

ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ
ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

КРАТКИЙ ОБЗОР

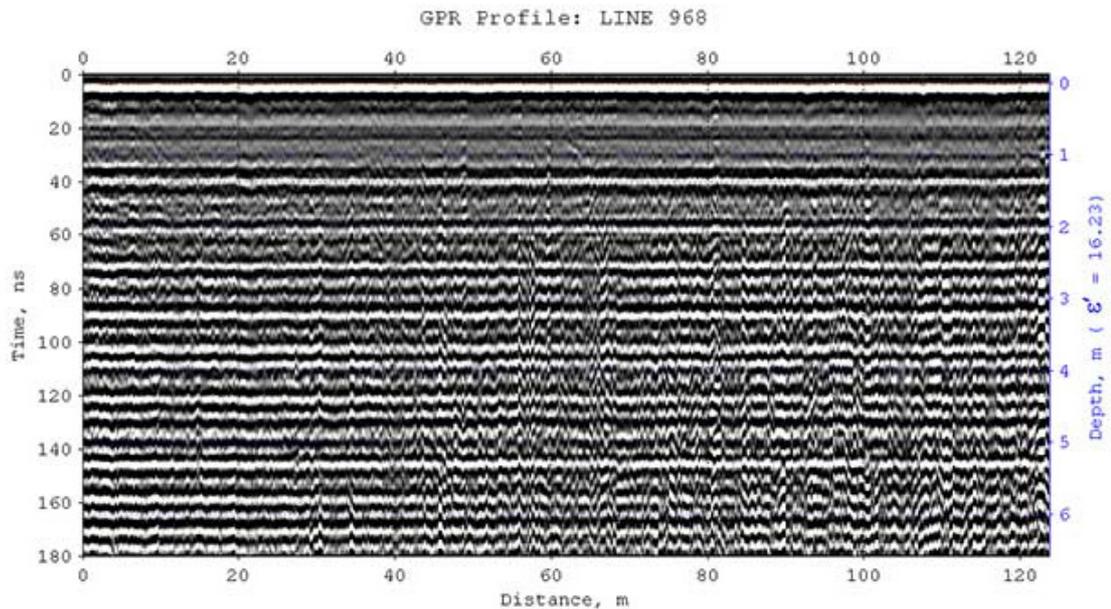
Идея разработки программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ возникла в результате обобщения многолетнего опыта профессиональной деятельности в области георадиолокационных исследований. Практические навыки, полученные на всех этапах производства георадарных работ (общение с заказчиком, разработка методик полевых изысканий и их реализация, 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. Первое – это разработка и реализация алгоритмов, служащих для увеличения глубинности георадарного исследования и повышения разрешения георадарных данных. Второе направление касается конечного результата обработки. Это уход от представления данных о подповерхностной среде в виде совокупности амплитуд отражённых сигналов в форме радарограммы к характеристикам этой среды в виде разреза атрибута. Третье направление – это минимизация влияния человеческого фактора на процесс обработки георадиолокационной информации и автоматизация этого процесса, что немаловажно при растущих, из года в год, по всему миру, объёмах георадарных исследований.

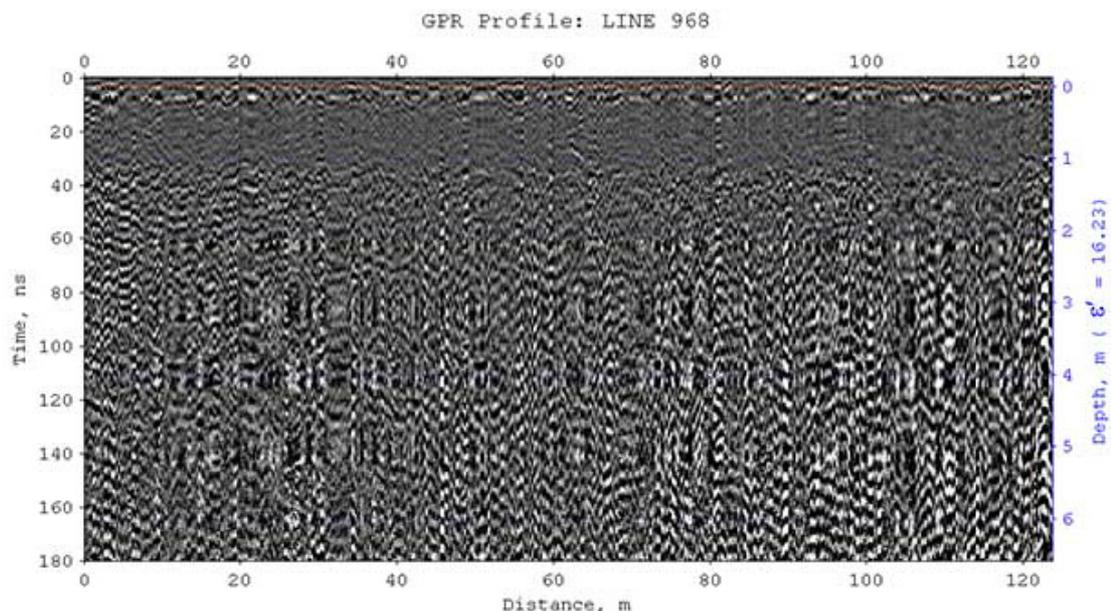
Программный комплекс ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ был разработан с учётом всех этих аспектов. В состав программного комплекса входят как стандартные опции обработки георадарных данных, реализованные в приложениях от многочисленных производителей, так и разработанные специально для ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ алгоритмы и методы, повышающие информативность и глубинность георадиолокационных исследований. Главной такой разработкой является автоматизированный анализ электромагнитного поля обратного рассеяния BSEF (Back-Scattering Electromagnetic Field). Конечным результатом обработки георадарных данных методом автоматизированного анализа BSEF являются разрезы атрибутов электрофизических характеристик подповерхностной среды и волнового поля, зарегистрированного георадаром.

Автоматизированный анализ BSEF

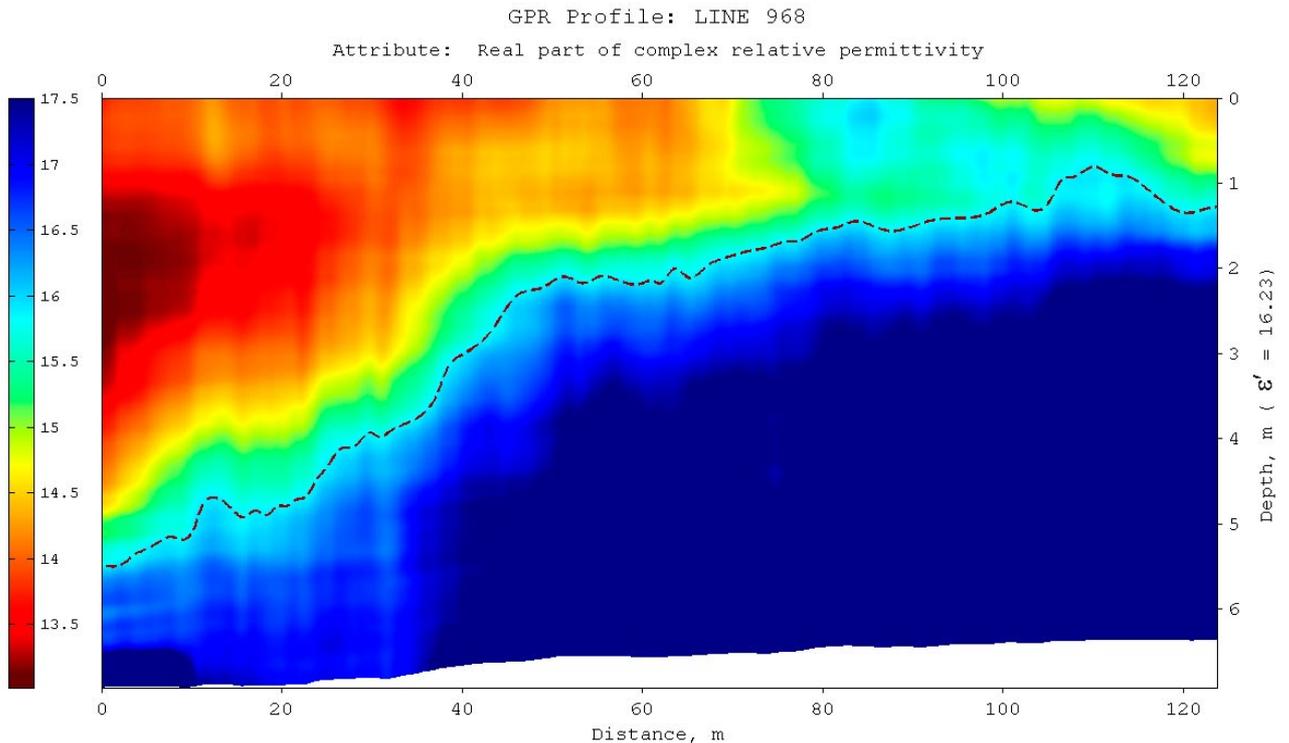
Пользователи георадаров могут столкнуться с такой ситуацией, когда качество результатов георадарного профилирования будет отличаться далеко не в лучшую сторону от образцов, представленных в рекламных материалах производителей геофизического оборудования. На образцовых радарограммах без труда прослеживаются границы между слоями, а также дифрагированные отражения от локальных объектов, по которым несложно определить скорость распространения волн в подповерхностной толще и диэлектрическую проницаемость. Такие результаты получают в ходе георадиолокационного исследования сред с малыми потерями и наличием резких изменений электрофизических характеристик на границе контакта слоёв. На практике же, приходится изучать и объекты, обладающие высоким поглощением электромагнитной энергии, без резких границ, в условиях действия помех различной природы. Нередко бывают и такие полевые записи:



Представленный выше пример является результатом георадарного профилирования насыпного грунта антенной 200 МГц. Вследствие быстрого затухания зондирующих импульсов георадара в этом насыпном грунте, слабые отражения от подошвы насыпи замаскированы более интенсивными помехами. Применение к данному георадарному профилю стандартных методов цифровой обработки сигналов, таких как вычитание средних трасс и частотной фильтрации с целью подавления помех к положительному результату не привела - граница между насыпным и коренным грунтом не просматривается. Отсутствуют также дифрагированные отражения от локальных объектов в грунте, по которым можно было бы определить скорости волн и диэлектрическую проницаемость на различных участках георадарного профиля и, опираясь на эти значения, хотя бы примерно вычислить положение границы между насыпным и коренным грунтами. Визуальный анализ обработанного профиля не даёт практически никакой полезной информации:



Далее показан результат обработки рассматриваемого георадарного профиля методом автоматизированного анализа BSEF в виде разреза атрибута “Действительная часть комплексной относительной диэлектрической проницаемости” (наиболее часто используемый атрибут). Несомненно, информационная наполненность результата существенно выше, чем у радарограммы. Разрез без труда можно разделить на два слоя. Верхний слой – насыпной грунт. На разрезе этому слою соответствуют цвета в диапазоне от светло-голубого до тёмно-красного. Коренной грунт представлен оттенками синего цвета. Граница между слоями показана пунктирной линией:

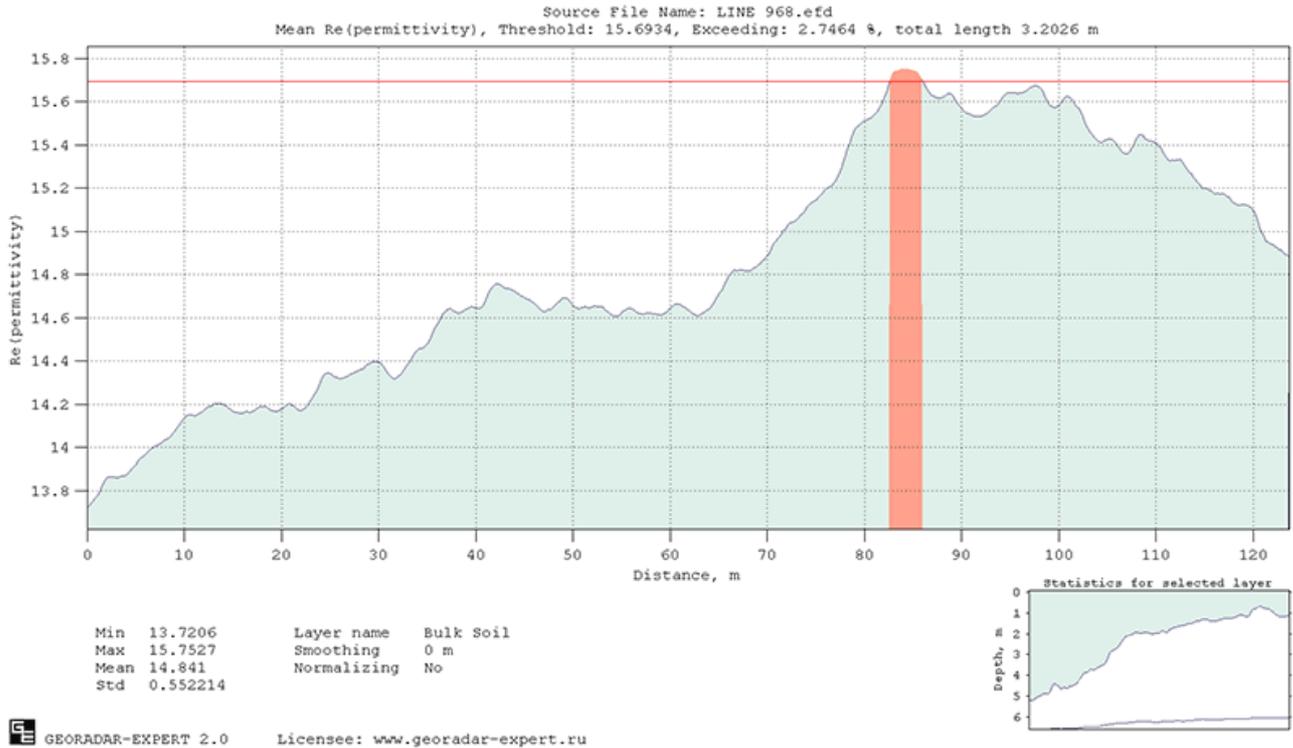


Unit of measurement:	Dimensionless quantity		
Minimum value	13.01	Number of measuring points	31123
Maximum value	34.93	Average distance, m	0.16
Average value	16.23	Density, points per sq m	39.39

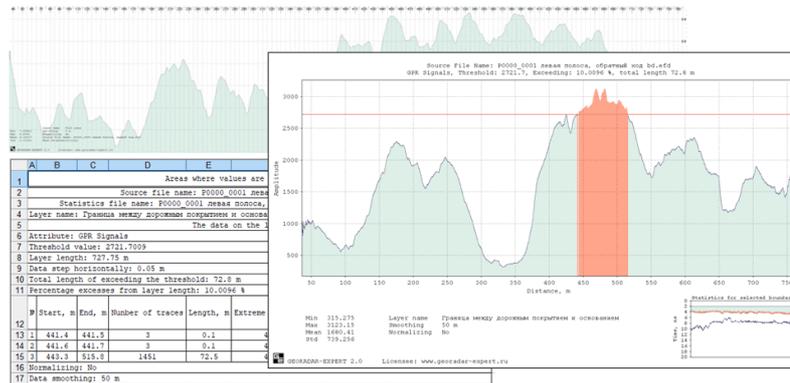


GEORADAR-EXPERT 2.0 DEMO Licensee: Demo version. georadar-expert.ru, georadar@mail.ru

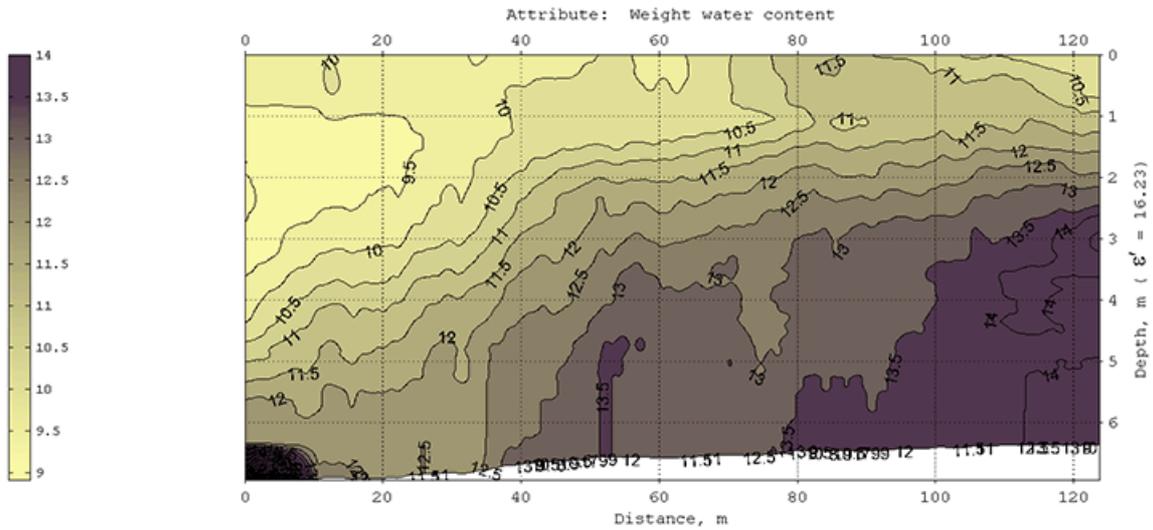
По изменению цветовой гаммы на разрезе можно проследить изменения электрофизических характеристик грунта внутри каждого слоя. Для более наглядного представления изменений атрибута разреза можно использовать статистический модуль программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ и получить данные по каждому слою, по каждой границе слоя или для всего разреза в целом в виде графиков и таблиц по двенадцати статистическим показателям. На рисунке ниже показан график изменения средних значений диэлектрической проницаемости в слое насыпного грунта. Область графика, превышающая заданный пользователем порог окрашена красным цветом:



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), значительно повышает информативность георадиолокационного исследования и делает результат этого исследования более понятным конечному пользователю. Экспорт результатов обработки в графические форматы, в форматы электронных таблиц и сеточный формат данных позволяет работать с этими результатами в компьютерных программах для визуализации числовых массивов и создания чертежей, таких как Surfer , AutoCad или аналогичных им.



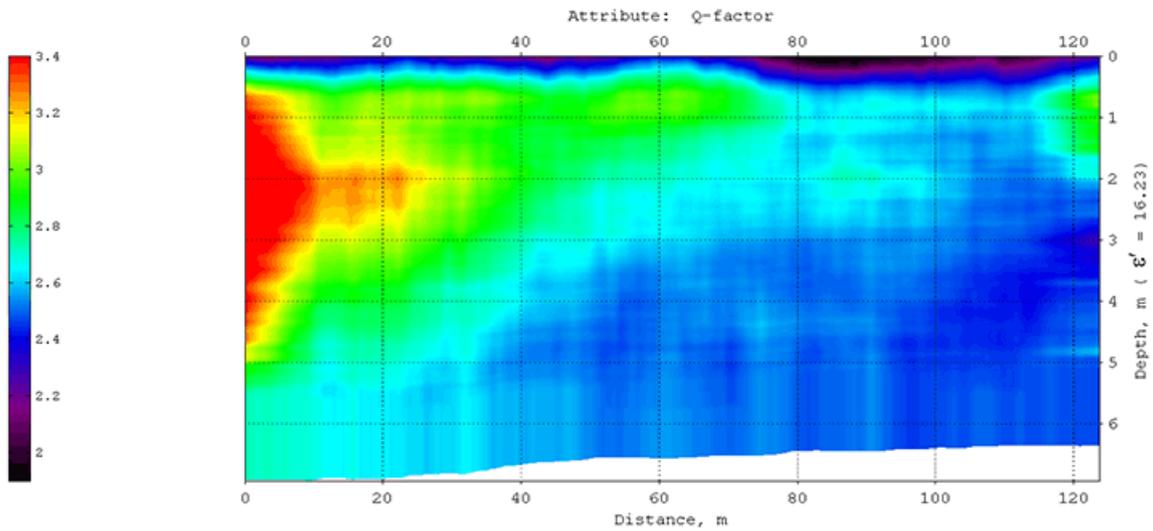
Полный перечень атрибутов разрезов в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ достаточно широк – весь список можно посмотреть в руководстве пользователя ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, которое доступно по [СЛЕДУЮЩЕЙ ССЫЛКЕ>>](#). В качестве примера, на рисунках далее показаны разрезы по рассматриваемому георадиолокационному профилю атрибутов весовой влажности и Q-factor (отношение центральной частоты спектра сигналов к его ширине), который часто используют для выявления разуплотненных областей в грунте или зон пониженной прочности в строительных конструкциях.



Unit of measurement: percent

Minimum value	8.92	Number of measuring points	31123
Maximum value	28.85	Average distance, m	0.16
Average value	11.94	Density, points per sq m	39.39

GEORADAR-EXPERT 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru



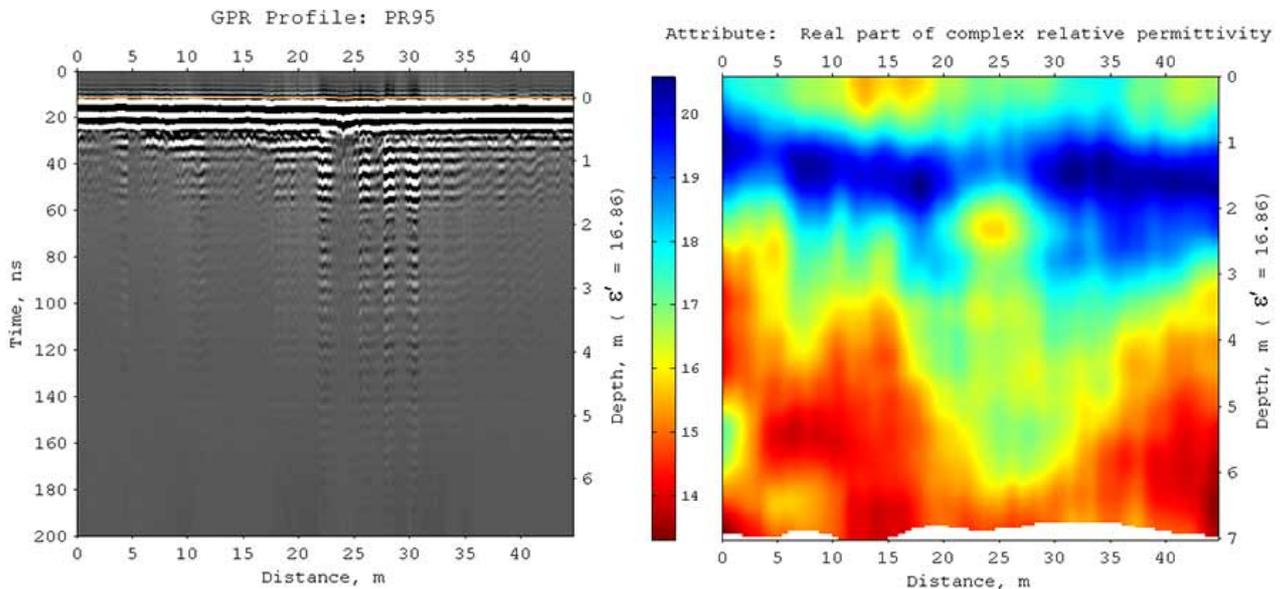
Unit of measurement: Dimensionless quantity

Minimum value	1.8	Number of measuring points	31123
Maximum value	3.66	Average distance, m	0.16
Average value	2.67	Density, points per sq m	39.39

GEORADAR-EXPERT 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru

Большим преимуществом автоматизированного анализа BSEF является возможность исследовать подповерхностные среды, электрофизические характеристики которых изменяются плавно, без резких скачков, формирующих отражающие границы. На рисунке ниже слева представлен результат георадарного профилирования грунта с плавным изменением электрофизических характеристик, а

справа - разрез диэлектрической проницаемости по этому профилю, созданный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ:



В рассматриваемом примере георадарный профиль пересекает русло пересохшего ручья. По разрезу можно сказать, что участки наибольшей влажности, которые соответствуют наибольшим значениям диэлектрической проницаемости, находятся в диапазоне глубин от 1 до 2 метров. Граница между плотным грунтом и рыхлыми отложениями имеет вогнутую форму и достигает глубины чуть более 6 метров на отметке 25 метров по профилю. Волновая картина георадарного профиля без применения к ней обработки методом автоматизированного анализа BSEF всей этой информации предоставить геофизику не может.

Время выполнения автоматизированного анализа BSEF и расчёта разрезов сравнительно невелико. Например, обработка данного георадарного профиля производилась в течение нескольких минут на компьютере с тактовой частотой процессора 2.4 МГц. Значительная экономия времени происходит в случае обработки большого объёма однотипных георадарных данных – например, результатов профилирования автомобильных или железных дорог. Пользователь, настроив параметры автоматизированной обработки и запустив процесс, может переключиться на другие задачи, а программный комплекс будет самостоятельно загружать георадарные профили и сохранять результаты обработки на жёсткий диск компьютера.

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

- Увеличивается глубинность георадиолокационных исследований – алгоритм обработки данных имеет высокую помехоустойчивость и хорошо работает в зонах сильного зашумления сигналов, расположенных в нижней зоне георадарного профиля;
- Повышается информативность георадиолокационных исследований – разрез по результатам автоматизированного анализа BSEF позволяет получить информацию о строении исследуемой подповерхностной среды даже в условиях плавного изменения её электрофизических характеристик, т.е. в условиях отсутствия границ слоёв на радарограмме. Если же эти границы

имеются, то изменение электрофизических характеристик внутри слоя также представляет несомненный интерес;

- Значительно 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 в процессе обработки и интерпретации георадарных данных;
- Предоставляются более широкие возможности для исследования сложно построенных сред.

Цифровая обработка сигналов георадарного профиля

Наряду с анализом поля обратного рассеяния BSEF и построением на основе данного анализа разрезов свойств среды и 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 фильтраций и другие стандартные опции цифровой обработки сигналов, управление геометрией георадарного профиля, работа с пользовательскими границами слоёв и т.д. – словом всё то, с чем привык работать геофизик-интерпретатор. Весь функционал программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ подробно описан в руководстве пользователя, которое можно скачать [ПО ЭТОЙ ССЫЛКЕ >>](#). В дополнение к вышеуказанному, в ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализованы алгоритмы и методы обработки сигналов, специально разработанные для данного программного комплекса. Например, метод B-Detector (Boundaries Detector).

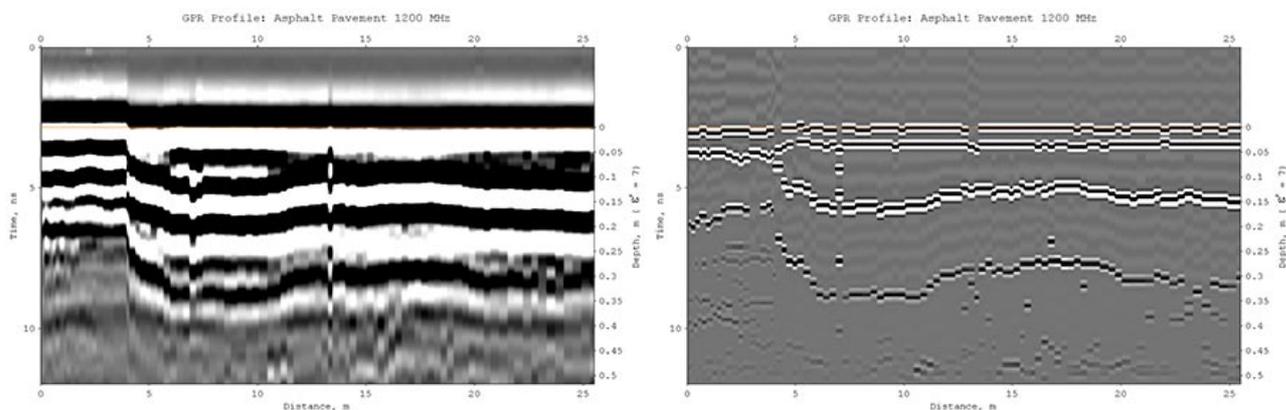
Метод B-Detector предназначен для обнаружения отражений от границ раздела сред на волновой картине георадарного профиля, подавления помех, перекрывающих эти отражения, и повышения вертикального разрешения георадарных данных. При помощи B-Detector пользователь управляет частотой и шириной спектра сигналов, тем самым меняя их длительность и степень детализации на радарограмме.

В качестве примера применения метода B-Detector рассмотрим георадиолокационный профиль, который был получен в ходе обследования автомобильной дороги антенной 1200 МГц – см. рисунок ниже слева. Начиная с отметки 5 метров от начала профиля дорожное асфальтобетонное покрытие состоит из двух слоёв. Верхний слой 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. Ниже располагается слой щебёночного основания со средней толщиной около 0.15 м. Но не все эти границы видны на георадарном профиле. Например, не видна граница между слоями асфальтобетона. Этот факт позволяет сделать вывод, что разрешающей способности антенны 1200 МГц недостаточно для детектирования границ контакта конструктивных слоёв дорожной одежды.

К тому же, точное вертикальное позиционирование границ по волновой картине данного георадарного профиля также затруднительно, т.к. фазовые смещения сигналов в результате наложения отражений от близлежащих границ слоёв вносят свои искажения. Вне зависимости от того,

опираясь на какие критерии пользователь будет прокладывать границы – по экстремумам осей синфазностей сигналов или по линии изменения знака амплитуды сигналов, эти фазовые искажения будут влиять на точность позиционирования.

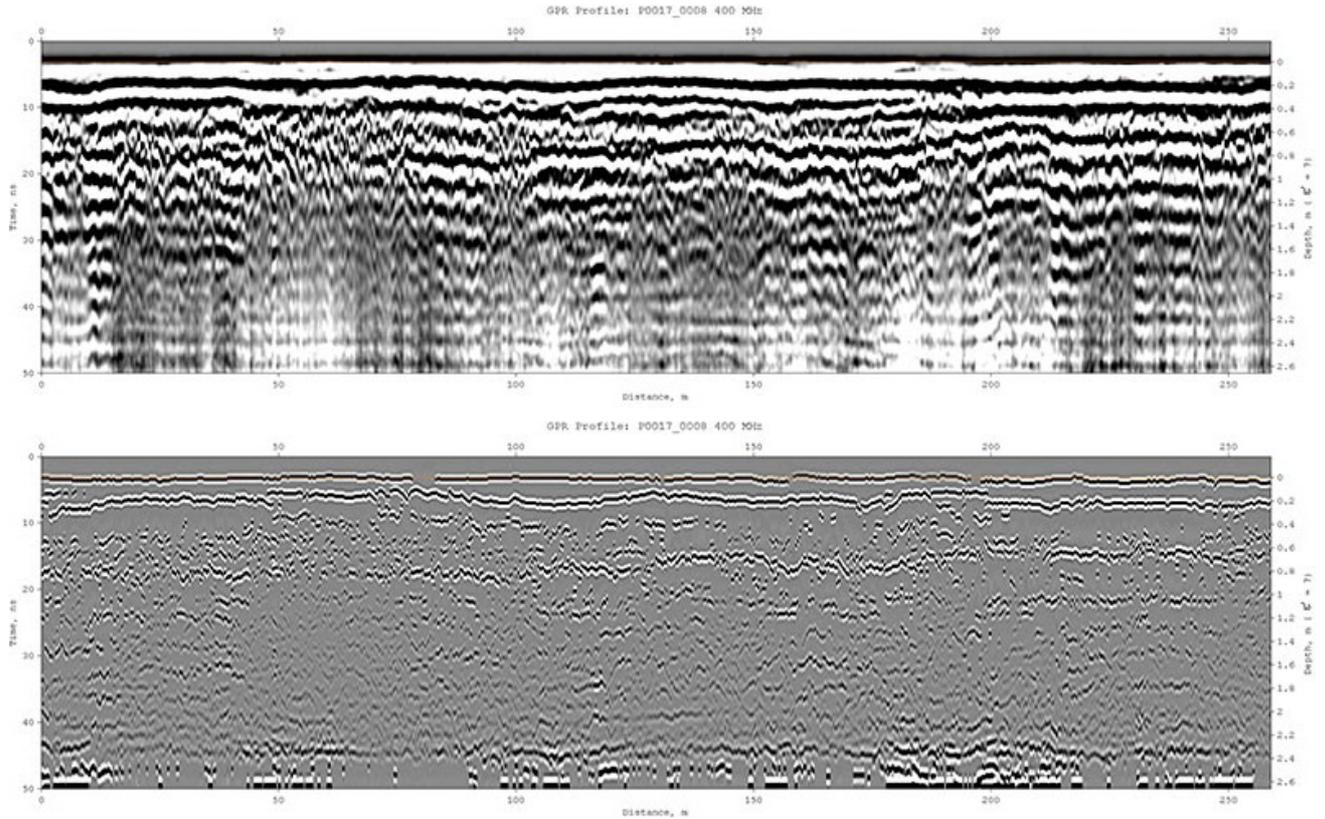
В такой ситуации было бы логично использовать антенну с более высокой частотой для излучения радиоимпульса меньшей длительности, что привело бы к улучшению разрешения сигналов. Но одновременно с этим снизилась бы глубинность георадарного исследования. Дело в том, что коэффициент затухания радиоимпульса в подповерхностной среде увеличивается пропорционально росту его частоты. По этой причине, на аппаратном уровне невозможно достичь увеличения разрешения сигналов без уменьшения глубинности георадарного исследования. На программном же уровне частично преодолеть это противоречие возможно при помощи метода B-Detector. На рисунке ниже справа показан результат применения данного метода к рассматриваемому профилю:



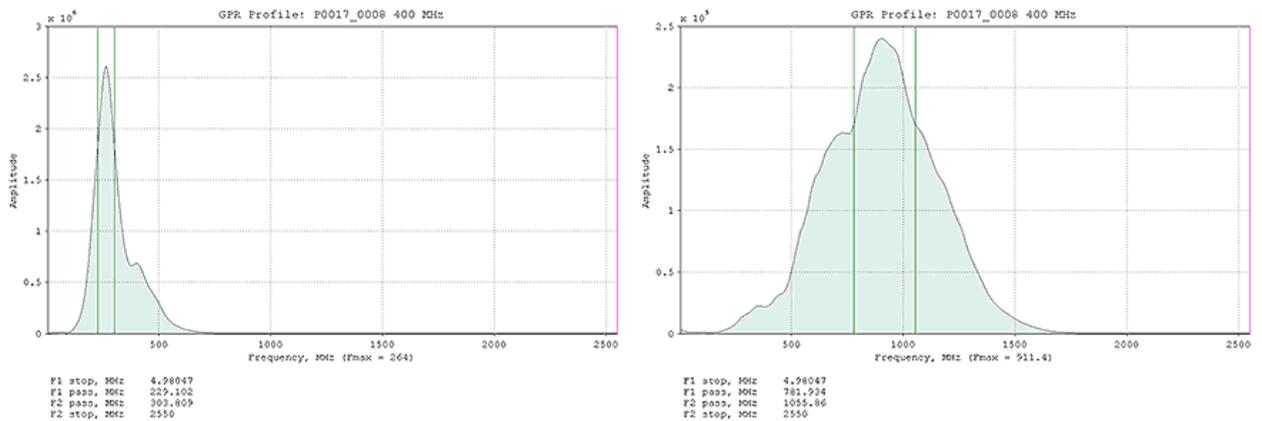
ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru

Разрешение сигналов после применения метода B-Detector заметно повысилось, стали отчетливо видны отражения ото всех границ слоёв дорожной одежды. Фазы этих отражений нормализовались, отражения стали более компактными во временной области, искажения, вызванные взаимовлиянием отражений от близлежащих границ, устранены. Всё вышеперечисленное сводит к минимуму ошибки позиционирования в процессе пикировании границ. Отражения стали хорошо адаптированными к автоматизированной пикировке границ, которая также реализована в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Это немаловажно для обработки больших объёмов данных, полученных в ходе автодорожных или железнодорожных георадарных исследований.

Далее, в качестве ещё одного примера, показан результат георадиолокационного профилирования автомобильной дороги антенной 400 МГц. На верхнем рисунке – необработанная полевая запись, на нижнем рисунке – результат обработки методом B-Detector:



Обработка методом B-Detector позволила уверенно проследить нижнюю границу дорожного покрытия, глубина залегания которой колеблется вокруг отметки 0.2 метра, и которую сложно полностью обнаружить на исходном георадарном профиле. На рисунке ниже слева показан амплитудно-частотный спектр необработанных сигналов радарограммы, справа – спектр сигналов после применения метода B-Detector:



ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru

В результате применения метода B-Detector центральная частота сигналов георадарного 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 (чем шире спектр импульса, тем короче его длительность, а значит лучше разрешение радарограммы по вертикали). Про георадарный профиль, полученный в результате применения метода B-Detector, можно сказать, что он как будто бы был записан при помощи условного георадара с антенной $400 \cdot 3.5 = 1400$ МГц, но при этом глубина проникновения

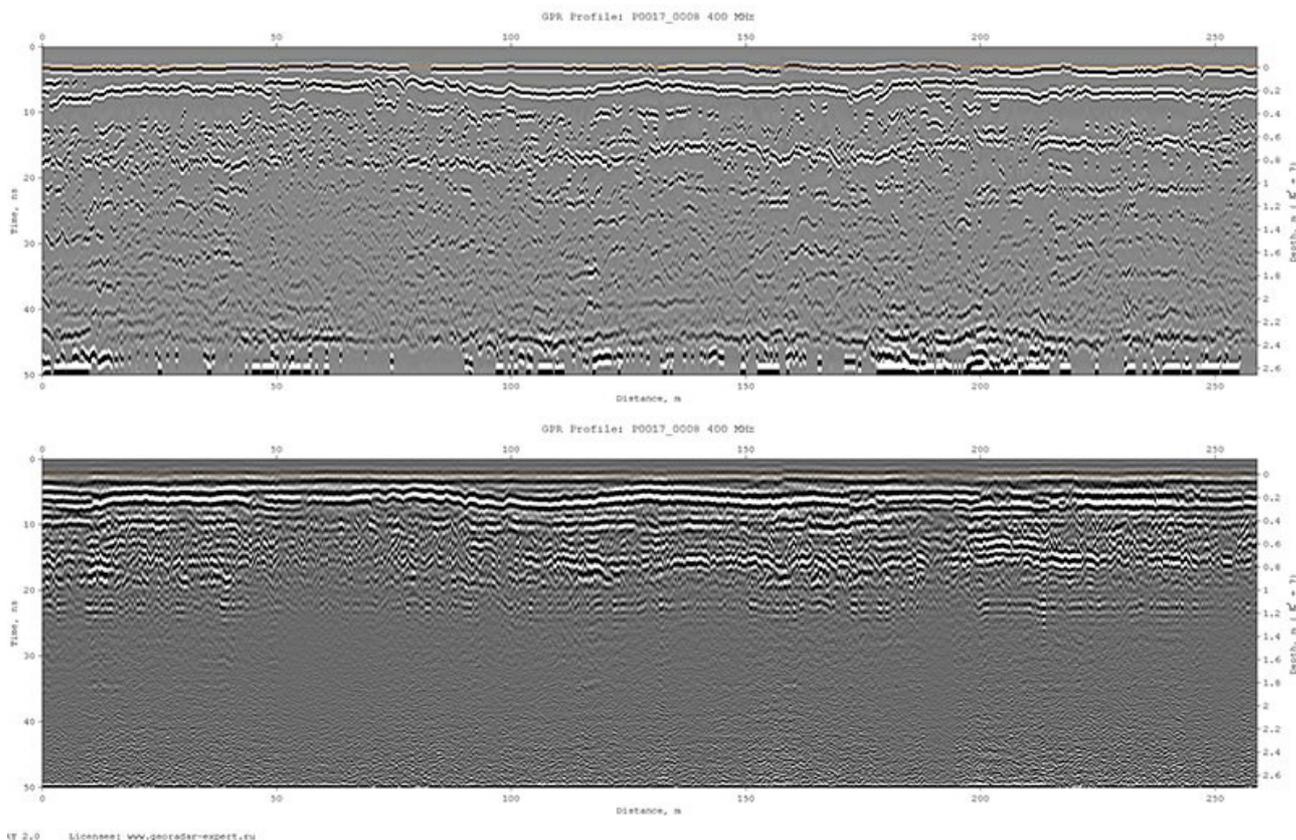
зондирующего импульса у этого условного высокочастотного георадара такая же, как у реального георадара с антенной 400 МГц.

Чаще всего, в ходе дорожных работ необходимо получить две радарограммы по одному и тому же профилю. Одна радарограмма записывается при помощи высокочастотной антенны с глубиной около 1 метра. Эта запись используется для изучения дорожного покрытия и его основания. Вторая радарограмма записывается при помощи среднечастотной антенны с глубиной 3 - 5 метров, которая используется для исследования дорожного основания и грунтов земляного полотна.

Если в используемом для дорожных исследований георадаре не предусмотрена одновременная запись нескольких профилей за один проход, то для получения двух радарограмм необходимо два раза проходить один и тот же профиль с разными антеннами. В этом случае использование метода V-Detector даёт возможность отказаться от высокочастотной антенны и записывать не два, а всего один георадарный профиль дороги при помощи среднечастотной антенны. Например, 400 МГц – как в рассматриваемом примере. В этом случае объём полевых и камеральных работ сократится вдвое. Если учитывать значительный метраж георадарного профилирования при дорожных работах, это ощутимая экономия. Даже в случае использования многоканального георадара, который позволяет за один проход записывать более одного георадарного профиля, использование метода V-Detector сокращает объём камеральных работ и повышает качество обработки.

Ещё один аргумент в пользу применения метода V-Detector. Небольшая проектно-изыскательская организация может не обладать полным комплектом георадаров, перекрывающих весь диапазон рабочих частот георадиолокации. Приобретение большого количества данного оборудования требует значительных финансовых затрат. В этом случае, применение метода V-Detector позволит компенсировать отсутствие высокочастотных антенн путём использования низкочастотных антенн в тех областях георадарных исследований, в которых применяются высокочастотные антенны. Таким образом, будет расширен круг решаемых задач, что приведёт к увеличению количества заказчиков работ.

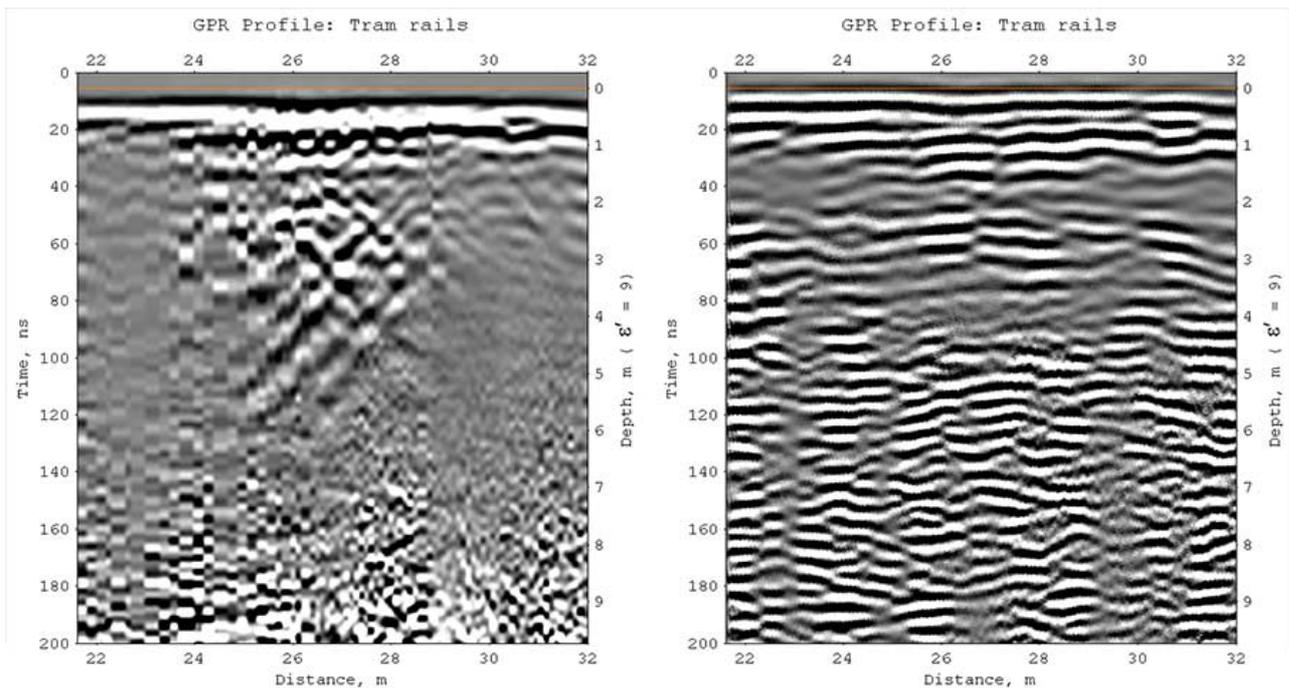
Наряду с методом V-Detector, повышение разрешения результатов георадарного профилирования по глубине в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ можно производить при помощи вейвлет-декомпозиции сигналов георадарного профиля. Это преобразование напоминает оконное преобразование Фурье, только преобразование Фурье раскладывает сигнал на составляющие в виде синусов и косинусов, а при вейвлет-декомпозиции используются специальные функции - вейвлеты, график которых по форме напоминает зондирующий импульс георадара. Пользователь задаёт порядок вейвлета и уровень разложения. Низкочастотные уровни разложения отбрасываются, после чего сигналы восстанавливаются. Таким образом, повышается центральная частота сигналов и ширина их спектра. Ниже показано сравнение результатов применения методов V-Detector (верхнее изображение) и вейвлет-декомпозиции сигналов.



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

Одна из проблем, с которыми сталкивается геофизик при обработке георадиолокационных данных - это подавление отражений от объектов, расположенных на дневной поверхности. Эти так называемые воздушные отражения могут иметь высокий уровень амплитуд и эффективно перекрывать полезные сигналы, пересекая их своими наклонными фрагментами. Иногда экранировка антенн георадара от этих помех в должной мере не спасает. Наиболее подвержены этим помехам результаты профилирования дипольными низкочастотными антеннами, у которых экранировка не предусмотрена. Наряду с этим, в качестве помех выступают дифрагированные отражения от контрастных локальных объектов подповерхностной среды. Эти отражения также могут маскировать менее интенсивные отражения от границ слоёв.

Пространственный фильтр, реализованный в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, позволяет решить эту проблему. В качестве примера подавления перекрывающих помех при помощи пространственного фильтра взят георадарный профиль, проходящий через трамвайные пути - на рисунке ниже слева показан профиль до обработки. Профиль записан георадаром с низкочастотной антенной 150 МГц. На этом профиле интенсивные отражения от металлических рельсов и объектов инфраструктуры трамвайных путей пересекают и, тем самым, маскируют более слабые отражения от границ слоёв в грунте. Справа показан результат пространственной фильтрации. Дифрагированные отражения-помехи подавлены и уже не могут скрывать отражения от протяжённых границ слоёв.



 GEORADAR-EXPERT 2.0 Licensee: www.georadar-expert.ru

Опции цифровой обработки сигналов георадарного профиля, которых в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ насчитывается более двух десятков, позволяют решать практически весь спектр проблем, с которыми сталкиваются пользователи в ходе обработки георадиолокационных данных. Автоматизация действий пользователя освобождает его от обязанности постоянного присутствия за компьютером. Пользователь может сохранить последовательность процедур обработки данных в файл и применять эту последовательность в дальнейшем. 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. Полное описание возможностей программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ смотрите в руководстве пользователя, которое можно скачать [ПО ЭТОЙ ССЫЛКЕ >>](#)

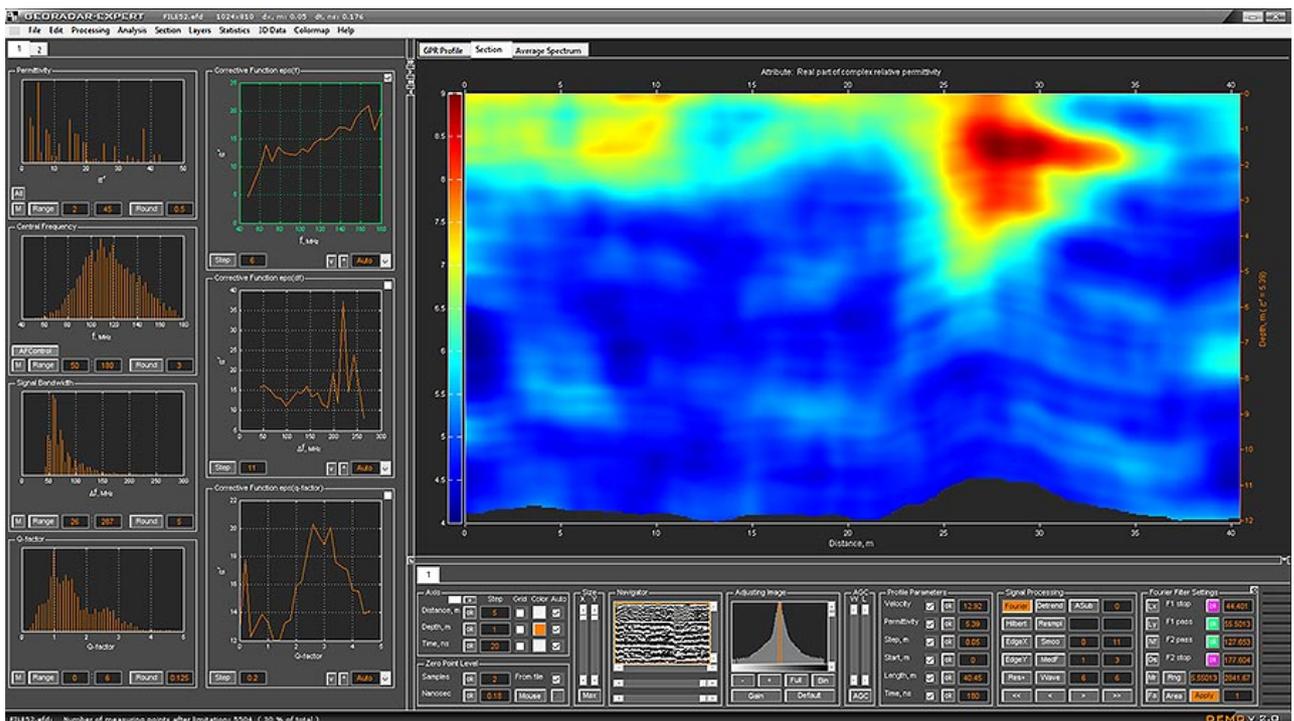
Интерфейс пользователя

Графический интерфейс пользователя программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ представляет собой набор вкладок, каждая из которых служит для определённых задач и содержит панели с элементами управления этими задачами. Вкладки расположены в главном окне программы, в верхней части этого окна расположена стандартная строка меню. Пользователь может менять соотношение размеров вкладок или скрывать их. В ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрено два различных режима главного окна программы – 2D и 3D. Режим 2D предназначен для работы с двумерными данными – георадиолокационными профилями и разрезами, созданными по результатам автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF. Режим 3D служит для визуализации трёхмерного объёма георадарных данных и сечений этого объёма. Трёхмерный объём формируется из разрезов атрибута, созданных по результатам анализа BSEF набора георадарных профилей,

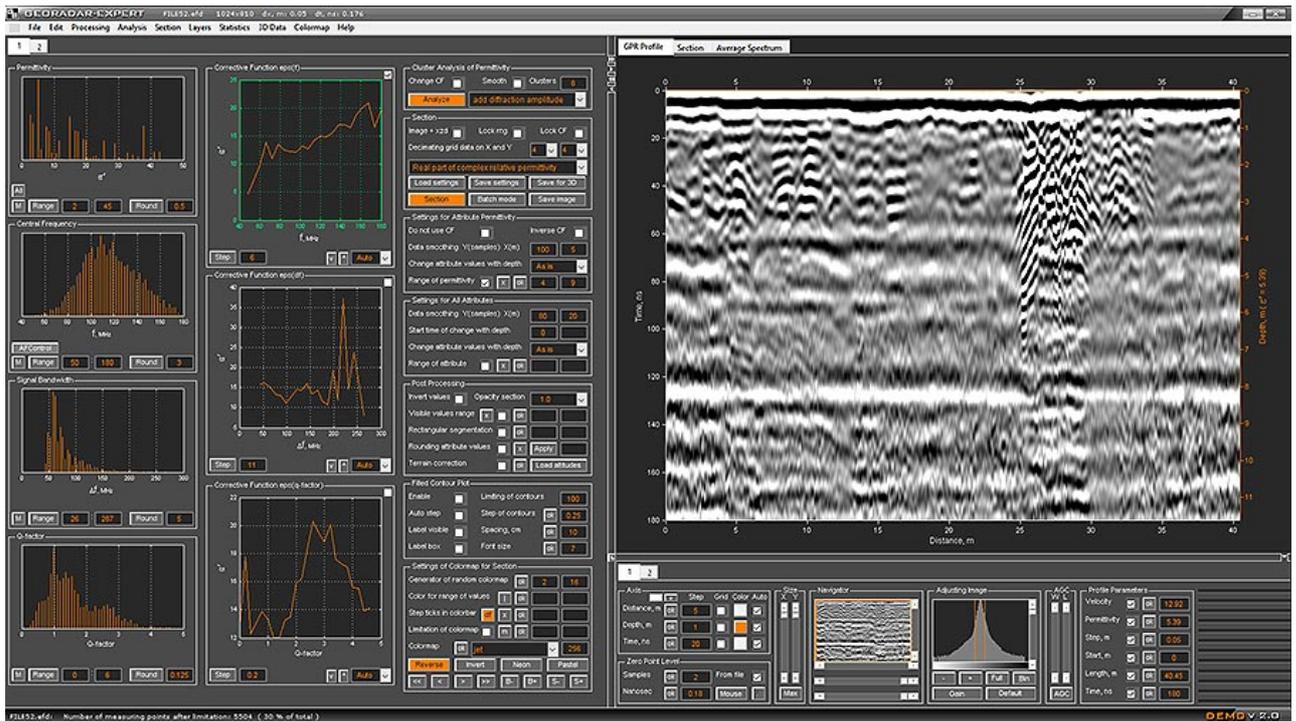
записанных в ходе площадного георадарного исследования. Режим главного окна изменяется автоматически, в зависимости от типа загружаемых в программный комплекс данных.

Далее показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в режиме 2D. Верхняя группа вкладок служит для визуализации двумерных данных, графиков спектра сигналов и статистической информации. В данном примере активна вкладка визуализации разреза. Рядом расположены неактивные вкладки визуализации георадарного профиля и амплитудно-частотного спектра сигналов этого профиля. Чтобы активировать какую-либо вкладку, пользователю нужно щёлкнуть мышью по этой вкладке, после чего данные на этой вкладке будут доступны, а данные на остальных вкладках из этой группы будут скрыты.

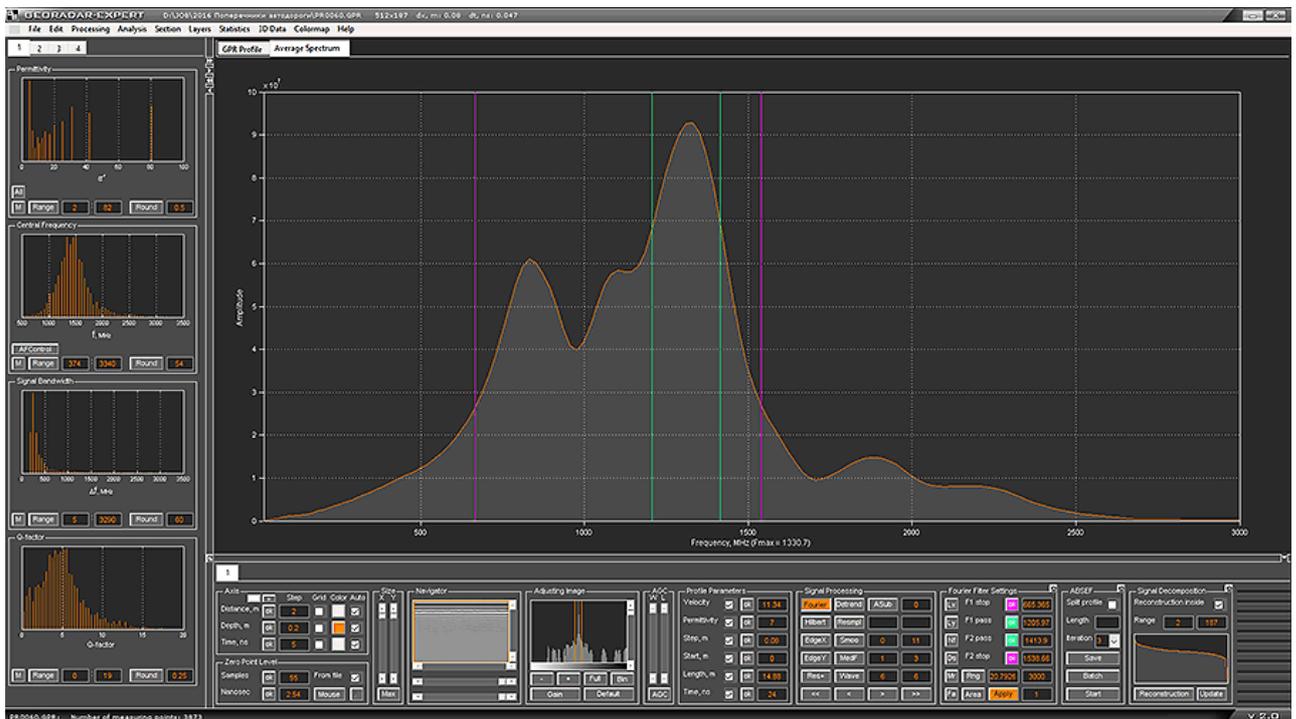
В левой части главного окна программного комплекса расположены вкладки, предназначенные для графического представления результатов анализа BSEF и элементы управления созданием и визуализацией разреза по результатам этого анализа. В нижней части главного окна расположена группа вкладок, предназначенная для размещения элементов управления отображением радарограммы, свойствами георадарного профиля и настройками его обработки. Все три группы вкладок разделены между собой двумя сепараторами - вертикальным и горизонтальным, которые содержат кнопки управления размером вкладок.



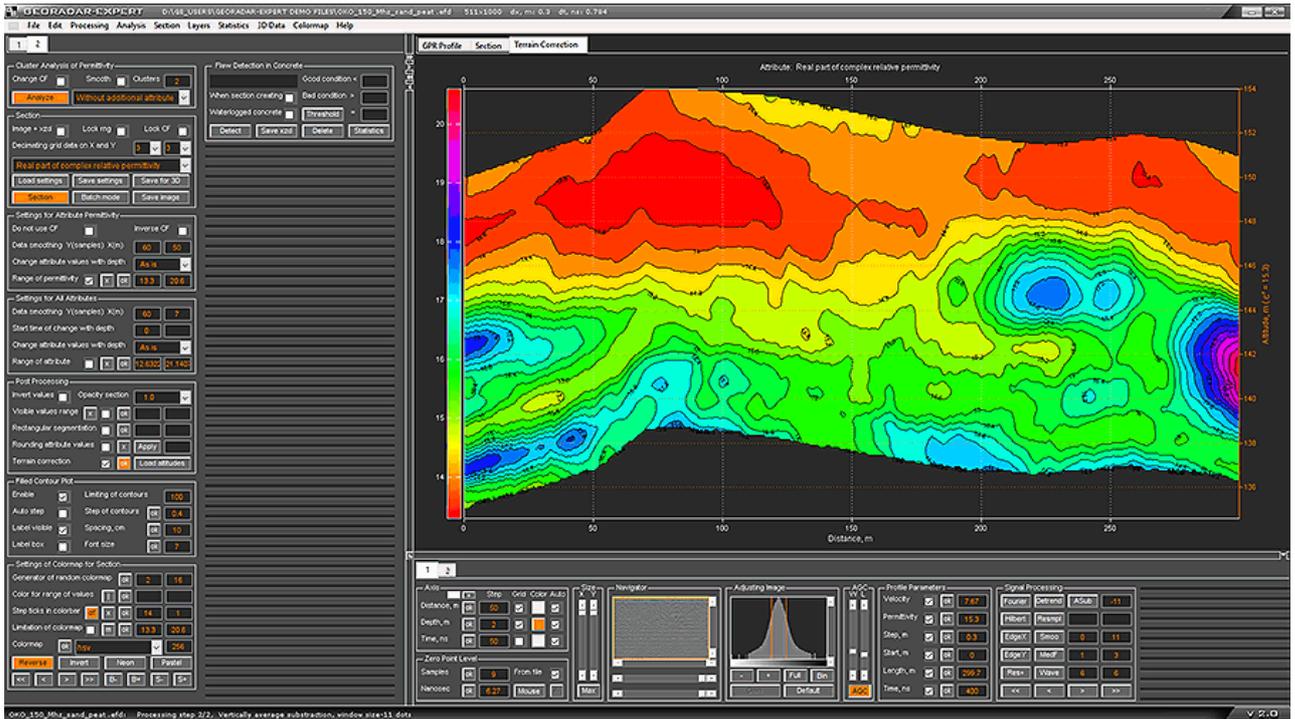
Ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с активной вкладкой визуализации георадарного профиля. В отличие от предыдущего примера, соотношение групп вкладок изменено - размер левой группы вкладок увеличился за счёт уменьшения размеров верхней и нижней групп:



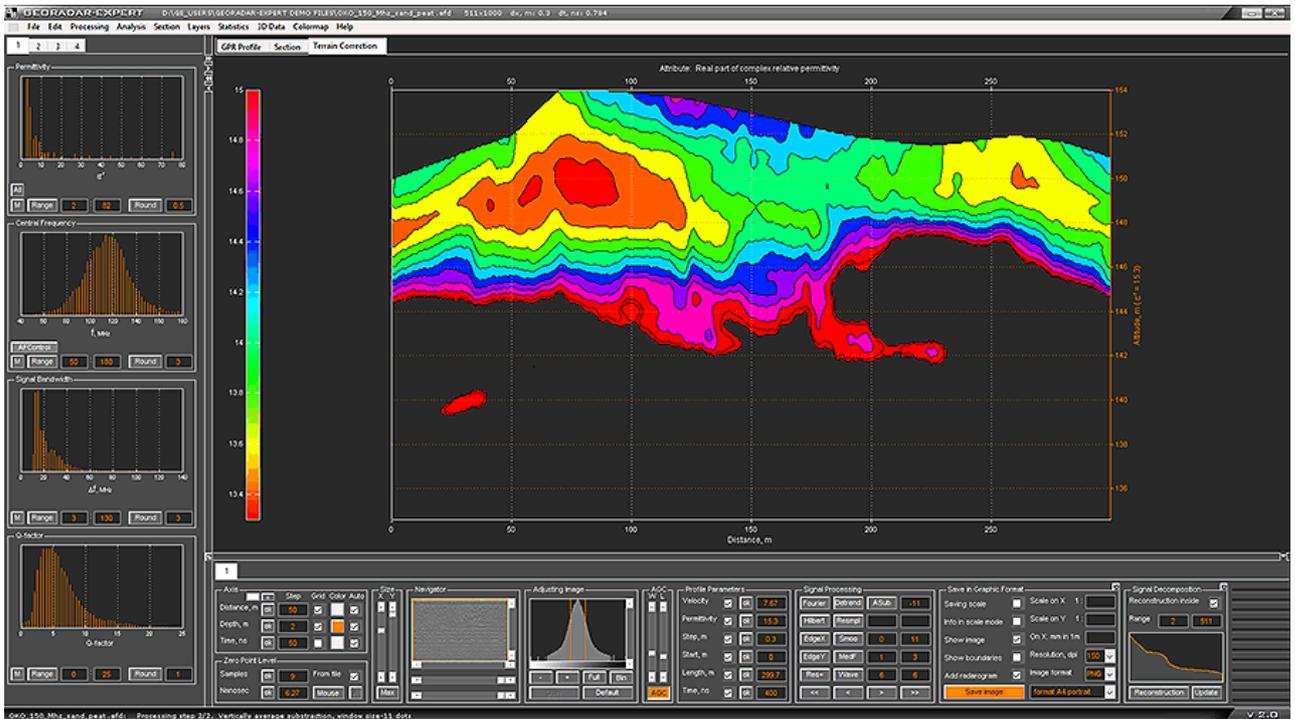
Далее показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ с активной вкладкой отображения амплитудно-частотного спектра сигналов георадарного профиля. Размеры верхней и нижней групп вкладок увеличены за счёт левой группы вкладок:



Ниже показана вкладка разреза с поправкой за рельеф. В левой группе вкладок активна крайняя вкладка, площадь которой лишь частично занята панелями настроек создания и визуализации разреза:

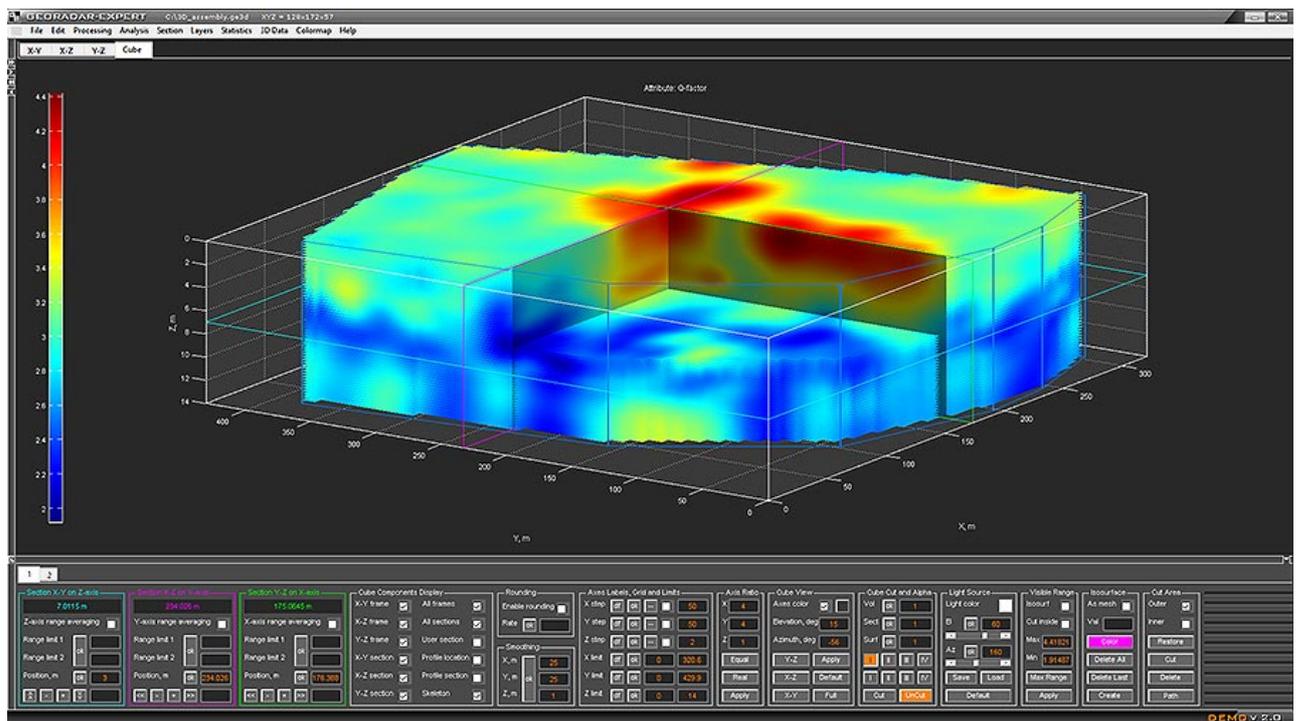


Далее показана вкладка визуализации разреза с поправкой за рельеф в режиме ограничения видимости атрибута. В этом режиме области разреза, содержащие значения атрибута, выходящие за границы заданного пользователем диапазона, не визуализируются. Скрытые области не принимаются во внимание в процессе статистического анализа и анализа пространственного распределения значений атрибута. Таким образом, пользователь может исключить из этих расчётов часть разреза, если в этом возникнет необходимость.

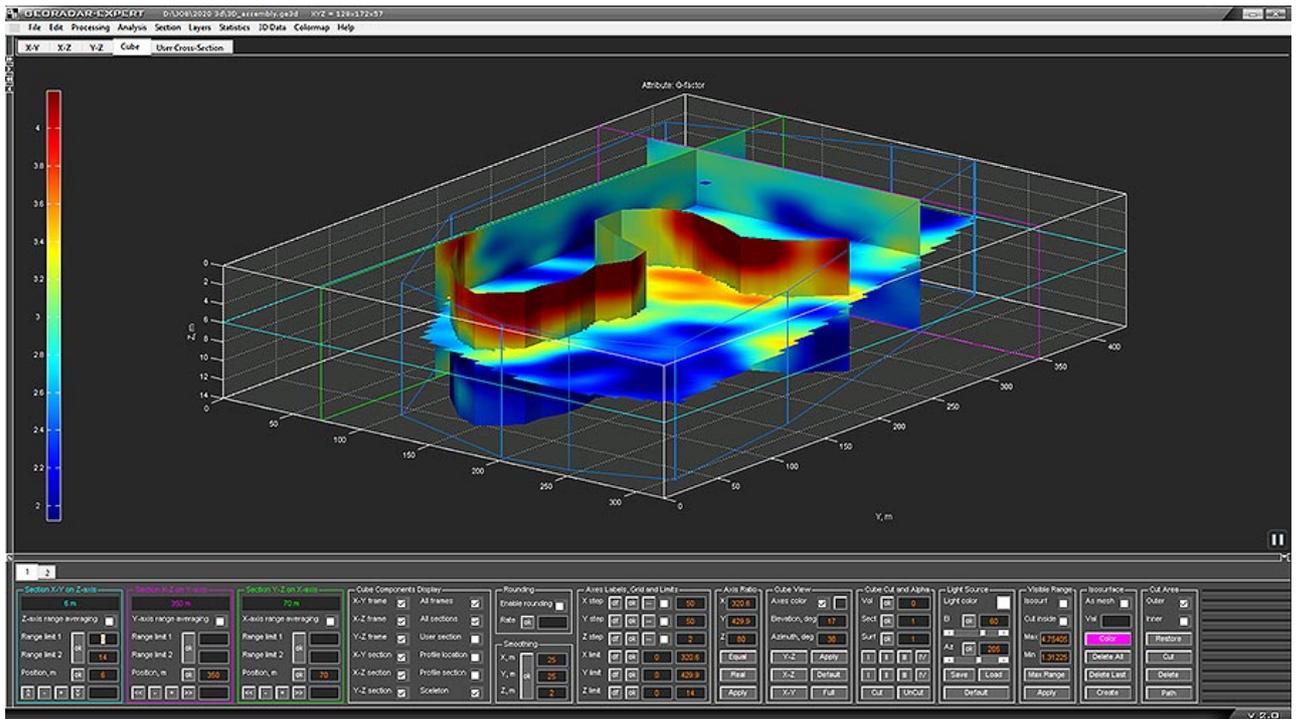


Для работы с результатами площадной георадарной съемки предназначен режим 3D главного окна программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ. Этот режим служит для визуализации трёхмерной сборки разрезов, созданных на основе результатов автоматизированного анализа поля обратного рассеяния BSEF по георадиолокационным профилям неодинаковой длины и произвольной ориентации. При формировании 3D сборки разрезов возможен учёт положения георадарных профилей по координатам GPS или ГЛОНАСС. В режиме 3D левая группа вкладок, доступная в режиме 2D, скрыта. Верхняя группа вкладок предназначена для визуализации 3D объёма, взаимно перпендикулярных сечений и произвольных пользовательских сечений 3D объёма. Нижняя группа вкладок служит для размещения элементов управления 3D визуализацией.

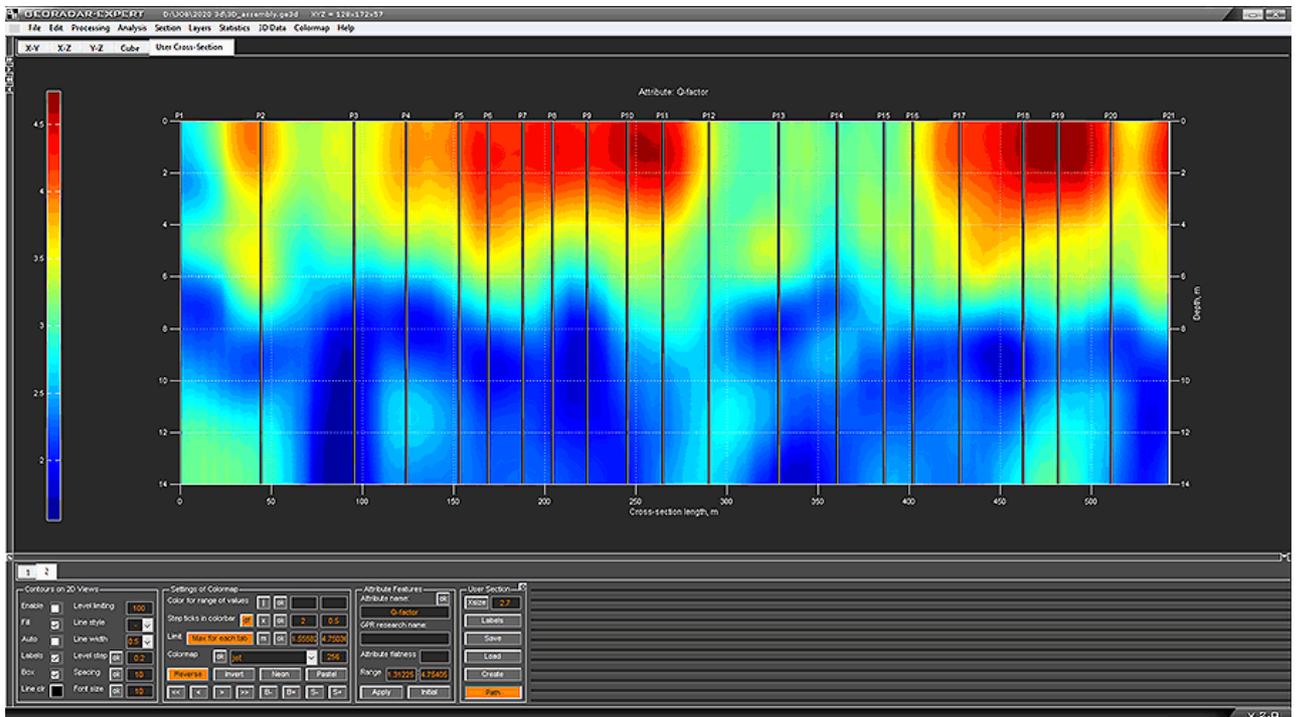
На рисунке ниже показано главное окно программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ в режиме 3D с активной вкладкой визуализации объёма 3D сборки. Объём делится на части тремя ортогональными сечениями - одним горизонтальным и двумя вертикальными. В результате получается восемь подобъёмов – четыре лежат выше горизонтального сечения и четыре расположены ниже этого сечения. Менять размеры подобъёмов можно при помощи перемещения ортогональных сечений вдоль соответствующих им осей. На представленном примере вырезана (сделана прозрачной) одна верхняя четверть объёма 3D сборки:



Пользователь может управлять уже существующими по умолчанию ортогональными сечениями 3D сборки – менять их положение, усреднять заданную толщину 3D объёма по всем трём направлениям X Y Z и представлять результат в виде ортогональных сечений, 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 активной вкладкой визуализации 3D объёма, содержащей три ортогональных сечения и одно пользовательское криволинейное сечение:

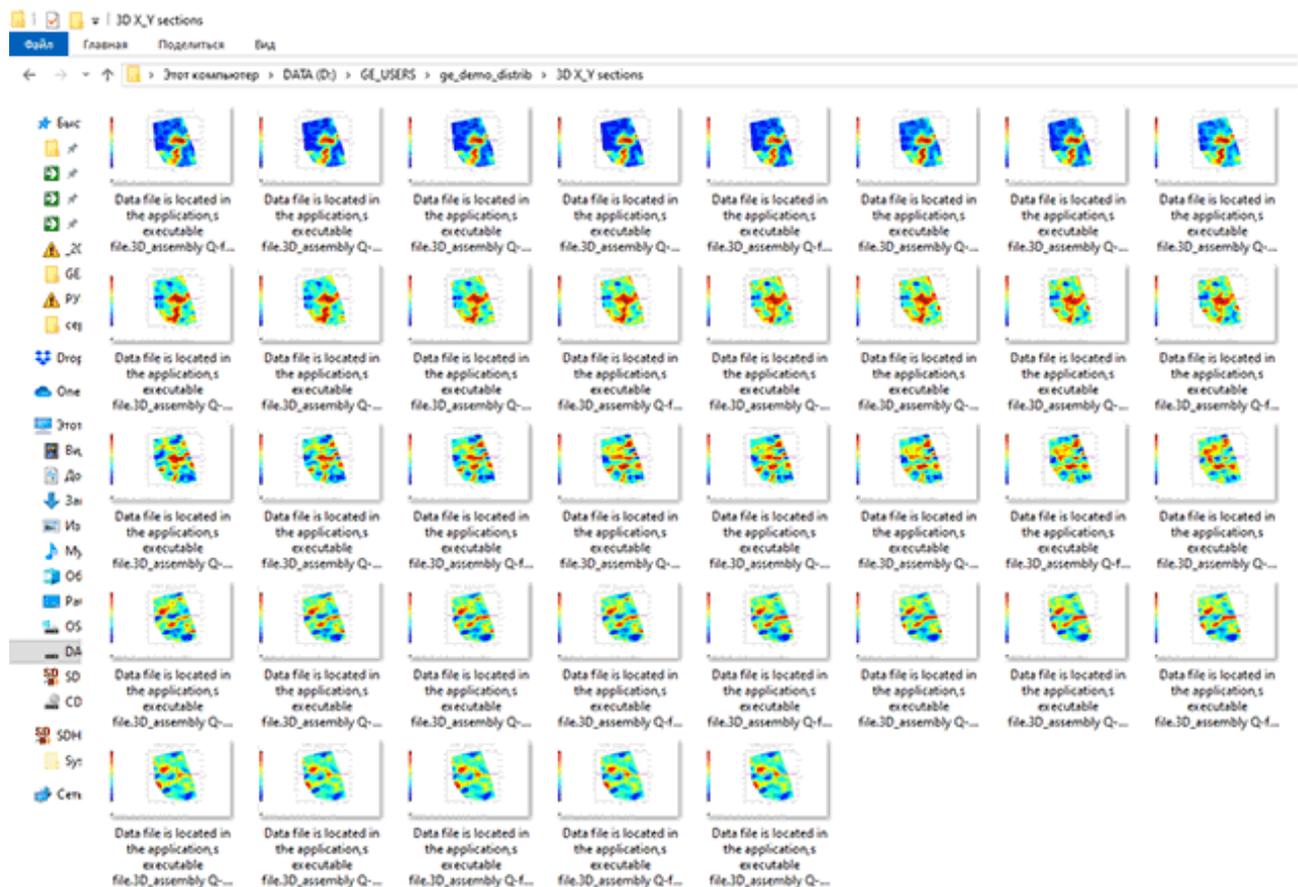


Ниже показана вкладка с развёрткой этого криволинейного пользовательского сечения. Вертикальные линии обозначают положение узловых точек кривой, через которую проходит это сечение. Имена точек расположены по верхней границе сечения. Для каждой точки предусмотрена возможность получить каротажную кривую и таблицу её значений.

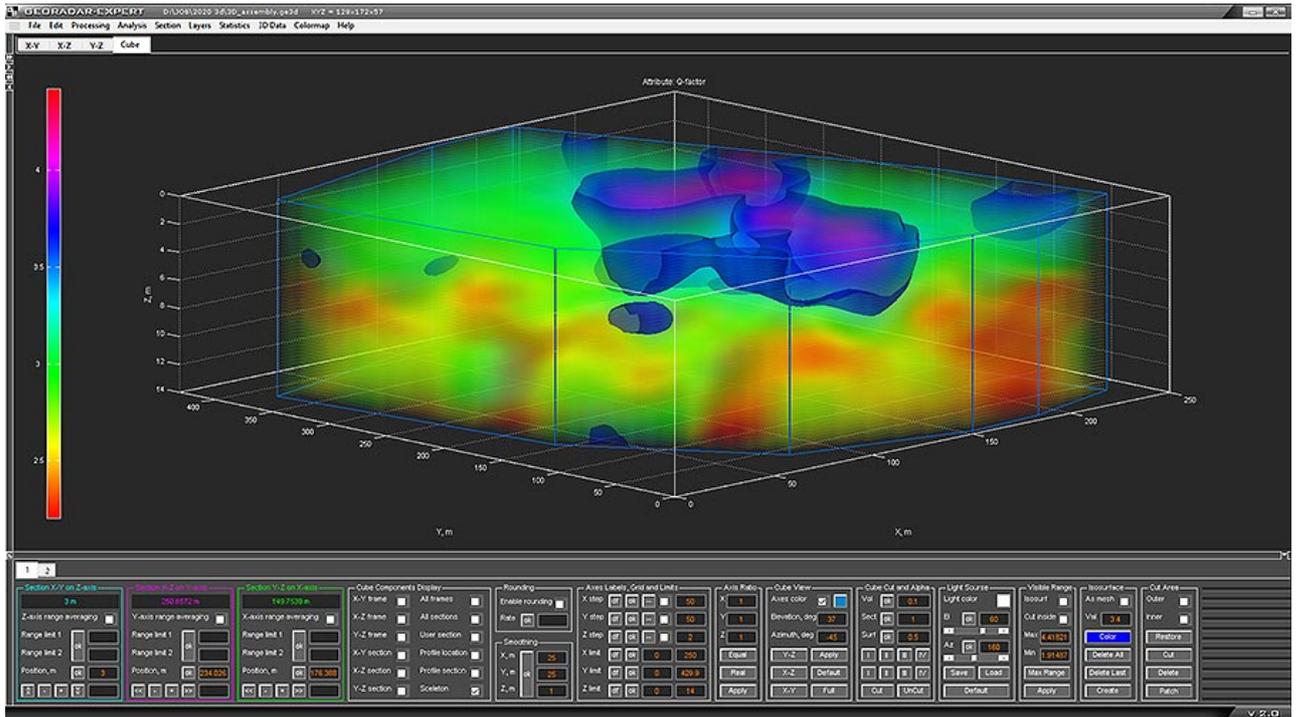


Пользователь может сохранять на жёсткий диск компьютера серию изображений ортогональных сечений 3D объёма в автоматическом режиме с заданным шагом по соответствующей оси. По сравнению с ручным режимом сохранения сечений, автоматический режим существенно экономит

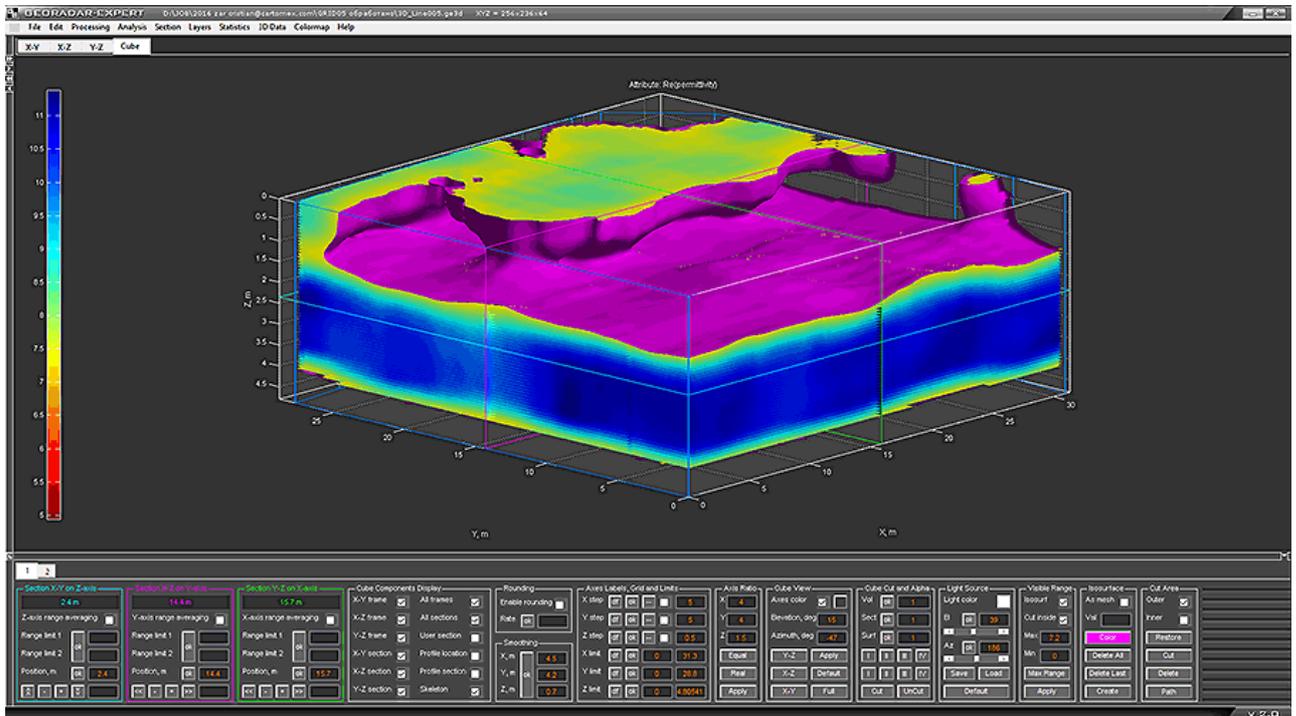
время. В ручном режиме сначала нужно выполнить действия по перемещению сечения в нужную точку на оси, а потом взаимодействовать с диалоговым окном сохранения. Когда количество сечений составляет несколько десятков, или даже сотен, процесс ручного сохранения растягивается на длительное время. На рисунке ниже показана директория сохранения набора горизонтальных сечений в проводнике Windows.



В режиме 3D предусмотрены все необходимые опции визуализации георадиолокационной информации, в том числе возможность управления прозрачностью элементов массива 3D сборки. Это позволяет достичь большей наглядности в представлении результатов георадиолокационного исследования. На рисунке ниже показан пример 3D визуализации, в состав которой входят изоповерхности и объём 3D сборки, обладающие 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, и это без помех позволяет наблюдать форму этих аномалий.

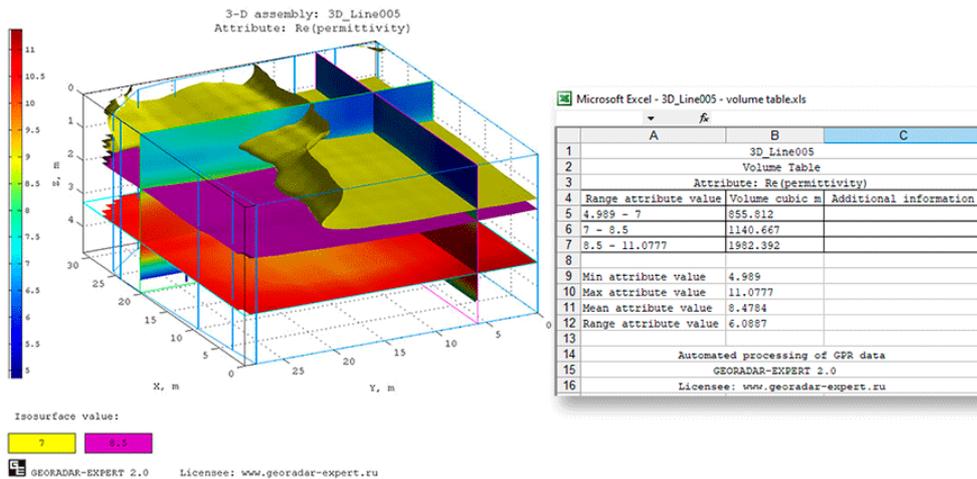


Ниже показан вариант визуализации объёма 3D сборки, в котором заданному пользователем диапазону значений атрибута определена полная прозрачность, а границей между прозрачной и непрозрачной областями является изоповерхность:

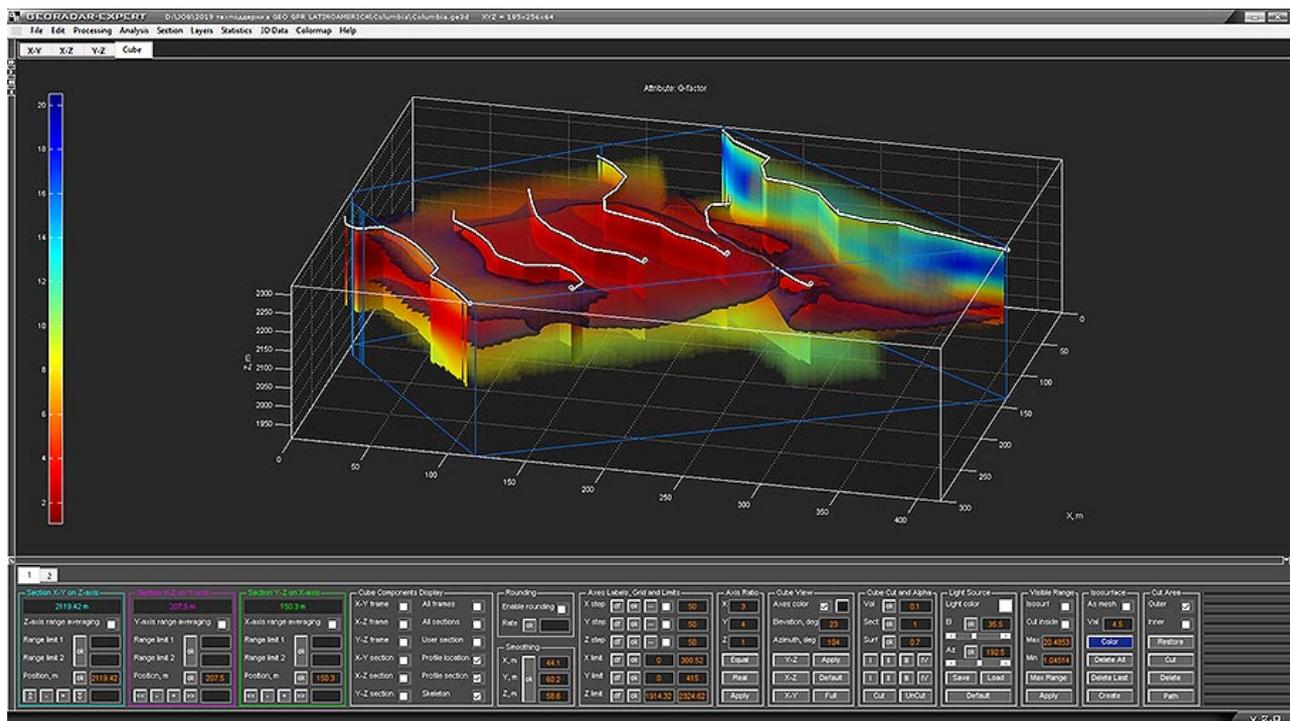


Если 3D сборка содержит изоповерхности, то эти изоповерхности делят объём 3D сборки на части. Пользователь может создать изоповерхности так, чтобы они проходили по границам контакта слоёв исследуемой толщи. Возможность получения информации об объёме этих слоёв представляет несомненный практический интерес. В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ предусмотрена

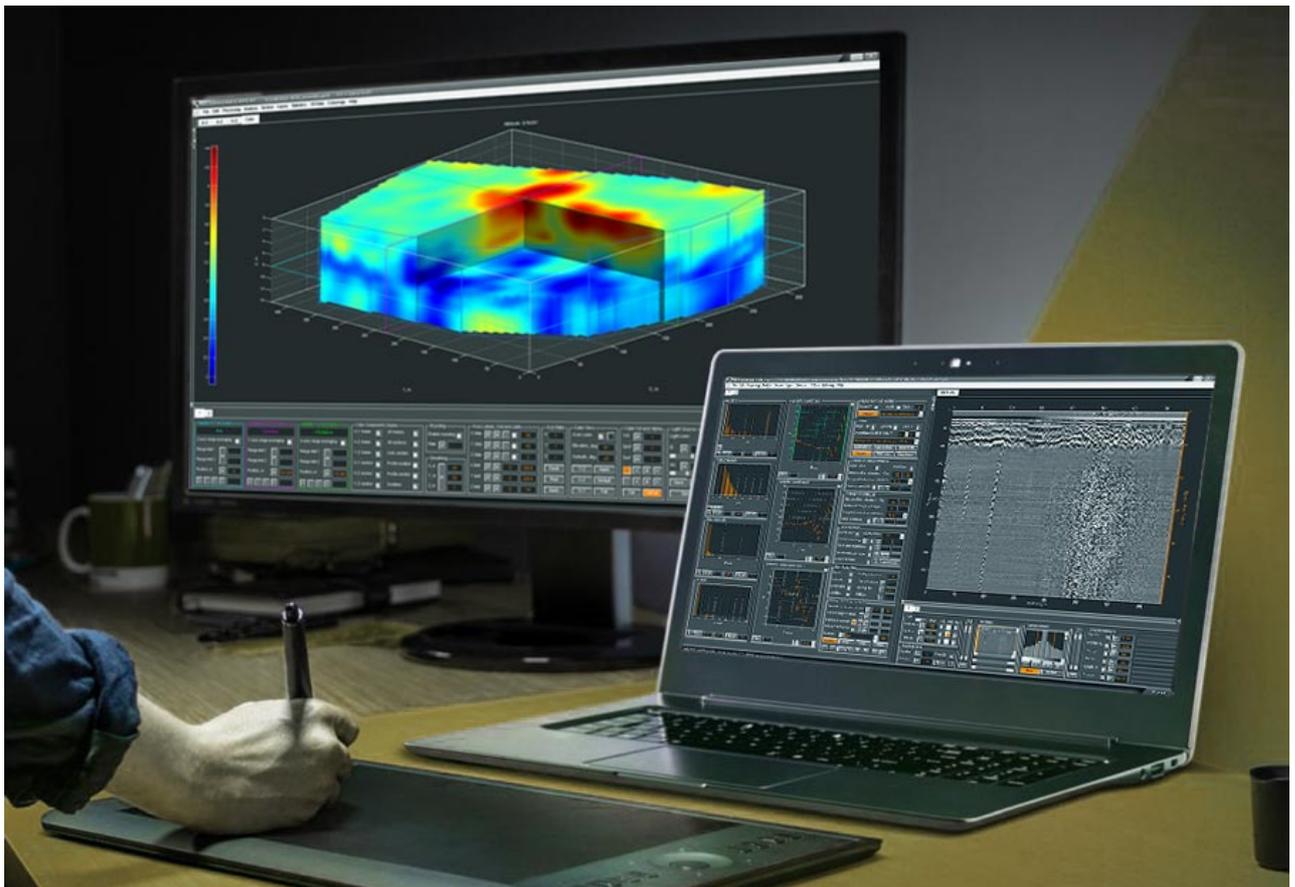
эта возможность. Далее, в верхней части рисунка показаны оси 3D сборки из предыдущего примера, на которых размещены ортогональные сечения и две изоповерхности - одна жёлтая, другая фиолетовая. Значения, через которые проходят эти изоповерхности, показаны под цветовой шкалой, в прямоугольниках соответствующих цветов. В нижней части изображения показана автоматически сгенерированная таблица объёмов, ограниченных этими изоповерхностями. Аналогичным образом можно получить информацию о площади слоёв в режиме 2D. Только в этом случае слои ограничивают не изоповерхности, а проложенные линии границ слоёв.



Ниже показан пример 3D сборки, которая создана с учётом координат глобальной системы позиционирования GPS. На трёхмерном виде активирована визуализация положения георадиолокационных профилей и вертикальных разрезов по этим профилям. Через массив 3D сборки проходит изоповерхность, показывающая положение контакта грунтов с различными электрофизическими характеристиками. Для изоповерхности и массива 3D сборки заданы различные степени прозрачности.



Безусловно, 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 георадарных данных сторонних производителей, не приводит к положительным результатам. Высокая информативность и качество камеральных работ, выполняемых с помощью программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, поможет привлечь новых клиентов и обеспечить стабильную конкурентоспособность на рынке геофизических услуг.



Сходство и отличия от программного обеспечения других производителей

Сходство

В программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ реализован полный набор опций обработки данных, который должен присутствовать в каждом программном обеспечении для обработки георадиолокационной информации. Это различные виды фильтраций и другие стандартные опции цифровой обработки сигналов, управление геометрией георадарного профиля, работа с пользовательскими границами слоёв и т.д. – словом всё то, с чем привык работать геофизик-интерпретатор.

Отличия

Основное отличие программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ от программных продуктов других производителей состоит в повышенной информативности результатов обработки георадарных данных и низком уровне влияния человеческого фактора на конечный результат. Возможность пакетной обработки и автоматизация действий пользователя обеспечивает хорошую скорость обработки больших объёмов информации. Алгоритмы и методы, реализованные в программном комплексе ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ, предоставляют больше возможностей для исследования сложно построенных подповерхностных сред. В состав ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ входят следующие опции, специально разработанные для данного программного комплекса:

- Автоматизированный анализ электромагнитного поля обратного рассеяния BSEF (Back-Scattering Electromagnetic Field). Осуществляет переход от представления данных о подповерхностной среде в виде совокупности амплитуд отражённых сигналов в форме радарограммы к характеристикам этой среды в виде разреза атрибута. Такое представление делает более понятным результат обработки георадарных данных и самим геофизикам, и специалистам в смежных областях. Например, геологам или инженерам-проектировщикам. Анализ BSEF хорошо 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. в условиях отсутствия границ слоёв на радарограмме.
- Метод B-Detector (Boundaries Detector). Данный метод предназначен для обнаружения границ раздела сред на волновой картине георадарного профиля, подавления помех и повышения вертикального разрешения георадарных данных. При помощи B-Detector пользователь управляет частотой и шириной спектра сигналов, тем самым меняя их длительность и степень детализации на радарограмме. В результате обработки методом B-Detector георадарный профиль, полученный низкочастотной антенной, выглядит так, как будто бы частота антенны георадара во время записи профиля была в несколько раз выше. Разрешение сигналов на этом профиле также в разы выше. Также, при необходимости, можно и наоборот, понижать центральную частоту сигналов радарограммы.
- Метод разложения радарограммы на компоненты. Это не вейвлет разложение сигналов, хотя оно тоже 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, которые он определил 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, оставив на радарограмме только протяжённые границы слоёв дорожной одежды, например. Или наоборот, убрать все протяжённые границы, оставив одни дифрагированные отражения для лучшего обнаружения арматуры в железобетонной конструкции.

- Модуль статистического анализа. Данный модуль предназначен для обобщения результатов георадарного профилирования и наглядного представления изменчивости георадиолокационной информации. При помощи результатов статистического анализа, представленных в виде таблиц и графиков, можно устанавливать взаимосвязь между физико-механическими характеристиками исследуемой среды (например, грунтов или строительных конструкций) и различными статистическими показателями, формируя, таким образом, совокупность признаков, которую можно применять в дальнейшем для оценки состояния аналогичных объектов. Источником статистических данных являются георадиолокационные профили, разрезы атрибутов, рассчитанные на основе результатов автоматизированного анализа BSEF 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. Использование модуля статистического анализа программного комплекса ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ поднимает качество результатов георадиолокационного исследования на новый, более высокий уровень.
- Кластерный анализ. Кластерный анализ атрибутов для экспресс-оценки строения подповерхностной среды в заданном приближении. Степень приближения определяется значением количества кластеров. Результат кластерного анализа представляет собой разрез в виде комбинации блоков различной формы (кластеров). Внутри кластера значения атрибута одинаковы. Посредством кластеров производится разделение разреза на характерные области, каждая из которых обладает своими особенностями.
- Модуль дефектоскопии строительных конструкций. Дефектоскопия бетонных и железобетонных 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 дефектной ведомости, в которой для каждого георадиолокационного профиля дана количественная и качественная оценка состояния объекта, в ходе исследования которого получен тот или иной профиль.

Полезные ссылки

Сайт программы ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ:

<http://www.georadar-expert.ru/>

Руководство пользователя программой ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ на русском языке можно скачать по следующей ссылке:

http://www.georadar-expert.ru/ip_download.html.

Видео уроки на русском языке по работе с программой ГЕОРАДАР-ЭКСПЕРТ можно посмотреть и скачать по следующей ссылке:

http://www.georadar-expert.ru/ip_video_rus.html

Техническая поддержка:

georadar@mail.ru