммы на панели **Central Frequency** и создайте разрез. Переместите ползунок горизонтального слайдера влево, в середину диапазона, ограниченного началом координат графика КФ и значением частоты наиболее высокого элемента гистограммы на панели **Central Frequency**, после чего создайте разрез. Сравните результаты и выберите то положение горизонтального слайдера, которое даёт наилучший результат создания разреза. С помощью небольших перемещений ползунков обоих слайдеров с последующим созданием разрезов, уточните оптимальные настройки слайдеров.

Если настройки КФ в режиме **Manual 1** не привели к удовлетворительному результату, используйте другие виды КФ из раскрывающегося списка вида КФ или смените тип КФ с помощью флажка **Use this CF** на панелях КФ. В том случае, когда используется тип КФ **Corrective Function: Permittivity** – **Frequency**, можно попробовать заменить центральную частоту на средневзвешенную, переведя в нажатое положение кнопку-переключатель **WAFreq** на панели гистограммы частоты.

Настройка оптимизации результатов анализа BSEF

Описание настроек оптимизации результатов анализа BSEF представлено в разделе <Панель Optimization>. Оптимизацию рекомендуется применять в случае обработки результатов георадарного исследования горизонтально слоистых сред, например, дорожных одежд или строительных конструкций. Для принятия решения об использовании оптимизации нужно создать разрезы без применения оптимизации и с применением таковой, с настройками по умолчанию, и выбрать наилучший результат.

Настройка сглаживания разреза

Описание настроек сглаживания разреза дано в разделе <Группа параметров Smoothing RF Y(smpl) X(m)>. Для профилей, георадиолокационные трассы которых состоят из 512 точек, наиболее часто используемые вертикальные размеры окна сглаживания имеют значения 5, 20, 40 или 80 точек. Если обрабатываются профили, георадиолокационные трассы которых состоят из 1024 точек, значения вертикальных размеров окна сглаживания рекомендуется увеличить в два раза.

Когда установленное по умолчанию сглаживание разреза не приводит к удовлетворительному результату, для подбора оптимальных значений сглаживания нужно создать несколько разрезов с различными величинами сглаживания, и применять те значения, использование которых даёт наилучший результат.

Построение разреза в пакетном режиме

Пакетный режим — это выполнение однотипных действий для группы георадиолокационных профилей, файлы которых по очереди загружаются в программу и обрабатываются, после чего результат обработки сохраняется на жёсткий диск компьютера. Пакетный режим создания разрезов можно использовать для набора профилей, полученных в ходе георадарного профилирования одного, или нескольких однотипных объектов. Например, для обработки результатов площадного георадарного исследования.

Перед запуском процесса создания разрезов в пакетном режиме пользователь, на одном из георадиолокационных профилей, настраивает параметры создания и сохранения разреза, после чего запускает процесс пакетной обработки.

Для создания разрезов в пакетном режиме выполните следующие действия:

- 1. Откройте один из файлов георадиолокационного профиля в формате **efd** из набора профилей для пакетной обработки (более подробно см. в разделе <Загрузка файла профиля>);
- Настройте параметры создания разреза в соответствии с задачей георадиолокационного исследования. Описание настроек даны в разделах «Построение разреза на основе результатов анализа поля обратного рассеяния» и «Построение разреза»;
- 3. Настройте параметры визуализации разреза. Более подробно см. в разделе <Параметры визуализации разреза>;
- 4. Откройте панель настроек сохранения изображения Save in Graphic Format с помощью кнопки Save image на панели Section в левой группе вкладок, или с помощью пункта меню Save in Graphic Format, расположенного в группе меню File. Настройте на панели Save in Graphic Format параметры сохранения изображения разреза, более подробно см. в разделе <Сохранение изображения в графическом формате>;
- 5. Если для всех георадиолокационных профилей из набора нужно использовать одну и ту же корректирующую функцию, то отметьте флажок Lock CF на панели Section. В противном случае КФ будет рассчитываться заново для каждого загружаемого георадиолокационного профиля;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 6. Если необходимо, чтобы для каждого загружаемого профиля КФ рассчитывалась заново, но, при этом, заданные ограничения одного или нескольких базовых атрибутов не сбрасывались при загрузке следующего георадиолокационного профиля, то отметьте флажок Lock rng на панели Section, а с флажка Lock CF на панели Section снимите выбор;
- 7. Если необходимо, чтобы для всех загружаемых в пакетном режиме георадиолокационных профилей величина сглаживания по горизонтали была одинакова, оотметьте флажок Lock Smooth на панели Section. Если данный флажок не отмечен, горизонтальный размер окна сглаживания будет рассчитываться автоматически, в зависимости от длины загружаемого профиля. Значение вертикального размера окна сглаживания разреза не зависит от параметров загружаемого профиля;
- 8. Запустите процесс создания разрезов в пакетном режиме с помощью кнопки **Batch mode**, расположенной на панели **Section**.

После того, как пользователь нажмёт кнопку **Batch mode**, откроется окно выбора файлов с расширением **efd**. С помощью мыши нужно выбрать группу файлов и нажать кнопку **Открыть** в правом нижнем углу окна выбора файлов, в результате чего окно выбора файлов закроется, а выбранные файлы начнут поочерёдно загружаться в программу.

Для каждого загруженного профиля, в соответствии с установленными настройками, рассчитывается разрез атрибута, который автоматически сохраняется в графическом формате и в формате **xzd**, данные из которого используются для создания 3D сборки разрезов (более подробно см. в разделе <Сохранение данных разреза в формат xzd>). Имя сохраняемого в графическом формате файла разреза формируется из имени георадарного профиля и наименования атрибута разреза. Имя файла в формате **xzd** аналогично имени георадиолокационного профиля.

На время пакетной обработки рабочее окно программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ блокируется модальным окном информационной панели, которая отображает имя текущего обрабатываемого файла, а также количество обработанных и оставшихся для обработки файлов.

<u>Примечание:</u> если панель настроек сохранения изображения **Save in Graphic Format** перед выполнением пакетного создания разрезов не открыта, то после нажатия кнопки **Batch mode** панель **Save in Graphic Format** будет автоматически загружена с настройками по умолчанию.

Параметры визуализации разреза

После завершения процесса расчёта разреза, изображение разреза размещается на вкладке **Section** верхней группы вкладок, а если разрез создан с учётом поправки за рельеф, изображение разреза размещается на двух вкладках — на вкладке **Section** без поправки за рельеф и на вкладке **Terrain Correction** с поправкой за рельеф.

Пользователь может настроить параметры визуализации разреза, элементы управления которыми расположены на панелях **Colormap**, **Extras** и **Filled Contour Plot**. Эти панели размещены в левой группе вкладок. Также, элементы управления визуализацией разреза находятся в левом нижнем углу вкладок отображения разреза.

Пропорции сторон окна отображения разреза можно изменять с помощью слайдеров, расположенных на панели Size в нижней группе вкладок (более подробно см. в разделе <Панель Size>).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Панель Extras



На панели **Extras** размещены элементы управления параметрами визуализации разреза, которые могут быть применены как в процессе создания разреза, так и к уже созданному разрезу. Данная панель содержит следующие группы элементов управления:

Section opacity and shift by Y – выпадающий список в данной группе элементов управления определяет коэффициент прозрачности разреза при наложении его на изображение георадиолокационного профиля. Данную опцию можно применять как в процессе создания разреза, так и тогда, когда разрез уже создан. Значение данного параметра изменяется в пределах от 0 (разрез полностью прозрачен) до 1 (непрозрачный разрез). 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

Окно ввода в данной группе служит для указания величины сдвига элементов разреза в вертикальном направлении в процессе расчёта разреза. Если в этом есть необходимость, такой сдвиг используется для более точного позиционирования структурных элементов разреза по вертикали. Значение сдвига задаётся в точках двумерного массива разреза. Если введено положительное значение, то элементы разреза сдвигаются вверх на указанное количество точек, отрицательное значение приводит к сдвигу элементов разреза вниз на указанное количество точек. Когда в данном окне ввода значение отсутствует или равно нулю, то сдвиг при расчёте разреза не производится.

- Visible values range диапазон отображения атрибута разреза (более подробно в разделе <Диапазон отображения атрибута>). В состав данного параметра входят следующие элементы управления:
 - Окна ввода границ видимого диапазона значений атрибута разреза расположены справа от кнопки **ок**. В левое окно вводится значение атрибута, определяющее нижнюю границу видимого диапазона значений атрибута разреза. В правое окно вводится значение для верхней границы видимого диапазона;
 - ok данная кнопка служит для применения заданного диапазона отображения значений разреза. Области разреза, состоящие из значений атрибута, которые выходят за пределы установленных границ, не отображаются на разрезе;
 - х кнопка отмены ограничения видимости и возврата к полному диапазону отображения значений атрибута разреза;
 - Флажок активации режима ограничения диапазона видимости значений атрибута разреза. Если данный флажок установлен, то ограничение видимости значений атрибута в соответствии с заданным диапазоном производится в процессе расчёта разреза. Это удобно использовать, когда один и тот же диапазон видимости необходимо применить при создании разрезов в пакетном режиме.
- Rectangular segmentation сегментация разреза в виде прямоугольных блоков одинакового размера (более подробно – в разделе <Прямоугольная сегментация>). В состав данного параметра входят следующие элементы управления:

- Окна ввода размера прямоугольных 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;
- ok кнопка служит для запуска процесса прямоугольной сегментации уже созданного разреза. В результате, разрез визуализируется в виде набора прямоугольных сегментов одинакового размера;
- Флажок применения прямоугольной сегментации к разрезу. Если данный флажок установлен, то сегментация выполняется в процессе расчёта разреза;
- Rounding attribute values округление значений атрибута разреза (более подробно в разделе <Округление значений атрибута>). Данный параметр содержит следующие элементы управления:
 - Окно ввода значения точности округления расположено справа от кнопки **Apply**.
 Пользователь вводит значение точности округления и нажимает кнопку **Apply**, после чего значения разреза округляются;
 - Флажок активации режима округления разреза. Если данный флажок установлен, то значения разреза округляются в процессе создания разреза;
 - **х** данная кнопка служит для отмены округления значений атрибута разреза;
 - Аpply кнопка запуска процесса округления значений атрибута уже созданного разреза;
- Selective data deletion данная группа элементов управления служит для создания, с помощью мыши, прямоугольных областей на разрезе. Результаты анализа BSEF, находящиеся внутри этих областей, не используются в последующих расчётах разреза. Таким образом удаляются нежелательные элементы разреза (более подробно см. в разделе <Исключение заданной пользователем части данных из расчёта разреза>). В состав данной группы входят следующие элементы управления:
 - Флажок активации режима удаления данных. Если данный флажок установлен, то пользователь, с помощью мыши, может создать на разрезе одну или несколько областей удаления данных, которые отображаются на разрезе в виде прямоугольных рамок;
 - x с помощью данной кнопки производится удаление всех созданных пользователем областей удаления данных. Удаление конкретной области осуществляется щелчком правой кнопки мыши по рамке, ограничивающей эту область, и выбором пункта открывшегося контекстного меню Delete This Frame;
 - Save сохранение областей удаления данных в формат gedda для последующего использования;
 - Load загрузка областей удаления данных из файла формата gedda в область визуализации разреза;

Наложение разреза на георадиолокационный профиль

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена возможность наложения изображения разреза на волновую картину георадиолокационного профиля. Степень прозрачности разреза задаётся с помощью выпадающего списка из группы параметров Section opacity and shift by Y на панели Extras,

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

расположенной в левой группе вкладок. Чем меньше значение степени прозрачности, 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:



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



Прямоугольная сегментация

В режиме прямоугольной сегментации разрез представлен в виде прямоугольных сегментов одинакового размера, заданного группой параметров **Rectangular segmentation** на панели **Extras** в левой группе вкладок.

В окне, расположенном ближе к кнопке **оk**, вводится размер сегмента по вертикали в метрах. В следующем окне — размер сегмента по горизонтали в метрах. Кнопка **оk** служит для запуска процесса сегментации.

По завершении процесса сегментации разреза, автоматически отмечается флажок, который расположен слева от кнопки **ok**. Чтобы отменить сегментацию и вернуться к несегментированному разрезу, нужно снять выбор с этого флажка. Если данный флажок отмечен и в окнах ввода размеров сегмента присутствуют значения размера сегментов, то сегментация осуществляется в процессе создания разреза.

Прямоугольная сегментация позволяет более формально визуализировать разрез, представив исследуемую среду и объекты в её толще в виде блоков различного цвета. Цвет блока соответствует среднему значению атрибута разреза внутри блока. На рисунке ниже представлен разрез, полученный на основе результатов анализа BSEF георадиолокационного профиля, полученного 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 плита выглядит геометрически правильно. В толще плиты лучше выделяются сухие и влажные области, а под плитой - наиболее влажные участки грунта.

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 **Extras** в левой группе вкладок.

Кнопка **Apply** служит для запуска процесса округления. Чтобы вернуться к исходным, неокруглённым значениям разреза, нужно нажать кнопку **x**. Отмеченный флажок, расположенный левее кнопки **Apply**, случит для применения округления в процессе создания разреза.

На рисунках ниже показан разрез с различными значениями точности округления:



Исключение заданной пользователем части данных из расчёта разреза

Пользователь имеет возможность задать на разрезе одну или несколько прямоугольных областей для того, чтобы при последующем расчёте разреза, данные точек анализа поля (см в <Точка анализа поля>), координаты которых находятся внутри этих областей, не использовались. С помощью этой возможности, например, можно удалять краевые эффекты на разрезе. На рисунке ниже слева показан разреза до удаления заданных пользователем областей и, справа, после удаления. Области удаления на разрезе отображаются в виде чёрно-белых рамок.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Элементы управления созданием областей удаления данных находятся в группе Selective data deletion на панели Extras в левой группе вкладок. Режим создания областей удаления данных активируется с помощью флажка, расположенного в группе элементов управления Selective data deletion. Когда флажок установлен, пользователь получает возможность задавать на разрезе области удаления данных в виде прямоугольных рамок. Чтобы создать область удаления данных, необходимо поместить указатель мыши на разрез, нажать любую кнопку мыши и, не отпуская эту кнопку, двигать мышь по диагонали. В процессе перемещения мыши создаётся рамка, которая меняет размер в зависимости от положения указателя мыши. После того, как пользователь отпустит кнопку мыши, создание рамки завершится.

Если необходимо удалить рамку области, нужно навести указатель мыши на эту рамку, щёлкнуть правой кнопкой мыши и выбрать пункт всплывающего меню **Delete This Frame**.

Рамки областей удаления могут перекрывать друг друга. С помощью перекрытия рамок пользователь может создать область удаления данных сложной формы. После того, как все необходимые рамки созданы, пользователь запускает процесс создания разреза с помощью кнопки Section на панели Section или с помощью пункта меню Create Section в группе меню Section, расположенной на панели меню, в верхней части главного окна программы. При расчёте разреза, данные точек анализа поля, координаты которых попадают внутрь выделенных областей, не учитываются.

Selective data deletion

Если на вкладке визуализации разреза **Section** отображается разрез, созданный с учётом областей удаления данных, то

надпись **Selective data deletion** отображается на оранжевом фоне. Чтобы создать разрез без учёта областей удаления, необходимо нажатием кнопки **х** удалить все рамки областей удаления данных и снова запустить процесс создания разреза.

Данные о положении рамок на разрезе можно сохранить в файл с расширением gedda. Для этого служит кнопка Save в группе элементов управления Selective data deletion. Загрузка данных о положении рамок удаления областей из файла с расширением gedda осуществляется с помощью кнопки Load. В ходе загрузки файла gedda рамки областей, существующих на момент загрузки, удаляются, и создаются новые рамки, в соответствии с информацией из загружаемого файла.

Инвертирование данных

Установка флажка Invert attribute values на панели Attributes запускает процесс инвертирования значений атрибута разреза. Для возврата к исходным значениям разреза следует снять выбор с данного флажка. Если флажок Invert attribute values при построении разреза установлен, то значения разреза будут автоматически инвертированы в процессе расчёта разреза. На рисунке ниже показан пример инвертирования значений атрибута разреза. Слева - исходный разрез, справа – инвертированный:



Диапазон отображения атрибута

В режиме ограничения диапазона отображения, области разреза, состоящие из значений атрибута, выходящих за границы заданного диапазона, становятся прозрачными.

Настройка ограничения диапазона отображения производится в группе параметров Visible values range на панели Extras в левой группе вкладок.

Окна ввода границ диапазона расположены справа от кнопки **ok**. В окно, расположенном ближе к кнопке **ok**, вводится значение нижней границы диапазона отображения. В следующем окне вводится значение верхней границы диапазона. Кнопка **ok** запускает процесс ограничения диапазона отображения атрибута разреза. Для отмены ограничений и возврату к полному диапазону отображения служит кнопка **x**. Если отмечен флажок, расположенный слева от кнопки **ok**, то ограничение диапазона производится в процессе расчёте разреза.

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



<u>Примечание</u>: Если пользователю необходимо задать значение одной из границ диапазона минимальное или максимальное значение атрибута, то для этого 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).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

Filled Contour Plot			
Enable	Limiting of contours 100		
Auto step	Step of contours		
Label visible	Spacing, cm ok 10		
Label box	Font size ok 7		

Элементы управления параметрами контурного графика с заливкой расположены на панели Filled Contour Plot. Данная панель загружается автоматически при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании анализа. На панели Filled Contour Plot размещены следующие элементы управления:

- Enable флажок активации режима визуализации разреза в виде контурного графика;
- Limiting of contours порог допустимого количества контуров. Если при расчёте контуров их количество превысит данный порог, 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, когда пользователь задаёт столь малый шага контуров Contour step, при котором количество контуров таково, что их визуализация занимает неприемлемо длительное время;
- Auto step установка шага между контурами по умолчанию;
- Step of contours шаг между контурами. Кнопка ok слева от окна ввода значения шага запускает процесс расчёта контуров в соответствии со значением Step of contours;
- Label visible данный флажок включает отображение меток со значением атрибута разреза, на изолиниях. Метки размещается в разрыве изолинии;
- Spacing, cm расстояние между метками на изолинии в сантиметрах. Кнопка ok слева от окна ввода данного параметра, изменяет это расстояние в соответствии со значением Spacing, cm. Уменьшение этого значения приводит к увеличению количества меток на изолинии;
- Label box данный флажок включает отображение меток со значением атрибута разреза на изолинии в виде прямоугольника со светлым фоном. Применяется, когда значения атрибута на разрезе плохо читаются;
- Font size размер шрифта меток со значением атрибута разреза 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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

<u>Управление цветовой схемой разреза</u>



Цветовая схема разреза определяет соответствие цвета изображения значению атрибута разреза или элемента 3D сборки. Для отображения этого соответствия служит цветовая шкала. На вкладке визуализации разреза или элемента 3D сборки, интерактивное окно цветовой шкалы расположено вертикально, вдоль левого края вкладки.

Элементы управления цветовой схемой и параметрами цветовой

шкалы расположены на панели **Colormap**. Данная панель загружается в левую группу вкладок при загрузке профиля с результатами анализа BSEF, или по окончании этого анализа, а также в нижнюю группу вкладок в режиме 3D визуализации.

Также, изменять параметры цветовой схемы можно с помощью элементов управления, расположенных в левом нижнем углу вкладок визуализации разреза или элементов 3D сборки и взаимодействием мыши с интерактивным окном цветовой шкалы, которое расположено вдоль левого края вкладок визуализации.

Всякое изменение цветовой схемы и градуировки цветовой шкалы запоминается и доступно с помощью кнопок навигации по истории изменения цветовой шкалы, которые расположены в левой части нижнего ряда панели **Colormap**. В следующих разделах представлено описание управления цветовой схемой.

Выбор готовой цветовой схемы

Для выбора готовой цветовой схемы служит выпадающий список на панели **Colormap**. Выпадающий список содержит несколько десятков различных наименований готовых цветовых схем. Наиболее часто используемая цветовая схема - **jet**, которая установлена умолчанию.

Цветовая схема применяется сразу после её выбора ко всем вкладкам, содержащим окно цветовой шкалы. 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 осциллирующих сигналов георадиолокационного профиля.

Генератор случайной цветовой схемы

Для создания цветовой схемы с помощью генератора случайных чисел служит кнопка **Random** на панели **Colormap**. В результате нажатия данной кнопки случайным образом генерируется новая цветовая схема, которая сразу применяется к вкладкам визуализации. Из случайной цветовой схемы, как и из любой другой цветовой схемы, можно выделить нужный фрагмент для дальнейшего использования. Это можно сделать с помощью инструмента, вызываемого кнопкой

🖄, расположенной в левом нижнем углу вкладки визуализации (подробнее см. в разделе <Редактирование цветовой схемы с помощью указателей>).

Сохранение и загрузка цветовой схемы

Сохранение текущей цветовой схемы в файл с расширением gecmap выполняется с помощью пункта меню Save Colormap, принадлежащей группе меню Colormap.

Загрузка цветовой схемы из файла с расширением **gecmap** в программу выполняется с помощью пункта меню **Load Colormap** из группы меню **Colormap**. Загруженная цветовая схема автоматически

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

применяется ко всем вкладкам визуализации, которые поддерживают использование цветовых схем.

Редактирование цветовой схемы

Редактировать цветовую схему можно следующими способами:

- Кнопками, расположенными на панели Colormap;
- Инструментами, которые вызываются кнопками, расположенными в левом нижнем углу вкладок визуализации данных, поддерживающих использование цветовых схем;
- Взаимодействием мыши с интерактивным окном цветовой шкалы.

Далее представлена информация по каждому способу редактирования цветовой схемы.

Редактирование цветовой схемы с помощью кнопок на панели Colormap

Кнопка Витр

Кнопка **Витр** служит для наложения градиента серого цвета на цветовую схему разреза между отметками цветовой шкалы. В результате этого действия изображение разреза приобретает трёхмерно-сегментированный вид, где каждый сегмент отбрасывает тень на соседний сегмент, что приводит к наглядному выделению установленных отметками цветовой шкалы диапазонов атрибута на разрезе.

Кнопку **Витр** рекомендуется использовать для цветовых схем, имеющих невысокий цветовой контраст или состоящих из малого количества оттенков. Если цветовая схема создана с использованием кнопки **Bump**, то изменение шага отметок цветовой шкалы приводит к изменению размера сегментов на разрезе.

На рисунке ниже слева показан разрез без применения эффекта кнопки **Bump** к цветовой схеме, справа – разрез с применением этого эффекта:



Кнопка Mean

Кнопка **Mean** служит для усреднения участков цветовой схемы, заданных отметками цветовой шкалы. В результате усреднения разрез принимает сегментированный вид, хорошо выделяющий слои на участках разреза с плавным изменением атрибута.

Так же, как и кнопку **Bump**, кнопку **Mean** рекомендуется использовать для цветовых схем, имеющих невысокий цветовой контраст или состоящих из малого количества оттенков. Если цветовая схема

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

создана с использованием кнопки **Mean**, то изменение шага отметок цветовой шкалы приводит к изменению размера сегментов на разрезе.

На рисунке ниже слева показан разрез без применения эффекта кнопки **Mean** к цветовой схеме, справа – разрез с применением этого эффекта:



Кнопки эффекта изолиний на разрезе

Кнопки и предназначены для создания эффекта изолиний на разрезе. Кнопкой создаются изолинии белого цвета, кнопкой создаются изолинии чёрного цвета. Изолинии на разрезе проходят через значения отметок цветовой шкалы. Данные кнопки рекомендуется применять для цветовых схем, имеющих скачкообразные изменения цветовых оттенков. Например, цветовых схем, полученных в результате применения кнопок **Витр** или **Mean**. Каждое последующее нажатие кнопок и приводит к увеличению толщины изолиний.

На рисунке ниже слева показан разрез с применением к цветовой схеме эффекта кнопки **Mean**, справа – разрез с пятикратным применением кнопки **三** после эффекта кнопки **Mean**:



Применение кнопок 🖃 и 🚍 к цветовым схемам, где изменение цвета носит плавный характер, приводит заливке белым или чёрным цветом всей цветовой схемы и, соответственно, всего разреза. Это удобно использовать, когда в процессе создания цветовой схемы возникает необходимость в такой заливке. Например, нажатием кнопки 🗐 можно залить цветовую схему jet

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

белым цветом, затем одному из крайних значений цветовой схемы назначить какой-либо насыщенный цвет, после чего перемещением мыши по интерактивному окну цветовой шкалы создать плавный переход от назначенного оттенка к белому цвету (более подробно см. раздел <**Ошибка! Источник ссылки не найден.**>).

Кнопка Reverse

Кнопка **Reverse** предназначена для реверсирования цветовой схемы разреза. В результате этого действия цветовая схема разреза отражается по вертикали. На рисунке ниже слева показан разрез с цветовой схемой до применения реверсирования цветовой схемы, справа — после реверсирования.



Кнопка Invert

Кнопка **Invert** предназначена для инвертирования цветовой схемы разреза, в результате которого получается негатив цветовой схемы. На рисунке ниже слева показан разрез с цветовой схемой до инвертирования, справа – после инвертирования.



Кнопка Smooth

Кнопка **Smooth** предназначена для сглаживания цветовой схемы разреза. Данная кнопка применяется, если возникает необходимость получить цветовую схему с плавным характером изменения оттенков из цветовой схемы, имеющей резкие переходы цвета. Например, после применения усреднения участков цветовой схемы с помощью кнопки **Mean**. Каждое последующее нажатие кнопки **Smooth** приводит к увеличению степени сглаживания цветовой схемы.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Кнопка Pow

Кнопка **Роw** предназначена для преобразования цветовой схемы разреза методом вычитания из белой цветовой схемы возведённой в квадрат текущей цветовой схемы, с последующей нормализацией модуля результата этого вычитания. На рисунке ниже слева показан разрез с цветовой схемой до применения преобразования **Роw**, справа – после такого преобразования.



Кнопки перестановки компонентов RGB

Для перестановки компонентов RGB в цветовой схеме разреза служат кнопки . Двумерный массив цветовой схемы состоит из трёх столбцов. Первый столбец содержит значения интенсивности красного цвета R, второй столбец – интенсивности зелёного цвета G и третий столбец – интенсивности синего цвета B. На каждой кнопке показан порядок расположения столбцов двумерного массива цветовой схемы в результате нажатия этой кнопки. На рисунке ниже слева показан разрез с цветовой схемой **jet**, справа – тот же разрез после

нажатия кнопки 📕, в результате которого столбцы массива цветовой схемы, отвечающие за интенсивность красного и зелёного цвета поменялись местами.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Редактирование цветовой схемы с помощью инструментов на вкладке визуализации

Когда вкладка визуализации, расположенная в верхней группе вкладок, поддерживает использование цветовой схемы, вдоль левой стороны этой вкладки располагается интерактивное окно цветовой шкалы. В левом нижнем углу такой вкладки располагается группа элементов управления для вызова инструментов редактирования цветовой схемы разреза.



Далее представлена информация по каждому способу редактирования цветовой схемы с помощью этих инструментов.

Управление цветовым балансом и яркостью цветовой схемы



Панель управления цветовым балансом и яркостью цветовой схемы Color balance and brightness control вызывается с помощью кнопки которая расположена в левом нижнем углу вкладки визуализации. Эта

панель размещается в нижней части вкладки визуализации. Панель содержит слайдеры управления насыщенностью красной, зелёной и синей компонент цветовой схемы разреза. Цвета слайдеров соответствуют цвету компоненты, насыщенность которой изменяется слайдером. Левое положение ползунка слайдера соответствует нулевой насыщенности, правое положение устанавливает максимальную насыщенность цвета.

Слайдер белого цвета регулирует яркость цветовой схемы разреза. Левое положение ползунка слайдера соответствует нулевой яркости, т.е. чёрной цветовой схеме. Правое положение ползунка устанавливает максимальную яркость палитры, т.е. белый цвет для всех элементов цветовой схемы.

Кнопки, расположенные справа от слайдеров, служат для установки ползунков соответствующих слайдеров в положение по умолчанию. С помощью кнопки **Default** устанавливается положение ползунков по умолчанию сразу всех четырёх слайдеров. Таким образом цветовая схема возвращается в состояние на момент вызова панели **Color balance and brightness control**.

Для сохранения цветовой схемы в историю редактирования служит кнопка **Save**. Кнопка **Close** служит для закрытия панели **Color balance and brightness control**. После закрытия этой панели цветовая схема, существующая на момент закрытия панели, сохраняется в историю редактирования и может быть доступна с помощью кнопок навигации по шагам редактирования (более подробно см. раздел <Навигация по шагам редактирования цветовой схемы>).

Редактирование цветовой схемы с помощью указателей



Указатели фрагмента цветовой схемы разреза вызываются кнопкой которая расположена в левом нижнем углу вкладки визуализации. С помощью указателей осуществляется сжатие или растяжение фрагмента цветовой схемы, ограниченного этими указателями.

Указатели размещаются на интерактивном окне цветовой шкалы и двигаются вдоль цветовой шкалы с помощью перемещаемых мышью ромбовидных элементов управления, которые вынесены за пределы цветовой шкалы.

С помощью первого ромба, который находится ближе к окну цветовой шкалы, указатель перемещается вдоль цветовой шкалы не внося

изменений в цветовую схему разреза. Перемещение указателя с помощью второго ромба изменяет

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

цветовую схему в соответствии с положением указателя на цветовой шкале. Рядом со вторым ромбом отображается значение атрибута разреза, которому соответствует положение указателя на цветовой панели. Цвет указателя и первого ромба меняется в процессе перемещения и является негативом того цвета на цветовой панели, на котором находится указатель.

Для указания фрагмента цветовой схемы разреза нужно выполнить следующие действия:

- 1. Если указатели ещё не вызваны, для вызова указателей нажать кнопку 🖄, расположенную в левом нижнем углу вкладки визуализации.
- 2. Навести указатель мыши на первый, ближайший к окну цветовой шкалы, ромб указателя и нажать левую кнопку мыши.
- 3. Удерживая левую кнопку мыши, начать перемещать указатель вдоль цветовой шкалы.
- 4. Переместив указатель в требуемое место, отпустить левую кнопку мыши.
- 5. При необходимости, повторить пункты 2 4 для другого указателя. В результате этих действий задан фрагмент цветовой схемы, который можно растянуть или сжать.

Для сжатия или растяжения заданного указателями фрагмента цветовой схемы разреза нужно выполнить следующие действия:

- 1. Навести указатель мыши на второй ромб одного из указателей фрагмента цветовой схемы и нажать левую кнопку мыши.
- 2. Удерживая левую кнопку мыши, начать перемещать указатель вдоль цветовой шкалы. В процессе перемещения одного указателя, второй указатель не меняет своего положения. Таким образом, в зависимости от направления перемещения указателя, фрагмент цветовой схемы, находящийся между указателями, будет сжиматься или растягиваться, сжимая или растягивая области цветовой схемы разреза, расположенные за пределами указателей.
- Переместив указатель в нужное место, отпустить левую кнопку мыши. После того, как левая кнопка мыши будет отпущена, цветовая схема разреза, существующая на этот момент, сохраняется в историю редактирования.

Перемещая указатель с помощью второго ромба за пределы окна цветовой схемы, можно удалять часть цветовой схемы. Например, такой приём можно применять, когда необходимо использовать только часть цветовой схемы, сгенерированной с помощью кнопки **Random**.

Чтобы скрыть указатели фрагмента цветовой схемы разреза нужно ещё раз нажать кнопку 🕅. Указатели фрагмента цветовой схемы могут использоваться в режиме перетаскивания фрагмента цветовой схемы разреза с помощью мыши. Данный режим описан в следующем разделе.

Редактирование цветовой схемы в режиме перетаскивания фрагмента цветовой схемы мышью

Соlor drag'n'drop Активация режима редактирования цветовой схемы разреза методом перетаскиванием фрагмента цветовой схемы с помощью мыши осуществляется флажком Color drag'n'drop, расположенном в левом нижнем углу вкладки визуализации. Когда этот флажок установлен, он имеет оранжевый фон, который указывает на то, что активирован режим перетаскивания.

Объектом перетаскивания является фрагмент цветовой схемы разреза, ограниченный отметками цветовой шкалы в случае отсутствия указателей фрагмента цветовой схемы (более подробно см. раздел <Редактирование цветовой схемы с помощью указателей>). Если указатели фрагмента цветовой схемы присутствуют в окне цветовой схемы, то объектом перетаскивания является

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

фрагмент цветовой схемы разреза, ограниченный этими указателями, или одним из указателей и границей цветовой шкалы.

Чтобы создать фрагмент цветовой схемы для перетаскивания, нужно активировать режим перетаскивания флажком **Color drag'n'drop**, и щёлкнуть мышью в окне цветовой шкалы, между её отметками. В результате фрагмент цветовой схемы, ограниченный отметками цветовой шкалы, между которыми был произведён щелчок мыши, будет скопирован и расположен справа от окна цветовой шкалы.

На рисунке ниже слева показана часть вкладки визуализации с окном цветовой шкалы до щелчка мышью по этому окну в режиме перетаскивания. Справа показан результат щелчка мышью по окну цветовой шкалы между отметками 250 и 300.



В результате щелчка, указанный мышью фрагмент цветовой схемы скопирован и расположен справа от окна цветовой шкалы. Скопированный фрагмент цветовой схемы можно перемещать мышью по вкладке визуализации и заменить этим фрагментом другой фрагмент цветовой схемы разреза, переместив скопированный фрагмент в область заменяемого фрагмента в окне цветовой шкалы. В результате замены, старый фрагмент цветовой схемы копируется и располагается справа от окна цветовой шкалы и становится доступен для редактирования и перемещения, а изменённая цветовая схема применяется и сохраняется в истории редактирования.

Для замены одного фрагмента цветовой схемы другим фрагментом в режиме перетаскивания, нужно выполнить следующие действия:

- 1. Активировать режим перетаскивания, отметив флажок **Color drag'n'drop**, расположенный в левом нижнем углу вкладки визуализации.
- Переместить указатель мыши в нужную область окна цветовой шкалы, ограниченную отметками цветовой шкалы в случае отсутствия указателей фрагмента цветовой схемы, или ограниченную указателями фрагмента цветовой схемы, если таковые присутствуют в окне цветовой схемы разреза (более подробно см. раздел <Редактирование цветовой схемы с помощью указателей>).
- 3. Щёлкнуть левой кнопкой мыши по выбранной области цветовой шкалы. В результате, указанный мышью фрагмент скопируется и расположится справа от окна цветовой шкалы.
- 4. При необходимости, применить к выделенному фрагменту цветовой схемы разреза опции редактирования, предусмотренные кнопками Reverse, Invert и Pow на панели Colormap, или залить выделенный фрагмент одним цветом, щёлкнув по фрагменту правой кнопкой мыши и выбрав цвет на открывшейся панели выбора цвета. Часто используется реверсирование фрагмента кнопкой Reverse, дающее при замене реверсированным фрагментом того же диапазона цветовой шкалы, эффект выделения этого диапазона значений атрибута на разрезе.
- 5. Навести указатель мыши на скопированный фрагмент и нажать левую кнопку мыши, после чего, удерживая кнопку мыши в нажатом положении, переместить мышью фрагмент к заменяемому фрагменту на цветовой шкале.
- 6. После того, как указатель мыши, перемещающий скопированный фрагмент, окажется в пределах области заменяемого фрагмента на цветовой шкале, отпустить левую кнопку мыши. В

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

результате этого действия, скопированный фрагмент займёт новое место на цветовой шкале, а заменённый фрагмент автоматически скопируется и расположится справа от окна цветовой схемы разреза. При этом изменённая цветовая схема разреза применится и сохранится истории редактирования.

На рисунках ниже представлена иллюстрация процесса замены фрагментов цветовой схемы разреза. Сплошные стрелки показывают начало и конец перетаскивания фрагмента, пунктирные стрелки показывают автоматическое копирование старых фрагментов цветовой схемы при их замене.



На рисунке слева показана вкладка визуализации после щелчка мышью по области окна цветовой шкалы, ограниченной значениями 250 — 300. После того, как указанный мышью фрагмент скопирован и расположен рядом с окном цветовой шкалы, он был реверсирован с помощью кнопки **Reverse** на панели **Colormap**.

На рисунке, расположенном посередине, показана вкладка визуализации после того, как скопированный реверсированный фрагмент цветовой схемы был перемещён обратно, в область своего же диапазона 250 — 300. При этом старый, замещённый фрагмент цветовой схемы этого диапазона, расположился правее окна цветовой схемы разреза и стал доступен для редактирования и перемещения.

На рисунке справа показана вкладка визуализации после того, как замещённый фрагмент диапазона 250 – 300, без редактирования, был перемещён в диапазон цветовой схемы 300 – 350. При этом старый фрагмент этого диапазона расположился правее окна цветовой схемы разреза и стал доступен для редактирования и перемещения. Таким образом можно менять местами различные диапазоны цветовой схемы разреза, что приводит к выделению этих диапазонов на разрезе.

Если требуется отменить изменения в отредактированном скопированном фрагменте, расположенном правее окна цветовой шкалы, нужно щёлкнуть мышью по той области окна цветовой шкалы, в которой было произведено выделение этого фрагмента. В результате этого, отредактированный фрагмент заменится исходным фрагментом цветовой схемы разреза.

Редактирование цветовой схемы с помощью параметра Color to range на панели Colormap

Color to range 🗾 📔 🛛 🖉

Назначение цвета диапазону значений атрибута разреза производится с помощью элементов управления параметра **Color**

to range панели Colormap.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Границы диапазона значений атрибута, которому назначается цвет, задаются в окнах ввода, расположенных правее кнопки **ok**. Не имеет значения, 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.



Кнопка **ok** служит для вызова панели выбора цвета. Выбранный цвет назначается заданному диапазону значений атрибута после закрытия панели выбора цвета с помощью кнопки **OK** на панели выбора цвета.

Кнопка служит для установки дополнительных отметок на шкалу цветовой схемы разреза, в соответствии с заданными в окнах ввода параметра **Color to range**. Можно установить одну или сразу две отметки на шкалу цветовой схемы разреза, в зависимости от того, одно и два окна ввода содержат значения.

ок Сапсе Для отмены установленной дополнительной отметки шкалы цветовой схемы

разреза, после установки этой отметки, нужно нажать кнопку 🖾 на панели Colormap.

Редактирование цветовой схемы с помощью интерактивного окна цветовой шкалы

Редактировать цветовую схему можно с помощью перемещений мыши в пределах окна цветовой шкалы, когда режим редактирования цветовой схемы методом перетаскивания отключён (флажок **Color drag'n'drop**, расположенный в левом нижнем углу вкладки визуализации, не отмечен).

Если навести указатель мыши в область окна цветовой шкалы и однократно щёлкнуть левой кнопкой мыши, то откроется окно выбора цвета. После того, как цвет выбран и окно выбора цвета закрыто с помощью кнопки **ОК** на панели выбора цвета, этот цвет будет назначен тому месту цветовой схемы, на котором находился указатель мыши в момент щелчка.

Для создания плавного перехода от одного цвета к другому, нужно навести указатель мыши в окне цветовой шкалы на первый цвет и нажать правую кнопку мыши, после чего указатель мыши примет вид перекрестья. Далее, удерживая правую кнопку мыши в нажатом положении, плавно переместить указатель мыши в область расположения второго цвета, после чего отпустить правую кнопку мыши. В результате, между цветами, которые соответствовали начальному и конечному положениям указателя мыши на цветовой шкале, возникнет плавный цветовой переход.

Чтобы произвести заливку одним цветом определённого диапазона цветовой шкалы с помощью мыши, следует навести указатель мыши на нужный 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. В результате, область цветовой шкалы, ограниченная начальным и конечным положениями указателя мыши, становится окрашенной в тот цвет, который соответствовал начальному положению указателя мыши на цветовой шкале.

Настройка градуировки цветовой шкалы

orbar tick step df ok 50 50

Настройка градуировки цветовой шкалы осуществляется с помощью группы элементов управления Colorbar tick step на

панели Colormap.

Окно ввода, расположенное рядом с кнопкой **ok**, служит для ввода значения, от которого рассчитываются отметки цветовой шкалы. Окно ввода, расположенное справа, служит для определения шага отметок цветовой шкалы. Значение, от которого рассчитываются отметки

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

цветовой шкалы может находится за пределами цветовой шкалы. Для градуировки используются только те отметки, которые находятся в пределах диапазона цветовой схемы разреза.

Кнопка **ok** служит для применения настроек градуировки цветовой шкалы. Кнопка **df** служит для установки градуировки цветовой шкалы по умолчанию. Эта кнопка используется достаточно часто, поэтому она окрашена в заметный оранжевый цвет.

Для отмены изменений в градуировке цветовой шкалы, после внесения этих изменений, нужно нажать кнопку — на панели **Colormap**.

Установка порогов отображения разреза

Установка порогов отображения помогает выделить те элементы разреза, значения атрибутов которых принадлежат установленному порогами диапазону и скрыть элементы разреза, значения атрибутов которых выходят за пределы установленного диапазона.

Визуализация разреза осуществляется в соответствии с цветовой схемой, которая определяет цветовой оттенок для каждого значения атрибута разреза. Когда пороги отображения разреза не установлены, все значения атрибута отображаются на разрезе в соответствии с цветовой схемой.

Когда пороги отображения установлены, в соответствии с цветовой схемой отображаются только те значения атрибута, которые находятся внутри заданного порогами диапазона. Значения атрибута, не принадлежащие заданному диапазону, отображаются на разрезе двумя цветами, назначение цвета зависит от того, выше или ниже заданного диапазона находится значение атрибута.

На рисунке ниже показаны цветовые шкалы с различными порогами отображения (максимальным диапазоном отображения 12 – 18.3, порогом 13 – 16 и порогом 14 – 15) и разрезы, визуализированные в соответствии с этими порогами.



На рисунке ниже показан разрез атрибута Q-factor, рассчитанный по результатам анализа BSEF георадиолокационного профиля, пересекающего закопанные в песке пустотелые пластиковые контейнеры. На рисунке слева показана визуализация разреза без ограничения порогов отображения. В этом случае локализовать положение контейнеров затруднительно. На рисунке справа, положение контейнеров локализовано с помощью порогов отображения разреза, устанавливающих более узкий диапазон значений атрибута для назначения цветовой схемы. Положение контейнеров в этом случае определяется без затруднений в виде двух ярких пятен.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Установка порогов отображения разреза осуществляется с помощью элементов управления параметром Colormap limit на панели **Colormap**. Окно ввода, расположенное рядом с кнопкой **ok**, служит для ввода значения

нижнего порога отображения разреза. Окно ввода, расположенное справа, служит для ввода значения верхнего порога.

В состав параметра **Colormap limit** входят следующие элементы управления:

- Флажок применения порогов отображения разреза. Если данный флажок установлен, то по окончании процесса создания разреза, его визуализация будет производиться в соответствии со значениями порогов, которые заданы в окнах ввода параметра Colormap limit;
- m кнопка установки максимального диапазона отображения, при котором значение нижнего порога равно минимальному значению атрибута разреза, а значение верхнего порога равно максимальному значению атрибута разреза;
- ok кнопка применения порогов отображения разреза к цветовой схеме разреза.

Навигация по шагам редактирования цветовой схемы

В процесс редактирования цветовой схемы и градуировки цветовой шкалы разреза, << < > >> каждый следующий шаг редактирования записывается в память программы, чтобы при необходимости была возможность возврата к этому шагу. Навигация по шагам редактирования осуществляется с помощью следующих кнопок, расположенных на панели Colormap:

- << отмена всех изменений, возврат к исходной 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 последующие шаги редактирования удаляются из памяти.

Сохранение и загрузка цветовой схемы

Текущая цветовая схема разреза сохраняется наряду с другими параметрами создания разреза в файл с расширением geprm, более подробно см. раздел <Сохранение и загрузка параметров построения разреза>. В результате загрузки параметров из файла geprm, текущая цветовая схема разреза заменяется цветовой схемой из этого файла.

Также, цветовую схему разреза можно сохранить в отдельный файл с расширением gecmap. Это можно сделать с помощью пункта меню Save Colormap из группы меню Colormap, которая расположена на панели меню.

Загрузка и применение цветовой схемы разреза из файла с расширением gecmap выполняется с помощью пункта меню Load Colormap из группы меню Colormap. Загруженная цветовая схема автоматически добавляется в список шагов редактирования цветовой схемы разреза, более подробно см. раздел <Навигация по шагам редактирования цветовой схемы>.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Сохранение результатов обработки



Сохранение изображения в графическом формате

режима 2D визуализации).

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 с помощью пункта меню Save in Graphic Format, расположенным в группе меню File, или кнопкой Save image на панели Section (для

После вызова панели Save in Graphic Format, она размещается в нижней группе вкладок, после чего открывается стандартное 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 с помощью 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
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:



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 значение действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости ε' , в соответствии с которым рассчитывались шкалы глубин профиля и разреза.

В режиме 2D, в нижней части листа, под изображением разреза размещается справочная информация в составе следующих пунктов:

- Unit of measurement размерность атрибута. Так как данный атрибут не имеет размерности, об этом сообщает 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):



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 или с помощью пункта меню Save XZD из группы меню File.

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

<u>Примечание</u>: 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** или кнопкой **Save settings** на панели **Section** в левой группе вкладок. 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 или кнопкой Load settings на панели Section в левой группе вкладок. 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

была открыта) и линии границ визуализируются на изображении георадиолокационного профиля на вкладке GPR Profile.

Экспорт данных в таблицу формата ТХТ



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 с помощью меню **Export to Text Table XYA**, которое расположено в группе меню **File**. Убрать панель **Export to Table** можно с помощью 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 сеточные форматы GRD (Surfer) и ASC (ArcGIS)

В программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрен экспорт данных георадиолокационного профиля, разреза или сечения 3D сборки в сеточные форматы программы **Golden Software Surfer**, который имеет расширение **GRD** и программы **ArcGIS** с расширением **ASC**.

Экспорт данных в сеточные форматы GRD и ASC осуществляется с помощью меню Export to Surfer Grid File и Export to ArcGIS Grid File соответственно, которые расположены в группе меню File,. Экспорт в сеточные форматы не имеет настроек. После щелчка по пункту меню Export to Surfer Grid File или Export to ArcGIS Grid File откроется стандартное окно сохранения файла, в котором можно изменить имя сохраняемого файла и директорию сохранения, после чего нажать кнопку сохранения.

Файлы в формате GRD и ASC 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

группе меню **Мар**, выбрать **New** и выбрать **Image Map**. В открывшемся окне окно выбора файла **Open Grid** выбрать файл в формате **GRD** или **ASC**.

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**:



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 воспользваться 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:

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Наличие экспорта из программы **ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ** в формат **GRD** или **ASC** 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)

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 объёма данных в 3D режиме.

Перед началом пространственного анализа, для уменьшения количества уникальных значений атрибута разреза, необходимо произвести округление этих значений. Запуск процесса **SAA** осуществляется с помощью 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 георадарного профиля РО0079: **SAA P00079 Re(permittivity) rounding 5**.

В папке сохранения данных расположены следующие элементы:

Файл электронной таблицы в формате xls

В таблице содержатся следующие данные:

- Attrbute 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:

	А	В	С	D				
1	Profile: P00079							
2	Attribute: Re(pe	ermittivity)						
3	Attribute value	Percent of total	Square, m2	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 P000)79:						
9	Values interval		5					
10	Minimum value of	attribute	5					
11	Maximum value of	attribute	20					
12	Mean value of at	tribute	10.64191989					
13	Range of attribu	ite values	15					
14	4 Standard deviation of values 4.460158402							
15	5							
16	Note: percentages in column "Depths of maximum concentration, m"							
17	calculated on th	ne total amount of	data with t	he value of this attribute.				
18	For example, 100)% means that all	data with th	is attribute value				
19	is located in th	his depth range.						
00								

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.

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. 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 <Ошибка! Источник ссылки не найден.>);
- 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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Пользовательские границы слоёв

В ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализована возможность разделения георадиолокационного профиля или разреза на слои с помощью границ, созданных вручную.

r-Bounda	ries of La	iyers	Ø
Undo	Delete	Split	Merge
Finish	< Fin	Fin >	< Fin >
0.5 🗸	- ~	 ~	 ~
Click	Corr	Node	Hold
Line	inBox	hidBox	LayFill
On	Auto	Smoo	5

Элементы управления процессом создания границ слоёв расположены на панели **Boundaries of Layers**. Чтобы отобразить панель **Boundaries of Layers**, следует щёлкнуть по пункту меню **Create Boundaries of Layers**, расположенному в группе меню **Layers**. Панель откроется в нижней группе вкладок. Убрать панель **Boundaries of Layers** можно с помощью 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 удалять, ни редактировать.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью 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 узловых точки в начало и конец профиля или разреза с вертикальной координатой, равной вертикальной координате, соответственно, начальной и

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью 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 с помощью 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;
- Сick кнопка выбора способа создания границы. Если кнопка Cick находится в нажатом состоянии (по умолчанию), то линия границы создаётся с помощью 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)>);
- Согг 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

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;
- LayFill кнопка режима редактирования визуализации слоёв на разрезе или сечении 3D сборки, границы которых заданных вручную. Более подробно см. в разделе <Настройка отображения слоёв на разрезе или сечении 3D сборки>;
- 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:

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;
- 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;
- 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;
- 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 линий с первой узловой точкой.
- 5. Повторять пункт 4 нужное количество раз. Каждый раз, при создании новой узловой точки линия границы буде 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 лини 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. Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;
- 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;
- 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;
- 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 создании 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>):

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

7. Начать строить границу зоны автопикировки снизу:



 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:



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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Отображение и редактирование имени слоя

По умолчанию, слоям в качестве названий присваиваются порядковые номера, в соответствии со средней глубиной залегания нижней границы слоя. Для отображения названия слоёв на разрезе, георадиолокационном профиле или сечении 3D сборки, нужно навести указатель мыши на одну из границ слоёв, щёлкнуть правой кнопкой мыши и в появившемся контекстном меню, выбрать пункт Show/hide layer name. В результате этого действия, внутри каждого слоя отобразится название соответствующего слоя. Чтобы скрыть имена слоёв, нужно повторно щёлкнуть меню Show/hide layer name.

Для коррекции положения имени слоя на разрезе, нужно навести указатель на имя слоя, нажать левую кнопку мыши, и удерживая её в нажатом положении, переместить указатель мыши в требуемое место в пределах слоя. В процессе перемещения указателя мыши, имя слоя будет перемещаться совместно с указателем. После отпускания кнопки мыши, перемещение имени слоя прекратится. Для редактирования имени слоя и параметров его отображения, нужно щелчком правой кнопки мыши по имени слоя вызвать контекстное меню. Контекстное меню состоит из следующих пунктов:

- Edit layer name вызов панели редактирования имени слоя. Пользователь вводит имя слоя в окно ввода на данной панели, после чего нажимает кнопку Apply;
 Enter the layer name here:

 Layer 1
 Layer 1
 Layer 1
- Edit text properties вызов панели выбора параметров отображения шрифта для текущего имени слоя. На данной панели пользователь выбирает шрифт, устанавливает его размер и стиль, затем нажимает кнопку OK. Установленные параметры шрифта применяются только к тому имени слоя, по которому был щелчок мышью для вызова контекстного меню;

Bits Plain 10 Weil Block Bold 12 Weil Block Bold 12 Weil Block Bold 12 Bank Gebtic Lt BT Bold Haic. 16 Bank Gebtic Lt BT Bold Haic. 16 Samplet Fragues thrown for jumps over the lazy dog. 234507280	one	Style	Size
Note Plane Bit /relation Mail Block File T2 Mail Narrow Ball T2 Mail Marrow Ball T2 Ball Statis Ball T2 Ball Statis Ball T3 Ball Statis Ball T3 Ball Statis Ball T3 Ball Statis Ball Ball Ball Statis Ball Statis Ball Ball Statis Ball Statis Ball Ball Statis Ball Statis Ball Statis Ball Statis	Arial	Plain	10
Band Band Tel Nation Narrow Band Tel Tel Nation Narrow Band Shit Band Shit Tel Tel Sank Schit LBT Stank Shit Tel Tel Tel Tel Sank Schit LBT Stank Shit Tel	Arial	Plain	10 ^
triai Narrow this Narrow this Narrow this Narrow this Narrow that NEold Ratic 18 markGethic 11.BT analisethic the data 18 markGethic Med T with Narrow the lazy dog. 234567780	Arial Black	Bold	12
tvia R conded MT Bold Vial Unicode MS SankGethic L BT SankGethic L BT SankGethic Md BT Sample Ena quick Frown fox jumps over the lazy deg. 1234557890	Arial Narrow	Italic	14
trial Unicode MS analysis of the second seco	Arial Rounded MT Bold	Bold Italic	18
Bank Gothic H BT Bank Gothic M BT Sample The quick brown fox jumps over the lazy dog. 1234567690	Arial Unicode MS		24
BankGothic Md BT 48 Semple The quick brown fox jumps over the lazy dog. 1234567690	BankGothic Lt BT		36
Semple The quick brown fox jumps over the lazy dog. 1234567890			10
	BankGothic Md BT Sample	¥	40 V
	BankGothic Md BT Sample The quick brown fox jumps 1234567890	over the lazy dog.	40 v
	BankGothic Md BT Sample The quick brown fox jumps 1234567890	over the lazy dog.	40

- Edit text properties for all вызов панели выбора параметров отображения шрифта для всех имён слоёв;
- Set text color вызов панели выбора цвета шрифта для текущего имени слоя;
- Set text color for all вызов панели выбора цвета шрифта для всех имён слоёв;
- Set text color by boundary color установка цвет шрифта для текущего имени слоя по цвету нижней границы этого слоя;
- Show/hide text box отображение фона надписи для всех имён слоёв. Повторное нажатие данного пункта меню скрывает фон надписи;
- Set text box color вызов панели выбора цвета фона надписи для всех имён слоёв;
- Exit Menu выход из контекстного меню.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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, прикреплённое 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 прикреплено 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 с помощью 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: **ЈУсловие2**.

В поле ввода информации могут вводиться следующие условия:

- Числовое 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;
 - все значения внутри слоя на вспомогательном разрезе атрибута
 Re(permittivity) не изменяются, а на разрезе основного атрибута, внутри этого слоя, все значения равны 5;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 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;
 - I250-350 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;
 - 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;
- 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>;
- iqr N задаёт значение IQR множителя, равное N, в случае применения корректировки значений атрибута на основе межквартильного размаха для кластера, заданного границей, которая содержит поле ввода с данным условием. Например, условие iqr 0.1 задаёт значение IQR множителя, равное 0.1. Более подробно см. в разделе <Группа параметров IQR-based data correction>.

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.



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 существующий границ, следует редактируемую границу (если таковая присутствует) перевести в не редактируемый режим с помощью 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 отсутствует – 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Настройка отображения слоёв на разрезе или сечении 3D сборки

Пользователь может вручную создавать границы слоёв не только на георадиолокационном профиле, но и на разрезе атрибута или сечениях 3D сборки. В этом случае доступны различные варианты визуализации слоёв. Это может быть одноцветная заливка слоя, где цвет заливки будет определяться максимальным, минимальным или средним значением атрибута внутри этого слоя. Или указанные значения будут рассчитаны для каждого столбца числовой матрицы разреза в пределах границ слоя. Условия визуализации можно выбирать для каждого слоя по отдельности, или для всех слоёв сразу. Настройка визуализации слоёв осуществляется с помощью элементов управления, размещённых в всплывающем окне настроек визуализации.

Чтобы вызвать окно настроек визуализации слоёв, нужно перевести область визуализации разреза или сечения 3D сборки в режим настройки визуализации слоёв. Для этого нужно, при нажатой кнопки-переключателя **On** на панели **Boundaries of Layers**, нажать кнопку-переключатель **LayFill** на панели **Boundaries of Layers**. При этом фон области отображения разреза меняется на тёмнокоричневый, а создание или редактирование границ слоёв перестаёт быть доступным. Отсюда следует, что границы на разрезе должны быть созданы до нажатия кнопки-переключателя **LayFill**.



Когда режим настройки визуализации слоёв активен, то щелчок правой кнопкой мыши по изображению разреза вызывает окно сообщения, в котором отображаются координаты точки разреза, в которой находился указатель мыши на момент щелчка, и значение атрибута разреза в этой точке. Щелчок левой кнопкой мыши по изображению разреза открывает модальное окно настроек визуализации слоёв – см. рисунок слева.

В верхней части окна размещается информация о максимальных, минимальных и средних значениях атрибута в слое, в пределах которого находился указатель мыши на момент вызова окна настроек визуализации

слоёв. Далее расположена группа элементов управления **All over layer**. С помощью элементов управлении этой группы задаются параметры однотонной заливки слоя или слоёв.

Из выпадающего списка, в ходящего в группу элементов управления **All over layer**, выбирается тип значения заливки — среднее значение атрибута **Mean**, рассчитанное по выбранному слою, максимальное значение атрибута **Max** в выбранном слое или минимальное значение атрибута **Min**. Кнопка **ok** служит для заливки только одного слоя, в пределах которого находился указатель мыши на момент вызова окна управления настройками режима **Fill Layer Mode**. Кнопка **All** служит для заливки всех слоёв, в пределах каждого слоя будет своё значение заливки, заданное с помощью выпадающего списка. После запуска процесса заливки кнопками **All** или **ok**, окно управления настройками автоматически удаляется. Чтобы его вызвать снова, необходимо ещё раз щёлкнуть левой кнопкой мыши по изображению разреза в пределах нужного слоя.

Группа элементов управления **By columns** служит для заливки по столбцам числовой матрицы разреза. Эта группа имеет такие же элементы управления, как и у группы **All over layer**, только значения для заливки рассчитываются не для целого слоя или слоёв, а для каждого столбца числовой матрицы разреза в пределах слоя. На рисунке ниже слева показан результат заливки всех слоёв разреза в режиме **All over layer**, справа - в режиме **By columns**:



Для возврата к исходному виду разреза для одного слоя в пределах которого находился указатель мыши на момент вызова окна настроек визуализации слоёв, служит кнопка **Initial Lay**, для всех слоёв – кнопка **Initial All**. Кнопка **Cancel** служит для закрытия окна настроек.

Для выхода из режима настройки визуализации слоёв на разрезе нужно отжать кнопкупереключатель LayFill на панели Boundaries of Layers.

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 содержимого 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 rpaниц 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>.

Экспорт положения границ слоёв в таблицу MS Excel

Чтобы сохранить данные о положении границ слоёв в электронную таблицу формата MS Excel **xls** или **xlsx** 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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

По умолчанию, значение шага экспорта в окне параметра **Step**, **m** равно шагу профилирования, если слои проложены по георадарному профилю, или шагу данных разреза или сечения по горизонтали, если слои проложены по разрезу атрибута или сечению 3D сборки. После нажатия кнопки **OK** запустится процесс формирования таблицы с последующим её автоматическим сохранением в директорию нахождения файла профиля. Совместно с сохранением таблицы слоёв, в графическом формате сохраняется схема расположения слоёв. С помощью этой схемы пользователь может легко найти на разрезе слой с заданным номером, что облегчает работу с таблицей слоёв. На рисунке ниже представлен георадиолокационный профиль с границами слоёв, результата экспорта данных которых будет представлен далее в качестве примера.



Если пользователь не назначил слоям названия, в ходе формировании таблицы, слоям в качестве названий присваиваются порядковые номера в соответствии со средней глубиной залегания нижней границы слоя (см. раздел <Принцип формирования слоёв>). Так, слою с наименьшей средней глубиной залегания нижней границы присваивается номер 1, а наибольший номер присваивается самому нижнему слою.

Таблица для каждого слоя размещена на отдельной вкладке, номера слоёв указаны на вкладках. Также, в таблицах имеется вкладка Summary, которая содержит сводные данные по каждому слою.

Таблица слоя содержит следующие столбцы:

- Distance, m расстояние от начала профиля в метрах по шкале расстояний;
- Тор, т положение верхней границы (кровли) слоя в метрах по шкале глубин;
- Bottom, m положение нижней границы (подошвы) слоя в метрах по шкале глубин;
- Thickness, m толщина слоя в метрах.

В верхней части таблицы слоя отображаются имя профиля (разреза или файла 3D сборки, по сечению которого проложены границы слоёв) и название слоя. Под таблицей размещаются минимальные **Min**, максимальные **Max** и средние значения **Mean**, рассчитанные для каждого столбца таблицы, и значение площади слоя в квадратных метрах.

Сводная таблица Summary содержит следующие столбцы:

- Layer Name название слоя;
- Start, m положение начала слоя на шкале расстояний в метрах;
- End, m положение конца слоя на шкале расстояний в метрах;
- Length, m протяжённость слоя в метрах;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- Тор, т среднее значение положения верхней границы слоя в метрах по шкале глубин;
- Bottom, m среднее значение положения нижней границы слоя в метрах по шкале глубин;
- Thickness, m среднее значение толщины слоя в метрах;
- Area, sq. m площадь слоя в квадратных метрах.

На рисунке ниже показан результат экспорта данных слоя №1 с шагом 0.5 метров, сводная таблица по слоям с вкладки **Summary** и схема расположения слоёв, сохранённая в графическом файле.



10 GPR profile end position: 9.9 m 11 GPR profile length: 9.9 m

Схема расположения слоёв состоит из отдельных миниатюр разреза с нанесёнными границами слоёв. Над каждой миниатюрой указан номер слоя. Слой, номер которого указан в заголовке миниатюры, выделен на этой миниатюре заливкой серого цвета. На одном листе, адаптированном для вставки в документ формата MS WORD формата A4 портретной ориентации, может быть размещено до 8 миниатюр. Если миниатюры не умещаются на одном листе, в ходе сохранения автоматически создаются дополнительные листы в необходимом количестве.

По умолчанию, в диалоговом окне сохранения таблицы, имя файла таблицы состоит из имени файла георадарного профиля (наименования разреза или файла 3D сборки, если слои проложены на его сечении), которое дополнено фразой layers table. Например, **P906_000_001 - layers table.xls**. Имя файла схемы расположения слоёв состоит из имени файла таблицы, которое дополнено фразой layer position map. Например, **P906_000_001 - layers table, layer position map.png**. Если файлов схемы расположения слоёв сохраняется несколько, то к именам этих файлов добавляется порядковый номер.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

<u>Трёхмерная визуализация</u>

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	В	С	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
40					

В таблице координат допустимы только положительные значения, которые измеряются от левого нижнего угла прямоугольной области, внутри которой расположены георадиолокационные профили.

Таблица координат состоит из следующих столбцов:

- А имена файлов данных разреза в формате xzd. Имена файлов пишутся без расширения. Например, файл данных разреза P18.xzd должен быть записан в столбец А как P18. Имя файла в столбце А должно точно совпадать с именем файла с расширением xzd, иначе, во время формирования 3D сборки программа выдаст ошибку;
- В координата Х начала профиля;
- С координата Ү начала профиля;
- D координата Х конца профиля;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

E – 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 **A** с именами файлов. Далее в эту таблицу добавляются значения координат в столбцы **B C 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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Первое окно слева служит для отображения координаты Х, 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 **В**, расположенную в строке с именем профиля **P18**, а значение из второго окна (73.2) — в ячейку столбца **С**, 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).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

	A	В	С	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 А 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 с помощью 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:

E Open					
Папка:] Геофиз #15	0_0079_77	•	🗢 🗈 💣 💷	
Ca	Имя	^		Дата изменения	Тип
Недавние места	3D survey a	rea 150_0079_77.xls		16.12.2015 11:11	Лист Міст
Рабочий стол					
Библиотеки					
Компьютер					
	•				+
Сеть	Имя файла:			-	Открыть
	Тип файлов:	File of table coordin	nate profiles (*.xls)	•	Отмена

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 сформирования 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.

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 cubesize. Это легко сделать, создав с помощью контекстного меню, вызванного щелчком правой кнопки мыши в окне проводника windows, пустой текстовый файл и изменив его расширение с txt на cubesize. 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.cubesize, 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 с помощью устройства глобального позиционирования GPS, используя это устройство в ходе георадарных работ.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 вручную (более подробно см. раздел <Создание таблицы координат XYZ вручную>), или использовать конвертер GPS координат в формат **gexyz** (более подробно о конвертере координат см. в разделе <Создание таблицы координат XYZ с помощью конвертера GPS данных>).

Создание таблицы координат ХҮΖ 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:

В001_WGS_1907_Shift.gexyz – Блокнот	-	Х
Файл Правка Формат Вид Справка		
375020.42 655621.11 2324.62		^
375020.02 655620.81 2324.60		
375019.62 655620.50 2324.57		
375019.23 655620.20 2324.55		
375018 83 655610 00 2324 53		

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.

Создание таблицы координат ХҮZ с помощью конвертера GPS данных

Конвертер предназначен для извлечения координат из файлов GPS данных, преобразования и сохранения этих координат в формат **gexyz**. Файлы формата **gexyz** используются для позиционирования георадарных данных в процессе формирования 3D сборки.

Исходные файлы GPS данных для извлечения координат могут иметь текстовые форматы **txt**, **gps**, **csv**, **gpx** и **kml**. В файлах с расширением **txt**, **gps** или **csv**, данные должны располагаться по столбцам, с разделителями в виде точки с запятой, двоеточия или пробела. Значения координат в файлах с расширением **txt**, **gps** или **csv** могут быть записаны в формате универсальной поперечной проекции Меркатора **UTM** или в градусах, в виде десятичной дроби.

Файл с расширением **gpx** должен соответствовать текстовому формату хранения и обмена данными **GPS eXchange Format**. Файл с расширением **kml** должен соответствовать текстовому формату геоданных **Keyhole Markup Language**. Файлы формата **kml** используются для представления трёхмерных геопространственных данных в программах **Google Maps** и **Google Earth**.

Также, с помощью конвертера GPS данных, пользователь может преобразовывать координаты из формата **gexyz** в формат **kml**. Это даёт возможность накладывать положение георадиолокационных профилей на карту местности в программах **Google Maps** и **Google Earth**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Convert GPS Data to GEXYZ
Latitude Longitude Attitude
Input coordinate units
UTM zone info
CSV GPX KML
TXT GEXYZ to KML

Элементы управления конвертированием GPS данных размещены на панели Convert GPS Data to GEXYZ. Чтобы открыть панель Convert GPS Data to GEXYZ, следует щёлкнуть по пункту меню Convert GPS Data to GEXYZ, расположенному в группе меню 3D Data на панели меню. После открытия, панель располагается в нижней группе вкладок. Удалить панель Convert GPS Data to GEXYZ можно с помощью кнопки закрытия в правом верхнем углу панели. Панель Convert GPS Data to GEXYZ содержит следующие элементы управления:

 Окна ввода Latitude, Longitude и Altitude используются при конвертации GPS данных из файлов текстового формата txt, gps или csv. Здесь пользователь указывает порядковые номера столбцов в исходном файле GPS данных, содержащих значения широты (Latitude), долготы (Longitude) и высоты над уровнем моря (Altitude).

Значения широты и долготы в исходном файле GPS данных **txt**, **gps** или **csv** могут быть представлены в формате **UTM** или в градусах, в виде десятичных дробей. Чтобы определить порядковые номера столбцов со значениями широты, долготы и высоты, необходимо просмотреть содержимое исходного файла GPS данных. Столбцы в исходном файле GPS данных считаются слева направо. Если исходный файл GPS данных не содержит информацию о высотах, или значения высот для всех координат равны нулю, то окно ввода **Altitude** нужно оставить

Для просмотра файлов с расширением **txt** используется текстовый редактор, установленный в операционной системе по умолчанию. Чаще всего это программы **WordPad** или **Notepad** (Блокнот). Чтобы просмотреть содержание файла с расширением **csv** или **gps**, нужно щёлкнуть правой кнопкой в проводнике Windows по имени этого файла, в контекстном меню перейти в пункт меню **Открыть с помощью...** и выбрать программу **WordPad** или **Notepad** (Блокнот). Если исходный файл GPS данных имеет текстовый формат, но расширение этого файла не совпадает с расширениями **txt**, **gps** или **csv**, то для возможности конвертирования такого файла необходимо изменить его расширение на **txt**.

- Input coordinate units раскрывающийся список для указания формата координат исходного текстового файла GPS данных txt, gps или csv и направления отсчёта широты и долготы, если координаты даны в градусах. Данный список имеет следующие пункты:
 - UTM координаты в исходном файле GPS данных представлены в формате UTM;
 - N W координаты в исходном файле GPS данных представлены в градусах северной широты и западной долготы;
 - S W координаты в исходном файле GPS данных представлены в градусах южной широты и западной долготы;
 - **N E** координаты в градусах северной широты и восточной долготы;
 - S E координаты в исходном файле GPS данных представлены в градусах южной широты и восточной долготы;

Информация о направление отсчёта широты и долготы указана в исходном файле GPS данных формата **txt**, **gps** или **csv** в виде обозначений **N**, **S**, **E** и **W** в заголовке таблицы GPS данных или рядом со значением каждой координаты. Если в исходном файле GPS данных отсутствуют обозначения **N**, **S**, **E** и **W**, то направление отсчёта широты и долготы определяется знаком значения координаты. Для широты отрицательное значение означает южную широту **S**, а

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

положительное значение означает северную широту **N**. Для долготы отрицательное значение означает западную долготу **W**, а положительное значение означает восточную долготу **E**;

 UTM zone info – окно ввода номера UTM зоны, к которой относятся GPS координаты, если они даны в формате UTM. Номер UTM зоны необходим для корректного конвертирования координат из файла gexyz в формат kml (см. описание кнопки GEXYZ to KML).

Если координаты исходного файла GPS данных представлены в градусах, то в процессе конвертирования происходит определение номера **UTM** зоны. После определения, номер **UTM** зоны отображается в окне ввода **UTM zone info**. Если отмечен флажок, расположенный левее окна **UTM zone info**, то в файл результата конвертирования в формате **gexyz** добавляется информация о номер **UTM** зоны. Для формирования 3D сборки эта информация не используется, однако номер **UTM** зоны необходим для корректного конвертирования координат из файла **gexyz** в формат **kml**;

- С помощью кнопки TXT осуществляется загрузка и конвертирование в формат gexyz одного или нескольких текстовых файлов GPS данных с расширением txt или gps. В этом случае необходимо заполнить окна ввода Latitude, Longitude. Окно ввода Altitude необходимо заполнять только тогда, когда исходный файл GPS данных содержит информацию о высотах над уровнем моря;
- С помощью кнопки CSV осуществляется загрузка и конвертирование в формат gexyz одного или нескольких текстовых файлов GPS данных с расширением csv. В этом случае необходимо заполнить окна ввода Latitude, Longitude. Окно ввода Altitude необходимо заполнять только тогда, когда исходный файл GPS данных содержит информацию о высотах над уровнем моря;
- С помощью кнопки GPX осуществляется загрузка конвертирование в формат gexyz одного или нескольких файлов GPS данных в формате GPS eXchange Format (расширение gpx). В этом случае информация из окон ввода Latitude, Longitude и Altitude не используется;
- С помощью кнопки KML осуществляется загрузка в программу одного или нескольких файлов GPS данных в формате Keyhole Markup Language (расширение kml) и конвертация извлечённых из этих файлов координат в формат gexyz. В этом случае информация из окон ввода Latitude, Longitude и Altitude не используется;
- С помощью кнопки GEXYZ to KML осуществляется конвертирование координат из формата gexyz в формат геоданных Keyhole Markup Language с расширением kml. В результате появляется возможность загружать координаты в программы Google Maps и Google Earth и накладывать положение георадиолокационных профилей на карту местности. Для корректного конвертирования необходима информация о номере UTM зоны, к которой относятся конвертируемые координаты. Если таблица исходного файла формата gexyz содержит информацию о номере UTM зоны, то в процессе конвертирования номер UTM зоны считывается из этого файла. Если исходный файл формата gexyz не содержит информацию о номере UTM зоны считывается из окна ввода UTM zone info.

Конвертирование координат в формат **gexyz** происходит следующим образом. Пользователь, при необходимости предварительно настроив параметры конвертирования с помощью окон ввода **Latitude**, **Longitude** и **Altitude**, а также раскрывающегося списка **Input coordinate units**, нажимает одну из кнопок **TXT**, **CSV**, **GPX** или **KML** (в зависимости от формата исходного файла), после чего появляется окно выбора файлов, в котором пользователь выбирает один или несколько файлов. После того, как файлы выбраны, окно выбора файлов закрывается и запускается процесс конвертирования. Если в исходном файле GPS данных координаты даны в градусах, то

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

определённый в процессе конвертирования номер UTM зоны отображается в окне ввода UTM zone info.

Сохранение результата конвертирования в формат **gexyz** происходит автоматически, в директорию расположения исходных файлов GPS данных. Файл результата конвертирования имеет то же имя, что и исходный файл GPS данных и расширение **gexyz**.

Конвертирование координат из формата **gexyz** в формат **kml** происходит следующим образом. Пользователь нажимает кнопку **GEXYZ to KML**, после чего открывается окно выбора файлов, в котором пользователь выбирает один или несколько файлов с расширением **gexyz**. После того, как файлы выбраны, окно выбора файлов закрывается и запускается процесс конвертирования. Сохранение результата конвертирования в формат **kml** происходит автоматически, в директорию расположения исходных файлов с расширением **gexyz**. Файл результата конвертирования имеет то же имя, что и исходный файл, и расширение **kml**.

Сборка разрезов по координатам ХҮХ

Перед запуском процесса создания 3D сборки необходимо убедиться, что файлы с расширением **gexyz**, которые содержат координаты XYZ, находятся в той же директории, что и файлы разрезов с расширением **xzd**, из которых будет формироваться 3D сборка. Имена файлов **gexyz** должны совпадать с именами соответствующих файлов с расширением **xzd**.

Запуск процесса создания 3D сборки по координатам XYZ осуществляется с помощью пункта меню Create 3D Assembly by XYZ Coordinates, расположенному в группе меню 3D Data. После щелчка мыши по данному пункту меню откроется окно выбора файлов в формате xzd. Пользователь выбирает все файлы в формате xzd и нажимает кнопку Открыть, 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 включённым 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.
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 Х-Ү, Х-Z и Ү-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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

- Сечение Х-Ү. Горизонтальная линия фиолетового цвета на изображении горизонтального сечения – положение сечения Х-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 с помощью 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 с помощью 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 Х-Ү (рамка голубого цвета) перемещается вдоль перпендикулярной ему вертикальной оси Z.

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 и и и и конец оситальных панелей – это кнопки и и и .

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

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

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 с помощью 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;
- Ramge limit 1 положение ближней к началу координат границы диапазона осреднения на перпендикулярной ортогональному сечению оси в метрах;
- Ramge 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**.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;
- Sceleton 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.

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

- Smoothing				
X, m		25		
Y, m	ok	25		
Z, m		1		

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

Х, т – окно сглаживания по оси Х в

метрах;

ax;

- Y, m окно сглаживания по оси Y в метрах;
- Z, m окно сглаживания по оси Z в метрах;
- **оk** 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

⊢ ^{Axes I}	Labels, Grid and Limi	ts
X step	df ok	50
Y step	df ok	50
Z step	df ok 🔳	2
× limit	df ok 0	320.6
Y limit	df ok 0	429.9
Z limit	df ok 0	14

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);

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 Х с данным флажком в неотмеченном состоянии

(верхнии	рисунок)	ИВ	отмеченном	состоянии	(нижнии	рисунок):
0	i					-i -lo
0	50	100	150 X, m	200	250	300
	:	:	:		1	: .
0	50	100	150 X.m	200	250	300 320.6

- Окно ввода значения шага градуировки шкалы расположено правее флажка 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;

пропорций осей 3D сборки;

- Окно ввода параметра правее кнопки **оk** 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

- Axis Ratio	
X 1	
Y 1	
Z 1	
Equal	
Real	
Apply	

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

Х (Ү, Z) – окна ввода значений

 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 **Х, Ү** и **Z** к соответствующим осям на всех вкладках визуализации 3D сборки.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Панель Cube View

Cube View	
Elevation, de	eg 37
Azimuth, de	g <u>-45</u>
Y-Z	Apply
X-Z	Default
X-Y	Full

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:

 Ахез 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 **ОК** 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 применённой 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;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

Панель Cube Cut and Alpha

Cube Cut and Alpha				
Vol ok	0			
Sect ok	1			
Surf ok	1			
Cut	UnCut			

Управление прозрачностью объёма 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 объём 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;

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 вырезания, расположенные для над горизонтальным сечением X-Y, кнопками нижнего ряда – регионы, расположенные под горизонтальным сечением Х-Ү. 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 синезелёного 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:

 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).



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;

- EI 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 cubeset;
- Load кнопка загрузки информации о положении источника освещения и осей 3D сборки на вкладке Cube, а также пропорций осей из файла с расширением cubeset. 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 с помощью 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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

- Мах 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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Панель Isosurface

As mesh
Color
Delete all
Delete last
Create

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

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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Панель Cut Area

Outer	
Restore	
Cut	
Delete	
Path	

Панель **Cut Area** служит для создания пользователем областей прозрачности в объёме 3D сборки. Для создания области прозрачности на сечении **X-Y** прокладывается замкнутая граница, за пределами которой, или внутри которой, в зависимости от настроек, объём 3D сборки становится прозрачным. Созданные подобным образом области прозрачности называются дополнительными (основной областью прозрачности можно назвать прозрачные области объёма, 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 произойдёт автоматическое переключение на эту вкладку.

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

- 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;
- 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;
- Чтобы замкнуть область, нужно щёлкнуть левой кнопкой мыши по первой созданной узловой точке границы;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 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 тёмносерый;
- 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**):



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



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Панель Contours on 2D Views



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 графика;

- 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;
- Вох когда флажок Labels выбран, флажок Вох 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 сечениях 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Панель Colormap

Элементы управления цветовой схемой визуализации элементов 3D сборки расположены на панели **Colormap**, описание которой представлено в разделе <Управление цветовой схемой разреза>.

Панель Attribute Features



Панель Attribute Features служит для управления параметрами атрибута 3D сборки. С помощью 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 **оk**. 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;
- 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 сглажено. 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

– 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 с помощью 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;
- Labels кнопка отображения названий узловых точек линии, через которую проходит пользовательское сечение. Повторное нажатие на кнопку скрывает названия узловых точек;
- Хsize 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью 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 **Х-Ү**, 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:



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**:

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**:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



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 **ОК** - узловая точка займёт положение в соответствии с

введёнными координатами, а полилиния перерисуется заново.

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



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 **OK**. 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью мыши.

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 мышь, 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 El. После того, как

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 треубется 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.xls).

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 Х-Ү, Х-Z или Ү-Z, пользователь должен выбрать нужную вкладку Х-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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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>);
- 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:



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Псевдокаротаж

Псевдокаротаж позволяет получить наглядное представление об изменение 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:

и

максимальному значению атрибута 3D сборки для

и

файл в текстовом формате

содержит таблицу из двух

равны

верхнего

горизонтальной

и

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



столбцов с разделителем в виде пробела, где первый столбец - это значения вертикальной шкалы в метрах, второй столбец — значения атрибута, см. рисунок ниже:

3D

сборки

оси соответственно.

минимальному

нижнего

предела

/iiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii)_assembly	logging tr	ace in l	P19.txt	-	Х
Файл	Правка	Формат	Вид	Справка		
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					
<						>

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 трещинноватости, 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.

Flaw detection in concrete					
Defective areas: 3.4 %	Good condition < 1				
When section creating 👿	Bad condition > 3				
Waterlogged concrete	Threshold = 5				
Detect Save xzd	Delete Statistics				

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;
- 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 с помощью 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.
- Далее, следует открыть файл георадиолокационного профиля с расширением efd с результатами анализа BSEF, полученный в ходе георадарного профилирования бетонной или железобетонной конструкции, имеющей <u>заведомо плохое состояние бетона</u> (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,

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 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, с помощью файлов с расширением **xzd**, полученных в ходе дефектоскопии, можно сформировать таблицу статистики данных дефектоскопии.

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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Результат дефектоскопии балки, находящейся в хорошем состоянии. Дефектные области отсутствуют.



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:

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Microsoft Excel - Summary table - flaw detection.xls			
🕘 Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные 🖸	<u>)</u> кно <u>С</u> правка	a Ado <u>b</u> e PDF	
	1 😡 🗴 - Al	8 140 🙈 85% 🔤 📄 i couri	ernew - 11 - XK
	1 GD - 1 R*		
AI V Tx Flaw detection	P	<u>,</u>	0
A Flaw detection	D	L.	U
2 Profile	Length.m	Percentage of defect	Average value of O-factor
3 PR0001	5.504	3.4 (bad condition)	4.010154563
4 PR0005	5.712	5.1 (bad condition)	4.116571617
5 PR0006	5.52	3.5 (bad condition)	3.96010161
6 PR0013	4.768	0 (good condition)	3.882983155
7 PR0014	4.984	0.2 (good condition)	3.988803473
8 PR0015	5.064	0 (good condition)	3.421331768
9 PR0017	2.848	0.1 (good condition)	3.967186861
10 PR0018	2.912	1.6 (satisfactory condition)	3.973430245
11 PR0019	2.928	0.8 (good condition)	3.796458625
12 PR0020	5.304	4.5 (bad condition)	4.082640406
13 PR0021	5.752	0.3 (good condition)	3.574097381
14 PR0023	4.512	1.6 (satisfactory condition)	3.85229483
15 PR0024	4.704	2.4 (satisfactory condition)	3.919674657
16 PR0025	4.888	1.5 (satisfactory condition)	3.907902669
17 PR0026	4.8	3.1 (bad condition)	4.092442579
18 PR0027	1.312	2.1 (satisfactory condition)	3.997140071
19 PR0028	1.304	0 (good condition)	3.820281343
20 PR0029	1.16	1 (good condition)	3.855245325
21 PR0030	1.136	0.2 (good condition)	3.64604494
22 PR0031	1.104	0 (good condition)	3.68049131
23 PR0032	1.568	1.4 (good condition)	3.874556741
24 PR0033	1.552	0 (good condition)	3.858071825
25 PR0034	1.4	0 (good condition)	3.683725269
26 PR0035	5.224	0.5 (good condition)	3.807352914
27 PR0036	5.608	1 (good condition)	3.738205661
28 PR0037	5.384	3.1 (bad condition)	3.790646495
29 Total length:	96.952		
30 Number of profiles	26		
31 Of them in bad condition:	6 (23.1%)		
32 OF them in Satisfactory condition:	5 (19.2%)		
33 OF them in good condition:	15 (57.7%)		
34 GLODAL AVERAGE VALUE OF Q-FACTOR:	3.85760909		
35 COLOF CELLS Where values > global average value:			
36 COLDT CELLS WHELE VALUES < GLODAL 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;
- 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;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 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 Qfactor;
- 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 Qfactor;

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 **Primary attribute range** на панели **Primary Attribute** как 4 – 9. Никаких других ограничений диапазонов базовых атрибутов при дефектоскопии производить не требуется. Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Статистический анализ

Модуль статистического анализа **Statistics**, реализованный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, предназначен для обобщения результатов георадарного профилирования и наглядного представления изменчивости георадиолокационной информации. С помощью 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).



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 границ слоёв показаны 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 таблица 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
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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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;
- Corr коэффициент корреляции для соседних георадиолокационных трасс или столбцов матрицы значений разреза;
- 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% процентилями 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 с помощью меню Create Statistics File, которое расположено в группе меню Statistics. Панель управления статистическим анализом Statistics пользователь может загрузить в нижнюю группу вкладок с помощью 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 **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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 какойлибо слой, то график показывает статистические показатели, рассчитанные только по тем фрагментом 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 каждой георадиолокационных по тем фрагментам георадиолокационных трасс, которые расположены внутри этого слоя. <u>Примечание</u>: 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 послойную 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 конца стоям, то пределы горизонтальной оси графика статистики.

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 с помощью 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 с помощью 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 с помощью 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 разделения источника на слои, если таковое имеется. Если файл статистики

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Оп 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;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Пороговая обработка статистических данных

Исследуемые методом георадиолокации объекты – строительные конструкции, слои дорожного покрытия, грунты, железнодорожные насыпи и т.д. обладают набором параметров, характеризирующих 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 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 протяжённости источника статистики — георадарного профиля, разреза или сечения 3D сборки. Чтобы применить значение процента суммарной протяжённости, 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 с помощью 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**. С помощью данных пунктов меню устанавливается уровень порога, соответственно, по среднему арифметическому или медиане значений графика статистики.

С помощью 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.



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.

	А	В	С	D	E	F	G	Н	
1		Areas where values are above the threshold							
2				Source fil	Le name: P(0000_0002 левая полос	a bd sb.efd		
3			Statis	tics file name: P	0000_0002	левая полоса bd sb Gi	PR Signals, lay	vers.gestat	
4	La	yer name:	Дорожно	ое покрытие					
5	At	tribute:	GPR Sign	hals					
6	Th	reshold v	value: 17	76.3366					
7	La	yer lengt	h: 703.1	168 m					
8	Da	ita step h	norizonta	ally: 0.032 m					
9	To	tal lengt	ch of exc	ceeding the thresh	old: 70.33	6 m			
10	Pe	rcentage	excesses	s from layer lengt	h: 10.0068	8			
	Ņ	Start, m	End, m	Number of traces	Length, m	Extreme position, m	Extreme value	Exceeding threshold, %	
11	-			105	10.500		105 000501		
12	Ļ	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	Da	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;

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:

- № 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Ступенчатый график

Средние значения статистического показателя на заданных интервалах георадиолокационного профиля можно отобразить с помощью ступенчатого графика, добавление которого предусмотрено на оси статистического графика, который расположен на вкладке **Statistics**.



Чтобы отобразить ступенчатый график нужно переместить указатель мыши в пределы осей статистического графика, щёлкнуть правой кнопкой мыши и в открывшемся контекстном меню выбрать пункт Stairstep Graph.



В результате этого действия появится окно ввода интервала ступенчатого графика. Чтобы создать ступенчатый график, нужно ввести одно или несколько значений в метрах и нажать кнопку **ОК**. Если в окне ввода присутствует одно значение, то ступенчатый

график рассчитывается для одинаковых интервалов, равных этому значению. Если в окне ввода содержится несколько значений, разделённых пробелом, то ступенчатый график рассчитывается для интервалов, границами которых являются введённые значения. Для удаления ступенчатого графика нужно ещё один раз щёлкнуть правой кнопкой мыши в пределах осей статистического графика и в открывшемся контекстном меню ещё раз выбрать пункт **Stairstep Graph**.

На рисунке ниже показан статистический график, полученный для разреза атрибута Central frequency, который был рассчитан по результатам анализа BSEF георадиолокационного профиля, пересекавшего последовательно три участка грунта одинакового состава, но различной плотности. Первые 17.5 метров грунт находился в состоянии максимального уплотнения, затем следующие 17.5 метров грунт был без уплотнения и на последней части георадиолокационного профиля грунт был малой степени уплотнения.



Ступенчатый график наглядно отображает различия средних уровней статистического показателя в зависимости от свойств подповерхностной среды на заданных интервалах, для данного примера - от степени уплотнения грунта. Хорошо заметно понижение центральной частоты отражённых сигналов с возрастанием плотности грунта.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

	A	В	С	D	Когда на статистическо		
1	Average	attribute values at speci	fied intervals of the GPR	profile			
2		Source file name: GPR_800	Mhz_BSaftercompaction.efd		присутствуе		
3	Statistics file name: GPR_800Mhz_BSaftercompaction Central frequency, layers.gestat						
4	Layer name: Topsoil	ayer name: Topsoil Clynendalbin Ipaquik, To Tipr					
5	Layer length: 52.09 m сохранении изображен						
6	Attribute: Central frequency, MHz						
7	Number	Distance	Value	Comment	статистического графика		
8	1	0 - 17.5 m	1807.045351	Full compacted soil	-		
9	2	17.5 - 35 m	2954.18032	Non compacted soil	прафическом формате, т		
10	3	35 - 52.09 m	2743.165732	Loosely compacted soil	совместно с графически		

файлом сохраняется таблица значений ступенчатого графика в формате электронных таблиц MS EXCEL.

Заголовок таблицы данных ступенчатого графика содержит следующую информацию:

- Строка 1 общее для всех файлов наименование таблицы;
- 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 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 6 наименование атрибута источника статистики Attribute;

Строка 7 содержит заголовки столбцов таблицы:

- № условный номер интервала. Присваивается в порядке возрастания удалённости областей от начала координат;
- Distance положение начала и конца интервала на шкале расстояний в метрах;
- Value среднее значение атрибута в пределах интервала;
- Comment комментарии для интервала. При формировании таблицы строки этого столбца остаются пустыми и, в случае необходимости, заполняются пользователем.



Имя файла сохраняемой таблицы состоит из имени файла георадиолокационного профиля, наименования атрибута, величины сглаживания статистических данных в метрах, названия слоя и словосочетания interval data в конце имени файла. Пример имени файла таблицы значений ступенчатого графика: GPR_800Mhz_BSaftercompaction Central frequency, layers Mean, smooth = 0 m, Topsoil interval data.xls

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Использование панели выбора слоёв



Когда источник статистики (георадарный профиль, разрез атрибута или сечение 3D сборки) содержит нанесённые пользователем границы слоёв (более подробно см. главу <Пользовательские границы слоёв>), то в процессе статистического анализа производятся расчёты статистических показателей как для источника статистики в целом, так и для каждого слоя в отдельности, а также 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, когда загружаемый файл содержит статистическую информацию для слоёв. Данная панель располагается в нижней группе вкладок. Когда панель Layer Picker for Statistics уже открыта, но загружается файл статистики, не содержащий данных по слоям, то в процессе загрузки такого файла панель Layer Picker for Statistics удаляется.

На панели Layer Picker for Statistics отображаются границы слоёв источника статистики в виде линий оранжевого цвета. Если источник статистики — георадарный профиль, то на схеме расположения слоёв показан уровень нуля шкалы глубин в виде горизонтальной прямой линии оранжевого цвета, ниже которой расположены линии границ слоёв.

Layer Picker for Statistics					
Select Specified Layer					
Select Layer From List					
Edit Layer Name					
Focus On The Upper Zone					
Focus On The Middle Zone					
Focus On The Lower Zone					
Show Selector Fully					
Cancel					

Сразу после открытия файла статистики со слоями, слой ещё не выбран, и статистика отображается для источника статистики в целом (на панели Statistics отмечен флажок Full Area). Чтобы отобразить статистику для определённого слоя, необходимо указать этот слой на панели Layer Picker for Statistics. Для этого нужно щёлкнуть кнопкой мыши в пределах этого слоя, после чего на панели Layer Picker for Statistics появятся кнопки управления выбором слоя, и нажать кнопку Select Specified Layer. В результате,

статистическая информация по выбранному слою отобразится на вкладке Statistics, а кнопки управления выбором слоя скроются. Выбранный слой на панели Layer Picker for Statistics отображается оранжевым цветом.



Можно выбрать слой с помощью кнопки Select Layer From List, которая входит в набор кнопок управления выбором слоя. Для этого нужно щёлкнуть правой кнопкой мыши по любому слою и нажать кнопку Select Layer From List. В результате отобразится всплывающее окно выбора слоя, содержащее

выпадающий список с номерами слоёв. Номера слоям присваиваются автоматически, в порядке возрастания средней глубины залегания слоя, номера являются именами слоёв по умолчанию. Пользователь выбирает из списка номер слоя и нажимает кнопку **Select**, после чего окно выбора слоя и кнопки управления выбором слоя скрываются, а статистическая информация по выбранному слою отображается на вкладке **Statistics**.



Имя слоя можно изменить с помощью кнопки Edit Layer Name, которая входит в набор кнопок управления выбором слоя. В результате нажатия данной кнопки отобразится всплывающая

панель с полем ввода названия слоя Enter the layer name here, в котором уже содержится текущее имя слоя. Пользователь вводит новое имя слоя и нажимает кнопку Apply, после чего новое имя применяется к слою, а всплывающее окно закрывается. Чтобы сохранить внесённые изменения в имена слоёв, требуется сохранить файл статистики с помощью пункта меню Save Statistics File из

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

группы меню Statistics на панели меню в верхней части главного окна программы, или нажать кнопку Save File на панели Statistics, которая расположена в нижней группе вкладок.

Чтобы отобразить имя слоя с помощью всплывающей информационной панели, нужно переместить указатель мыши на этот слой и щёлкнуть левой кнопкой мыши. Слой с хотя бы один раз изменённым именем на панели выбора имеет тёмно-голубую окраску. Когда слой не выбран и имеет название в виде автоматически присвоенного ему номера, которое не изменялось, то на панели выбора такой слой имеет серую окраску.

Если на панели Statistics отмечен флажок On Boundary, то нижняя граница слоя, значения вдоль которой отображаются на графике статистки, на схеме расположения слоёв отображается светлоголубым цветом.

Иногда линии границ слоёв в какой-либо части панели выбора слоёв располагаются настолько близко друг к другу, что пользователю трудно навести указатель мыши на нужный слой. К примеру, если источником статистики является результат исследования дорожной конструкции, где слои дорожной одежды могут быть достаточно тонкими, пользователь может испытывать затруднения процессе выбора слоя мышью.

Для преодоления подобных затруднений, пользователь может включить режим фокусировки панели выбора слоёв на верхнюю, среднюю или нижнюю зону области визуализации границ. Это можно сделать с помощью кнопок Focus On The Upper Zone, Focus On The Middle Zone и Focus On The Lower Zone, которые входят в набор кнопок управления выбором слоя. С помощью кнопки Show Selector Fully отменяется режим фокусировки и включается полное отображение границ слоёв на панели Layer Picker for Statistics.



Сохранение схемы расположения слоёв источника статистики

Сохранить схему расположения слоёв в графическом формате можно с помощью пункта меню Save Layer Position Map, который расположен в группе меню Statistics на панели меню в верхней части главного окна программы, или с помощью 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 CM. 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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 количества 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 статистки (слою, границе слоя и для всего источника в целом, без учёта слоёв) в файл электронных таблиц формата MS EXCEL, осуществляется с помощью пункта меню Save Summary Table, который расположен в группе меню Statistics или с помощью кнопки Save STable на панели Statistics. На рисунке ниже показан пример сводной таблицы, созданной для источника статистки, разделённого на три слоя.

	A	В	С	D	E	F	G	Н	1	J	K	L	M
1	Statistics file name: P0000_0002 левая полоса bd sb GFR Signals, layers.gestat												
2	Source file na	ame: P0000_00	002 левая пол	noca bd sb.et	fd								
3	Attribute: GPH	R Signals					_	_					
	Laver name	Minimum	Maximum	Mean	Range	Standard	Coefficient of	Variance	Median	Mode	мар	TOR	PAR
4	buyer name		THE PROPERTY OF	neun	nunge	Deviation	Variation	varianoe	nearan	noue	1010	- 20	
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	180.3039856	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	1.615633368	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);

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

— 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 с помощью 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, разделённому 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 послойных 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 графических формат осуществляется с помощью пункта меню Save Plot, который расположен в группе меню Statistics или с помощью 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 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**, **Ma**x, **Mean** и **Std** (боле 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.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Суммирование 2D данных

Модуль **Summation**, реализованный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, предназначен для суммирования разрезов разнородных атрибутов или сечений 3D сборки. В результате суммирования происходит устранение артефактов, вызванных накоплением ошибок в процессе сбора и обработки георадиолокационной информации, а также восстановление модели подповерхностной среды по элементам суммирования (разрезам или сечениям 3D сборки), каждый из которых содержит только некоторую часть полезной информации.

В качестве примера применения модуля суммирования представлен георадиолокационный профиль, полученный в ходе исследования погребённой долины и разрезы атрибутов, построенные по результатам автоматизированного анализа BSEF данного профиля — см. рисунки ниже. Наименования атрибутов расположены под изображениями разрезов.



DAT_0001 Spectral flatness

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Волновая картина рассматриваемого георадиолокационного профиля малоинформативна на глубинах более двух метров, когда как глубина залегания долины превышает это значение. На разрезах атрибутов просматриваются некоторые детали погребённого рельефа, однако каждый из разрезов в отдельности не даёт полной информации о строении изучаемой толщи. Операция суммирования позволяет свести эти разрозненные полезные сигналы в одно целое.

В данном примере суммируются семь разрезов. Пять из них относятся к частотной группе. Это разрезы атрибутов Frequency interval (число октав от центральной частоты антенны георадара, до значения частоты на разрезе), Irregularity spectrum (изрезанность спектра, количество резонансных пиков на спектре), Spectral flatness (характеристика равномерности распределения энергии сигнала по частотному диапазону), Spectral amplitude (амплитуда на центральной частоте спектра) и **Q**-factor (отношение центральной частоты спектра к его ширине по уровню -3 дБ). Атрибуты ещё двух разрезов не относятся к частотной группе. Это атрибут Damping rate - декремент затухания сигнала в подповерхностной среде и атрибут BSEF probability, с помощью которого производится оценка вероятности принадлежности сигналов на георадиолокационном профиле к дифрагированным отражениям.

Из приведённого списка атрибутов видно, что суммируемые значения имеют различную природу и разные размерности. Чтобы такие разнородные данные стали пригодными для суммирования, в процессе загрузки разреза или сечения 3D сборки в модуль **Summation** исходный диапазон значений числового массива загружаемого элемента суммирования нормализуется — т.е. масштабируется в диапазон от 0 до 1. Результат суммирования также нормализуется и не имеет размерности.

На рисунке ниже показан результат суммирования разрезов. Рельеф погребённой долины на суммарном разрезе хорошо прослеживается по всей его длине. На рисунке рельеф долины отмечен пунктирной линией. Данный пример показывает, как использование модуля суммирования позволило эффективно решить проблему недостаточной информативности георадиолокационного профиля и отдельных разрезов атрибутов по этому профилю.



The result of summing the sections: DAT_0001, BSEF probability, Invert data: No; DAT_0001, Damping rate, Invert data: No; DAT_0001, Frequency interval, Invert data: Yes; DAT_0001, Irregularity spectrum, Invert data: No; DAT_0001, Q-factor, Invert data: No; DAT_0001, Spectral amplitude (SA), Invert data: Yes; DAT_0001, Spectral flatness, Invert data: Yes

До операции суммирования, нормализованные значения загруженных элементов суммирования можно инвертировать. В результате инвертирования максимальное значение массива данных

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

элемента суммирования превращается в минимальное, а минимальное становится максимальным. Инвертирование применяют для лучшего сочетания инвертируемого разреза с остальными элементами суммирования опираясь на сравнение результата суммирования до инвертирования и после него.

При сохранении результата суммирования в графическом формате, список элементов суммирования с указанием атрибута и наличия инвертирования располагается под изображением суммарного разреза. В рассматриваемом примере инвертировано три разреза из семи. Это разрезы атрибутов **Frequency interval**, **Spectral amplitude** и **Spectral flatness**. Их изображения на рисунках выше показаны уже в инвертированном виде. Более подробно о применении операции инвертирования смотрите в разделе <Инвертирование данных>.

Панель Summation

_ Summation					
DAT_0001,	DAT_0001, Q-factor 🗸				
Summation	mode 🗸				
Peaks	ok 🛛				
Invert	Save Tab				
Del Item	Clear All				
Load	Sum				

Элементы управления суммированием расположены на панели Summation. Чтобы отобразить панель Summation, следует щелкнуть по пункту меню Summation, расположенному в группе меню Section. Панель размещается в нижней группе вкладок. Данную панель можно открыть в конфигурации главного окна программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ как в режиме 2D, так и 3D. Убрать панель Summation можно с помощью кнопки закрытия, расположенной в правом верхнем углу панели.

Панель Summation содержит следующие элементы интерфейса пользователя:

- Load кнопка загрузки разрезов или сечений 3D сборки в формате xzd для суммирования;
- Sum кнопка запуска процесса суммирования;
- Del Item кнопка удаления элемента суммирования, который выбран в выпадающем списке элементов суммирования, расположенном в самом верхней позиции на панели Summation;
- Clear All кнопка очистки списка элементов суммирования;
- Save Tab кнопка сохранения в формате MS Excel таблицы положения локальных максимумов на элементе суммирования или на результате суммирования;
- Invert флажок инвертирования элемента суммирования, выбранного в выпадающем списке разрезов для суммирования, расположенного в самом верхней позиции на панели Summation. Когда флажок установлен, данные разреза инвертируются, когда флажок снят, данные приводятся к исходным значениям. Более подробно см. в разделе <Инвертирование данных>;
- Peaks флажок режима отображения маркеров локальных максимумов на изображении элемента суммирования или на результата суммирования на вкладке визуализации данных Summation. Когда флажок установлен, маркеры отображаются, когда флажок снят – маркеры скрыты;
- Кнопка ok и окно ввода правее кнопки ok служат для назначения порога отображения маркеров локальных максимумов. Маркеры локальных максимумов, значения которых ниже значения порога не отображаются. При нулевом значении порога отображаются все маркеры, когда значение порога равно единице, отображается единственный маркер наибольшего локального максимума;
- Выпадающий список режима суммирования имеет два значения Summation mode и Multiplication mode. В режиме Summation mode, на вкладке визуализации данных Summation отображается результат суммирования, полученный с помощью операции сложения, в

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

режиме **Multiplication mode** отображается результат, полученный с помощью операции умножения. Более подробно см. в разделе <Режимы суммирования>;

 Выпадающий список, содержащий имена файлов элементов суммирования (разрезов атрибутов или сечений 3D сборки) и ссылку на результат суммирования Summation result служит для выбора элемента списка для отображения его двумерных данных на вкладке визуализации Summation. Выбранный в данном выпадающем списке элемент, может быть удалён из списка с помощью кнопки Del Item.

Подготовка данных для суммирования

В качестве элементов суммирования используются 2D данные в формате **xzd**. Это могут быть разрезы атрибутов или сечения 3D сборок разрезов. Чтобы сохранить данные разреза в файл формата **xzd**, следует воспользоваться кнопкой **Save for 3D** на панели **Section** или воспользоваться пунктом меню **Save Section in XZD**, расположенным в группе меню Section, а также с помощью пункта меню **Save XZD** из группы меню **File**.

В первых двух случаях сохранение осуществляется без открытия окна сохранения, с помощью которого можно изменить имя сохраняемого файла. Для этих случаев имя файла идентично имени файла георадиолокационного профиля, по результатам анализа BSEF которого создан разрез, или имени файла 3D сборки. Изменяется только расширение файла на **xzd**. Сохранение осуществляется в директорию нахождения файла профиля или 3D сборки. Эти способы сохранения всё же лучше подходят для подготовки данных для 3D сборки, чем для суммирования.

В случае сохранения с помощью пункта меню **Save XZD** из группы меню **File**, имя файла формируется из имени файла георадиолокационного профиля или 3D сборки с добавлением наименования атрибута разреза или 3D сборки. В процессе сохранения открывается окно, в котором можно изменить директорию сохранения и имя сохраняемого файла. Этот способ предпочтителен при сохранении файлов формата **xzd** для дальнейшего суммирования, так как в имени файла присутствует наименование атрибута, что упрощает ориентирование пользователя в списке элементов суммирования.

Размеры двумерных массивов данных элементов суммирования должны быть одинаковы. Если программа обнаружит хотя бы одно несовпадение размера, операция суммирования прервётся и на экране появится сообщение, содержащее информацию о размерах каждого элементоа суммирования. С помощью этой подсказки пользователь легко обнаружит несоответствие размера и удалит вызвавший ошибку элемент, выбрав этот элемент в выпадающем списке элементов суммирования и нажав кнопку **Del Item**.

Загрузка и удаление элементов суммирования

Подготовленные данные для суммирования в формате **xzd** загружаются с помощью кнопки **Load** на панели **Summation**. Имена файлов загруженных элементов суммирования отображаются в выпадающем списке, занимающем самую верхнюю позицию на панели **Summation**. Добавление данных в список элементов суммирования также осуществляется с помощью кнопки **Load**.

После загрузки элементов суммирования, в области визуализации данных открывается вкладка **Summation** с отображением данных текущего элемента суммирования, имя которого выбрано в выпадающем списке. При смене выбора элемента суммирования в выпадающем списке соответственно меняется и изображение на вкладке **Summation**.

Для удаления элемента суммирования, выбранного в выпадающем списке, нужно нажать кнопку **Del Item** на панели **Summation**. Для удаления всех элементов суммирования из списка нужно

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

нажать кнопку Clear All на панели Summation. В результате этого действия выпадающий список элементов суммирования станет пустым, а вкладка Summation в области визуализации данных закроется.

С помощью выпадающего списка элементов суммирования удобно оперативно менять отображение данных на вкладке визуализации Summation и осуществлять анализ совокупности этих данных на предмет применимости к отдельным элементам суммирования операции инвертирования или удаления элемента из списка.

Инвертирование данных

В процессе инвертирования из числового массива данных элемента суммирования вычитается его максимальное значение, после чего результат этого вычитания берётся по модулю. Таким образом, максимальное значение атрибута превращается в минимальное, а минимальное становится максимальным. Инвертирование применяют для лучшего сочетания инвертируемого разреза с остальными элементами суммирования опираясь на сравнение результата суммирования до инвертирования и после, сверяясь с априорной информацией об исследуемом объекте.

На рисунке ниже показаны горизонтальные сечения 3D сборки атрибутов Re(permittivity) и Frequency (действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости и центральная частота).



Invert data: No

Заметно, что оба сечения имеют схожую структуру, но там, где на одном сечении находятся повышенные значения атрибута, в том же месте на другом сечении, чаще всего, присутствуют пониженные значения. Для лучшего сочетания этих сечений в процессе суммирования одно из сечений нужно инвертировать. На рисунке ниже показано сравнение сечений в том случае, когда значения атрибута Frequency инвертированы.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



esult of summing the sections: ency, Bassement floor, Section X-Y, 0.2 m on 2-axis, Invert data: No rmittivity), Bassment floor, Section X-Y, 0.2 m on 2-axis, Invert data: No

The result of summing the sections: Frequency, Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on 2-axis, Invert data: Yes Re(permittivity), Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on 2-axis, Invert data: No

Рассматриваемые данные были получены в ходе георадарных работ обнаружению скрытых дефектов в толще бетонного покрытия. Заверочные работы показали, что результат суммирования с инвертированным сечением 3D сборки атрибута Frequency точно показывает области бетона пониженной прочности. На суммарном сечении такие области отображаются жёлто-красной цветовой гаммой. Ситуация, которую отображает результат суммирования без инвертирования, в виде хаотично расположенных областей повышенных значений красного цвета, маловероятна в реальных условиях для исследуемого объекта. Сравнивая подобные результаты между собой для принятия решения о применении инвертирования, пользователю нужно делать выбор в пользу более упорядоченного результата суммирования.

Суммирование

Чтобы запустить процесс суммирования необходимо нажать кнопку Sum на панели Summation. После завершения процесса суммирования в выпадающем списке элементов суммирования добавиться пункт Summation result и результат суммирования отобразится в области визуализации на вкладке Summation. Результат суммирования, как и другие 2D данные в виде разрезов и сечений 3D сборки, можно сохранять в формат xzd и использовать в качестве элемента суммирования.

Режимы суммирования

Режимы суммирования выбираются с помощью выпадающего списка, расположенного под выпадающем списком элементов суммирования. Если выбран режим суммирования Summation mode, то в области визуализации данных, на вкладке Summation, отображается результат операции сложения элементов суммирования. В режиме Multiplication mode отображается результат перемножения элементов суммирования. Режим суммирования можно изменять уже после выполнения операции суммирования, так как суммирование производится сразу в двух режимах.

Ниже, на рисунке слева показан результат суммирования в режиме Summation mode, справа – результат суммирования в режиме Multiplication mode. В режиме Summation mode картина более выровненная, в режиме Multiplication mode хорошо акцентируются наиболее сильные отклонения от нормы. Примерно такого же эффекта можно достичь путём подбора порогов отображения цветовой схемы сечений (более подробно см. главу <Установка порогов отображения разреза>), но затратив гораздо больше времени на выполнение этой операции.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



Выбор и отбраковка элементов суммирования

Составление списка атрибутов для суммирования осуществляется методом подбора, опираясь на априорную информацию об исследуемой подповерхностной среде. Пользователь сохраняет изображения разрезов или сечений ряда атрибутов и визуально выбирает из этого набора необходимые элементы суммирования, опираясь при этом на критерий наибольшего соответствия этих элементов априорной информации об объекте исследования. Сначала можно выбрать и суммировать два разреза, затем к ним добавить ещё один и посмотреть - улучшился ли результат суммирования. Если нет, можно попробовать инвертировать данные разреза установив флажок **Invert**. Если элемент суммирования не улучшает результат, пользователь удаляет этот элемент из списка и пробует разрез или сечение другого атрибута, и так далее.

В примере применения суммирования для изучения рельефа погребённой долины (глава <Суммирование 2D данных>) пользователь сначала выбрал и просуммировал разрезы двух атрибутов - **Damping rate** и **Frequency interval**, так как некоторые участки этих разрезов соответствовали априорной информации о погребённой долине. Причём, чтобы оба эти разреза взаимно дополняли друг друга в результате суммирования, разрез атрибута **Frequency interval** был инвертирован. Далее пользователь добавлял ещё один разрез и, в зависимости от результата суммирования, оставлял его в списке элементов суммирования или удалял. Таки образом, постепенно, из разрозненных данных, была создана модель подповерхностной среды, максимально соответствовавшая априорной информации об исследуемом объекте.



Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Локальные экстремумы

Помимо суммирования данных, в модуле **Summation** реализована функция обнаружения локальных максимумов на элементах суммирования и результате суммирования. Данная возможность находит применение в задачах по обнаружению и фиксации дефектов строительных или дорожных конструкций, а также для поиска локальных подповерхностных объектов различной природы.

Дефекты, как и локальные объекты, являются областями подповерхностного пространства, отличающимися по электрофизическим характеристикам от вмещающей их толщи. Подобные области проявляются характерными отклонениями значений атрибута на разрезе или сечении 3D сборки. Эти отклонения могут быть различной интенсивности. Наиболее сильное отклонение соответствует наиболее сильному проявлению дефекта или положению крупного локального объекта. С помощью функции обнаружения локальных максимумов пользователь оперативно получает отметки положения локальных максимумов с помощью маркеров на изображении элемента суммирования или результата суммирования на вкладке **Summation**, а также список координат этих маркеров со значениями локальных максимумов.

Для отображения маркеров локальных максимумов на изображении элемента суммирования или результата суммирования, нужно поставить флажок **Peaks** на панели **Summation**. Размер маркера зависит от значения в точке локального максимума. Чем крупнее маркер, тем ближе значение соответствующего локального максимума к 1. Самый крупный маркер соответствует значению 1 и обладает контуром зелёного цвета. Все остальные маркеры имеют контур чёрного цвета.



Чтобы отобразить информацию о положении локального максимума и его значении, нужно щёлкнуть по соответствующему маркеру правой кнопкой мыши. В результате этого действия рядом с маркером отобразится панель с информацией о координатах локального максимума и его значении. Чтобы закрыть эту информационную панель, нужно в любом месте один раз щёлкнуть мышью. Если возникнет необходимость отметить локальные минимумы, то для этого нужно поставить флажок **Invert**, в результате чего локальные минимумы станут локальными максимумами, а потом поставить флажок **Peaks**.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Пользователь может установить порог отображения маркеров, и маркеры, соответствующие локальным максимумам, значения которых ниже порога, отображаться не будут. Чтобы установить порог отображения маркеров, нужно ввести значение порога в окно ввода, расположенное правее флажка **Peaks** и нажать кнопку **OK** рядом с этим окном ввода. При нулевом значении порога отображаются все маркеры, когда значение порога равно единице отображается только один маркер наибольшего локального максимума.

Координаты и значения локальных максимумов, положения которых отмечены маркерами, можно сохранить в таблицу формата **MS Excel**. Ниже показан пример такой таблицы.

	Α	В	B C						
1	Summation result peaks table								
2	The result of summing the sections:								
3	Frequency, Basement flo	or, Section X-Y, 0.2 m o	n Z-axis, Invert data: Y	les					
4	Re(permittivity), Basem	Re(permittivity), Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on Z-axis, Invert data: No							
5	Threshold: 0								
6	Number	Value	X, m	Y, m					
7	1	1	13.892	5.633					
8	2	0.938	32.696	0.171					
9	3	0.852	43.2	2.561					
10	4	0.846	9.826	1.707					
11	5	0.822	8.64	1.707					
12	6	0.817	8.301	2.731					
13	7	0.817	8.301	3.073					
14	8	0.807	4.574	11.608					
15	9	0.759	43.2	4.438					
16	10	0.751	0.339	1.024					

Первая строка таблицы может содержать имя элемента суммирования или указание на результат суммирования **Summation result** – как в данном случае. Далее в таблице, если источником данных является результат суммирования, располагаются строки с перечислением наименований элементов суммирования и информацией об инвертировании **Invert data** по каждому элементу. Ниже располагается информация о пороге отображения маркеров **Threshold**. Если источником данных является элемент суммирования, ниже первой строки таблицы расположены строки, содержащие информацию об инвертировании данного элемента суммирования и пороге отображения маркеров – см. пример таблицы ниже.

	A	В	С	D			
1	Re(permittivity), Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on Z-axis peaks table						
2	Invert data: No						
3	Threshold: 0						
4	Number	Value	X, m	Y, m			
5	1	1	32.696	0.171			
6	2	0.978	13.892	5.633			
7	3	0 795	43.2	2 561			

Таблица состоит из четырёх столбцов:

- Number номер локального максимума. Присваивается в порядке убывания значения локального максимума. Таким образом, первым номером обладает локальный максимум с наибольшем значением, самый большой номер у наименьшего локального максимума. Если сохраняется изображение элемента или результата суммирования в графическом формате и на изображении присутствуют маркеры локальных максимумов, то на сохранённом изображении вместо маркеров показаны соответствующие им номера локальных максимумов;
- Value значение локального максимума;
- X, m положение локального максимума по оси X в метрах;
- Y, m положение локального максимума по оси Y в метрах;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Сохранение в графический формат

Для сохранения изображения элемента или результата суммирования в файл графического формата необходимо выбрать нужный элемент из выпадающего списка элементов суммирования, который расположен на самой верхней позиции панели **Summation**. Все настройки сохранения в графическом формате осуществляются на панели **Save in Graphic Format**. Более подробно см. раздел <Сохранение изображения в графическом формате>. Действия по сохранению изображения элемента суммирования с вкладки визуализации данных **Summation** ничем не отличается от сохранения изображения разреза, сечения 3D сборки или георадиолокационного профиля.

Если сохранён результат суммирования, то в нижней части сохранённого изображения располагается информация об элементах суммирования и применения к ним операции инвертирования. Если сохранён элемент суммирования, то в нижней части изображения размещается только информация о применении к этому элементу операции инвертирования.

Если для сохраняемого элемента включён режим отображения маркеров локальных максимумов (установлен флажок **Peaks**), то на сохранённом изображении вместо маркеров располагаются соответствующие им номера, а сами локальные максимумы помечены точками пурпурного цвета. Точное положение локальных максимумов и их значения можно узнать из таблицы локальных максимумов – более подробно см. в разделе <Локальные экстремумы>.



На рисунке ниже показан пример сохранённого в графический формат изображения результата суммирования с отметками локальных максимумов.

The result of summing the sections: Frequency, Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on Z-axis, Invert data: Yes Re(permittivity), Basement floor, Section X-Y, 0.2 m on Z-axis, Invert data: No

GEORADAR-EXPERT 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

<u>Приложения</u>

Справочная таблица значений действительной части комплексной относительной диэлектрической проницаемости в зависимости от влажности

Таблица опубликована в отраслевом методическом документе "Рекомендации по контролю качества выполнения дорожно-строительных работ методом георадиолокации", изданном на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 10.06.2016 № 1025-р, ОДМ 218.3.075-2016.

Материал (порода)	Содержание воды (характеристика)	Значение диэлектрической проницаемости			
	Сухой	4,5-5,2			
Асфальтобетон	Водонасыщенный	5,2-8			
	Сухой	3,7			
Бетон	5 %	5,5			
	10 %	7,0			
	Мерзлый	4,5			
	0 %	3,2			
	4 %	4,8			
Песок разнозернистый	8 %	7			
	12 %	11			
	16 %	15			
	25 %	37,6			
	Мерзлый	16			
	0 %	3,2			
Custower	5 %	4,0-4,8			
Суглинок	10 %	6,5-7,0			
	20 %	10-14,7			
	25 %	27,3			
	0 %	2,4			
	4 %	5,4			
Farme	8 %	8			
тлина	12 %	12			
	16 %	18,6			
	25 %	27,9			
Guer	Сухой	1,2-2,8			
Снег	Мокрый	2-6			
	Пресный	3,3			
Лед	Морской минус 15 °С	7,7-8,1			
	Морской минус 25 °С	4,4-6,7			
Базальт	Сухой, водонасыщенный	8-9			
Известняк	Сухой, водонасыщенный	4-8			
Гранит	Сухой, водонасыщенный	4-7			

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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>;
- Если во время записи георадиолокационного профиля не использовался датчик перемещения георадара, например, измерительное колесо, или иное средство позиционирования, необходимо скорректировать значение длины профиля в файле профиля и сохранить это изменение. Некорректное значение длины георадиолокационного профиля негативно влияет на результат анализа BSEF;
- 3. Открыть георадиолокационный профиль в программе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ <Загрузка файла профиля>;
- 4. Открыть панель **ABSEF**, щёлкнув мышью по пункту меню **BSEF Analysis**, 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. По завершении анализа BSEF, 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>. Если процесс анализа запускался кнопкой Batch, то сохранение данных анализа производилось автоматически;
- 7. Если требуется, применить к данным анализа очистку <Очистка результатов анализа BSEF>;
- 8. Если требуется, произвести действия по ограничению диапазона базовых атрибутов < Ограничение диапазона базовых атрибутов>;
- Если требуется, выбрать тип корректирующей функции и произвести дополнительные настройки КФ
 «Настройки корректирующей функции» <Настройка корректирующей функции в ручном режиме»
 «Панель Corrective Function Options»;
- 10. Задать размер окна сглаживания разреза в группе параметров **Smoothing RF Y(smpl) X(m)** на панели настройки **Primary Attribute** и/или на панели настройки других атрибутов <Панель Primary Attribute и панель для настройки разрезов других атрибутов>;
- Запустить процесс расчёта 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»;
- При необходимости, после завершения процесса построения разреза, когда изображение разреза размещено на вкладки визуализации Section, настроить пороги отображения и другие параметры визуализации разреза <Параметры визуализации разреза > <Управление цветовой схемой разреза>;
- 13. Сохранить разрез в графическом формате. Наряду с сохранением изображения разреза, автоматически сохраняются и параметры построения разреза в формат **geprm** <Сохранение изображения в графическом формате>.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Перечень ссылок на описание панелей управления параметрами

В приложении 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. Для нижней группы вкладок список постоянно присутствующих панелей ведётся по их расположению на вкладке слева направо, по мере возрастания номеров вкладок в конце списка.

Левая группа вкладок

Permittivity – Frequency Data Cleaning <Очистка по критерию повторяемости>

Permittivity – Bandwidth Data Cleaning <Очистка по критерию повторяемости>

Permittivity – Q-factor Data Cleaning <Очистка по критерию повторяемости>

Permittivity – Probability Data Cleaning <Очистка по критерию повторяемости>

Permittivity < Визуализация результатов анализа BSEF>

Central Frequency (Weighted Average Frequency) <Визуализация результатов анализа BSEF>

Bandwidth < Визуализация результатов анализа BSEF>

Q-factor < Визуализация результатов анализа BSEF>

Probability <Визуализация результатов анализа BSEF>

Corrective Function: Permittivity - Frequency <Настройки корректирующей функции>

Corrective Function: Permittivity - Bandwidth <Настройки корректирующей функции>

Corrective Function: Permittivity – Q-factor <Настройки корректирующей функции>

Corrective Function: Permittivity - Probability <Настройки корректирующей функции>

Mean Deviation Data Cleaning < Очистка результатов анализа BSEF по отклонению от средних значений>

Cancel Actions <Отмена очистки результатов анализа BSEF и ограничений базовых атрибутов>

Section <Панель Section>

Attributes <Панель Attributes>

Corrective Function Options <Панель Corrective Function Options>

Basis <Панель Basis – прореживание сетки разреза и ввод поправок за рельеф>

Primary Attribute и панель для настройки разреза остальных атрибутов <Панель Primary Attribute и панель для настройки разрезов других атрибутов>

Colormap <Управление цветовой схемой разреза>

Extras <Панель Extras>

Filled Contour Plot <Контурный график с заливкой>

Flaw Detection in Concrete <Дефектоскопия строительных конструкций из бетона>

Нижняя группа вкладок в режиме 2D

Axis <Настройка шкал и режимов указателя мыши>

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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>

Signal Decomposition in Components <Удаление помех с помощью 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>

Summation <Панель Summation>

Convert GPS Data to GEXYZ <Создание таблицы координат XYZ с помощью конвертера GPS данных>

Data Combining <Объединение данных многоканального георадара>

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>

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Visible Range <Панель Visible Range> Isosurface <Панель Isosurface> Cut Area < Панель Cut Area> Contours on 2D Views <Панель Contours on 2D Views> Colormap <Управление цветовой схемой разреза> Attribute Features <Панель Attribute Features> User Section <Панель User Section> Statistics <Статистический анализ>, <Визуализация статистической информации> Layer Picker for Statistics <Использование панели выбора слоёв>

Summation <Панель Summation>

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

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

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 построение разреза подповерхностной среды, как правило, решается методом визуального анализа волновой картины радарограммы и прослеживания выбранных по тем или иным критериям осей синфазности отражённых 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.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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.

Учитывая существующие особенности метода подповерхностной радиолокации: сравнительно небольшую глубинность 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 наблюденных данных. Эта задача может быть частично решена с использованием стандартных средств обработки - частотной и пространственной фильтрации [5]. Однако полного разделения полей добиться не удается. 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 є' или скорости V.

В процессе вычисления алгоритм исключает значения непопадающие в заранее заданный диапазон $\varepsilon'_1 < \varepsilon' < \varepsilon'_2$ 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 [ε' ,f,d,A,.....Mn] 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;

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 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 Vв≤V≤Vн. 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 є';
- 8. Сохранение разреза диэлектрической проницаемости в графический файл в виде изолиний с заданным шагом значений и цветовой схемой.

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.





Пример радарограммы с положением опорных точек после отбраковки по скоростному критерию.

После сортировки точек производится пересчёт значений скорости в значения диэлектрической проницаемости, так как в дальнейшем будут исследоваться не кинематические характеристики волн, а электрофизические свойства среды.

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Наиболее ответственный этап обработки – корректировка значений є' 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 {ɛ'} 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 є'.

Если для определенных в процессе обработки значений центральных частот импульсов рассчитать средние значения ε'_{cp} из множества {ε'} 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.



Puc. 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).

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

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 є' для каждой точки двумерного пространства разреза.

Наиболее информативно визуализировать матрицу значений є' 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).





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].

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

- 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 объёмах 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.



Сведено к минимуму влияние так называемого «человеческого фактора».

Puc. 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



Программа обработки георадиопокационных данных "ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ". (C) Денисов P.P., e-mail: georadar@mail.ru

Puc.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.

<u>Литература</u>

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



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

Программный комплекс автоматизированной обработки георадиолокационных данных РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

Полезные ссылки

Сайт программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ: https://www.georadar-expert.ru/

Загрузка информационного буклета: <u>https://www.georadar-</u> <u>expert.ru/download/ge_brochure_rus.pdf</u>

Загрузка краткого обзора ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ: <u>https://www.georadar-expert.ru/download/ge_software_review.pdf</u>

Загрузка руководства пользователя: <u>https://www.georadar-</u> expert.ru/download/georadar expert manual rus.pdf

Страница видео уроков: <u>https://www.georadar-expert.ru/Video.html</u>

Электронная почта технической поддержки: georadar@mail.ru

