



www.easyrad.com.ua

Небольшая подборка рекомендаций для операторов Общие положения.

Георадар (GPR) наиболее эффективен при зондировании сред с малой электропроводностью (высоким электрическим сопротивлением). В большинстве случаев это сухие грунты, мерзлота, каменные среды, различные диэлектрики. Как правило, наибольшее отражение, затухание и «звон» дают сильно минерализованные мокрые поверхностные слои. Отражения от таких слоев, создающие помехи интерпретации, могут быть очень сильными и давать очень сложные формы сигналов. Старайтесь проводить измерения в хорошую погоду без осадков при сухих или мерзлых поверхностных грунтах.

Георадар – активный радиочастотный прибор, имеющий в своем составе радиоприемное устройство, принимающее в широком диапазоне частот вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия - передатчиком. Все сторонние радиочастотные сигналы, статическое электричество и грозовые разряды создают помехи как на радиоприемник, так и на всю электронику радара в целом. Старайтесь работать на удалении от высоковольтных электрических линий и мощных радиоизлучающих устройств. Выключайте близко расположенные мобильные телефоны, пульты радиуправления, устройства Bluetooth, Wi-Fi и т.п. При наличии анализатора спектра (промышленного или в программах EasyRad_v1, RadMax) заблаговременно оцените электромагнитную обстановку в рабочих частотных диапазонах и предусмотрите максимально возможные решения для качественного зондирования.

Выбирайте антенны согласно задачам георадарного обследования. Антенны с более высокой резонансной частотой (меньшего размера) позволяют более детально проанализировать структуру подповерхностной среды, но обеспечивают меньшую глубину зондирования, чем антенны с низкой резонансной частотой (или большего размера). Зачастую можно руководствоваться такими грубыми расчетами:

- во сколько раз мы уменьшаем центральную частоту работы радара (увеличиваем длину антенны), примерно, во столько же раз ухудшится разрешающая способность;
- при уменьшении центральной частоты (увеличении длины антенны) в два раза максимальная глубина зондирования может увеличиваться в полтора-два раза.

Неэкранированные дипольные (в том числе с рефлекторами) и рамочные антенны применяются в основном для зондирования на максимально возможные глубины в соответствии с выбранной частотой. Для исследования небольших глубин рекомендуем применять комбинацию, например: специализированный широкополосный щелевой излучатель на передачу и экранированный резонансный петлевой вибратор на прием.

При зондировании сред, состоящих из большого числа мелких деталей (например, арматура, щебень, галька и т.п.), может существенно возрасти затухание, вызванное экранированием и дифракционным рассеянием сигналов. Также могут проявиться мешающие резонансные явления. В этом случае для повышения глубины зондирования рекомендуется использовать антенны с более низкой или более высокой резонансной

частотой. Например. При наличии армированной сетки, соизмеримой с четвертьволновой длиной антенны, имеет смысл применить более высокие частоты (более короткие антенны). При наличии редкого, но мешающего мелкого металлического мусора, следует снизить частотный диапазон (применить более длинные антенны).

Планирование.

Старайтесь узнать и учесть дополнительные сведения об обследуемом участке (были ли на нем ранее постройки, проходили ли линии коммуникаций, кабельные сети и т.п.).

Рекомендуется до начала измерений ознакомиться с объектом исследования, проведя рекогносцировку.

Если на объекте проводились другие исследования, целесообразно до выполнения работ получить полную информацию о полученных результатах.

Создавайте и храните полный журнал исследований. Журнал поможет найти упущения и ошибки, проанализировать неточности и упростит создание отчета.

Всегда подготавливайте поверхность для обследования. Удаляйте не только мешающие предметы с поверхности, но и подповерхностный техногенный мусор, металлические осколки, банки, пробки, т.п.

Конфигурация площадных измерений может быть сложной и ее трудно или невозможно выполнять в режиме реального времени. Производите разметку обследуемых площадей. Метками следует также отмечать и помехи (деревья, столбы, ограды, ЛЭП и др.), если они оказывают влияние на показания георадара. Обязательно делайте схематичный чертеж обследуемого участка, фиксируйте расположение и направление георадарных разрезов. По возможности фотографируйте местность. Не надейтесь, что все запомните.

Планирование работ с заказчиками.

Заказчик должен определить задачи исследования и согласовать с исполнителем технические средства и методы.

Что требуется?

- *Инженерно-геологические изыскания, геофизические исследования, поисковые работы, контроль качества, мониторинг, диагностика?*

- *Геология, инженерные коммуникации, локальные цели, специальные цели, которые необходимо найти/интерпретировать?*

- *Объекты исследования (грунтовые, здания, водоемы, инженерные сооружения)?*

- *Общая площадь обследования?*

- *Требуемая глубина зондирования? Топографическая привязка? Качество (разрешение, детализация, точность по глубине (толщине) и протяженности, масштабность)?*

- *Необходимость обзорного обследования места, отбора проб, контрольное бурение и дополнительные справочные данные о объекте исследования?*

- *Необходимое оборудование и приспособления? Иногда для выполнения задач требуется применение нескольких моделей георадаров, других приборов, механизмов и приспособлений.*

- *Исследовательская команда (1 или более человек, специализация)?*

- *Расписание работы (учитывая погодные риски), сроки выполнения?*

- *Подготовка территории?*

- *Интегрирование с другими работами, исследованиями?*

- *Конечный результат (устное заключение, отчет, эскизный проект, инженерно-*

топографические карты, электрофизические модели, профильные разрезы в виде геометрических или плотностных сечений, 2D, 3D, анимационные модели, форматы доставки данных заказчику)?

Зондирование.

До начала зондирования в рабочем положении радара необходимо отрегулировать вертикальное смещение сигнала, оценить и отредактировать сигнал по амплитуде, форме (искажения, ограничения) и затуханию по глубине (профиль усиления). Затем необходимо найти сигнал прямого прохождения и определить «первую» плотную поверхность исследуемой среды. Далее, с помощью опции сдвига (ZERO), следует выставить сигнал «первой» поверхности по верхнему краю рабочего окна с профилем радарограммы. При наличии в радаре аппаратного потенциометра ZERO необходимо тщательно устанавливать «уровень первой поверхности» в рабочем положении радара и постоянно следить за полярностью первого отражения. Плотная «первая» поверхность дает отрицательный знак отраженного сигнала. Воздушная прослойка между антенной и плотной средой – положительный знак. Некорректная настройка ZERO может привести к необратимым искажениям данных в радарограмме с последующими ошибками интерпретации.

Для переносных георадаров EasyRad GPR с дипольными и рамочными антеннами оптимальная высота подвеса (элевация) антенн – 3...8 см (0...8 см для льда, стекла, др. диэлектриков) над уровнем первой плотной поверхности (земли, стены, льда, др.). Для георадаров со специализированными антеннами, с направленными антеннами (например, EasyRad GPR Plus с рефлекторами), диапазон элевации может быть увеличен в пределах, указанных в характеристиках конкретного типа антенн. Например, высота подвеса дипольных антенн с рефлекторами может быть до 15 см.

При зондировании открытых водоемов антенны желательно опускать ниже поверхности воды в воздушных полостях по типу вакуоли. Например, возможно расположение антенн на дне резиновых или пластиковых лодок. При этом базовый кронштейн георадара EasyRad GPR можно не использовать.

При отказе от кронштейна или его изменении необходимо учитывать, что при разносе антенн Tx и Rx в пространстве важно «попасть» в узлы тока. Смещение от узлов тока может дать искажение общей диаграммы направленности радара. Так, например, локальная цель на глубине 2 м может сместиться в сторону или вперед-назад на значительное расстояние – на практике зафиксировано смещение до 1 м.

Для полуволновых диполей ориентировочный разнос Tx-Rx кратен длине диполя.

Из наблюдений. Опыт практической работы на реальных объектах показывает, что боковые и наклонные отражатели (геологические слои, линзы, др.) могут давать эффект «солнечного зайчика», когда радар на поверхности фиксирует цель до или после ее реального расположения в зондируемой среде. Для уверенного позиционирования цели необходимо осуществить зондирование, как минимум, по трем направлениям. Особенно это касается позиционирования локальных неоднородностей небольших габаритных размеров. Точное определение геометрического положения точки можно осуществить только в треугольнике.

Для переносных георадаров EasyRad GPR во время зондирования перемещение радара может быть в разнообразных направлениях. Однако для последующей программной обработки антенна Tx должна двигаться спереди, антенна Rx – сзади.

Во время зондирования движение антенн над поверхностью должно быть ровным и плавным. Скачки, прыжки, качание, перекосы, зацепы, толчки – недопустимы. Все неоднородности поверхности необходимо либо предварительно удалять (ровнять профиль поверхности), либо тщательно обносить, отслеживая высоту подвеса антенн по неровностям профиля. Это же требование касается наклонных и вертикальных поверхностей.

При поиске линейно-протяженных объектов малых поперечных размеров (например, труб, кабелей малого диаметра) старайтесь пересекать их предполагаемое расположение не только в перпендикулярном, но и в диагональном к ним направлении.

При проведении зондирования старайтесь обнаружить и сделать запись радарограмм с локальными подповерхностными неоднородностями, предметами, аномалиями, дающими дифракционные гиперболические отклики (искажения геометрических форм и горизонтов). Это поможет в оперативной интерпретации ряда полезных параметров, включая глубины.

Старайтесь прояснить происхождение основных образов профиля радарограммы на месте проведения обследования. По возможности сразу делайте, как минимум, препроцессинг GPR-данных – предварительную редакцию профиля со спектроанализом отдельных или заданных участков.

Из наблюдений. Кроны деревьев в определенном расположении по отношению к радару могут давать не только собственные помехи, но и усиление сигналов от подповерхностных неоднородностей. Т.е., деревья могут работать полезными рефлекторами для сигналов снизу. Это наблюдение можно применить и к другим «воздушным помехам».

Некачественные радарограммы немедленно переснимайте, обеспечив оптимальные условия зондирования. Не рассчитывайте на чрезмерные чудеса постобработки.

Программы, режимы и обработка.

Основная цель работы георадиолокационного комплекса (радар+устройство управления+оператор&интерпретатор) – визуализация получаемых данных для последующей интерпретации и получения достоверной информации о подповерхностных геологических средах, естественных и искусственных неоднородностях, аномалиях, предметах (целях).

Устройство управления, как правило, включает переносной персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением (ПО).

ПО можно условно подразделить на несколько функциональных типов:

- 1) для приема на PC данных GPR;
- 2) для визуализации и интерпретации;
- 3) для обработки уже сохраненных GPR-данных;
- 4) для интегрированного анализа, моделирования и проектирования;
- 5) ДЕМОНстрационные версии, если таковые существуют. Обычно, это те же программы с усеченным функционалом и заранее интегрированными примерами.

Например. ПО SeiSee используется для быстрой визуализации и первичной интерпретации уже сохраненных GPR-данных. ПО EasyRad_088 ориентирована для приема, визуализации и интерпретации. ПО EasyRad_v1 функционально включает в себя типы 1,2,3. ПО RadMax – все четыре типа.

Огромный динамический диапазон данных, получаемых георадаром, делает невозможным зрительный анализ первичного, неизмененного сигнала. Даже компрессия и уменьшение количества цветов в палитрах не позволяют самому здоровому человеческому зрению оперативно ориентироваться в таком огромном количестве изменяющихся в

реальном времени сигналов. Зачастую на фоне сильных сигналов вообще невозможно выделить искомую цель при работе в реальном времени.

Не забывайте делать запись радарограмм и сохранять скрины рисунков профилей для последующей обработки.

Делайте резервную копию файлов радарограмм. Не начинайте постобработку с уникальными оригиналами.

Для достижения желаемого результата визуализации георадарных данных необходимо применить параллельно-последовательно несколько процессов – достаточно сложных обработок. Задача обработки заключается в усилении и повышении качества информации, принципиально значимой для интерпретации, выделение полезных сигналов и подавление шумов, помех, неинформативных и ложных сигналов.

Интерпретации и анализ, сделанные на различных этапах обработки должны быть комбинируемыми, поскольку на различных этапах обработки видны различные типы информации.

Этапы обработки должны быть повторяемыми и обратимыми, необходимо иметь возможность начать заново или вернуться к предыдущим.

Большинство обработок на быстрых современных компьютерах можно выполнить «на лету» без создания и записи новых файлов. В многопрофильных проектах старайтесь не делать обработок «на лету» без записи файлов или без сохранения графических скриншотов (экранов) профилей радарограмм. Зачастую все познается в сравнении.

Обработка должна быть максимально простой. Но для больших площадей, 2D, 3D проектов даже простая обработка может занять много времени и затянуть сроки интерпретации.

Самым простым и быстрым способом обрабатывать профиль радарограммы является изменение или преобразование цвета, яркости и контрастности. Нелинейные преобразования действуют аналогично усилению сигнала без изменения фактических GPR-данных. Различные цветовые палитры подчеркивают различные особенности. Например, оттенки серого указывают на непрерывность слоя, многоцветные палитры подчеркивают изменения амплитуды, четко выделяя на профиле контура границ неоднородностей.

Не забывайте, что палитры в программах разработаны под конкретные задачи и условия, как универсальные. Физиология зрения у всех людей различна. Мы по-разному воспринимаем цветность, яркость, контрастность и динамику изображения. Например, невосприятие или слабое восприятие отдельных цветов может привести к потере информации. Тестируйте свое зрение. Подбирайте и создавайте палитры для работы индивидуально.

Применяйте хорошие компьютерные мониторы. В реальных условиях работы даже солнечные блики на глянцевом экране могут привести к искажениям или полной потере информации.

Минимально-оптимальный порядок операций предварительной обработки радарограмм должен быть четко усвоен: **Установка параметров профиля – Выбор палитры – Коррекция профиля усиления – Передискретизация (при необходимости) – Редактирование протяженности и глубины, соблюдение геометрических пропорций –**

Топографическая коррекция –DC Offset – Анализ методами СВГ – Вертикальная полосовая фильтрация – Коррекция усиления – Горизонтальная полосовая фильтрация – Миграция (пространственно-временная фокусировка) – BGR – Коррекция усиления – Арифметические операции – Другие.

Порядок операций окончательной обработки профилей радарограмм зависит от применяемых программ и может быть различным. Типовые действия: **Коррекция усиления – Abs (при необходимости) – Выделение огибающей (преобразованием Гильберта или др.) – BGR (при необходимости) – Коррекция усиления – Выбор палитры для интерпретации – Другие.**

Сложные операции по обработке должны быть документированы.

Что является существенным для одного обследования, может быть незначительным для другого. Излишняя информация может создавать помехи и должна быть удалена.

Старайтесь не «пере-обрабатывать» сигналы и не выполнять операции, которые не понимаете. Следует учитывать, что в результате обработки неизбежно теряется часть информации. Путем чрезмерной обработки очень легко «создать» виртуальные отражатели, получить гармоники или вычитание синфазных сигналов, в результате чего будет скрыта, искажена или потеряна полезная информация.

Если нет возможности сделать **Топографическую коррекцию**, используйте для обработки отрезки достаточно малой длины с участком наиболее линейным по горизонтали. В последствии можно объединить разделенный на отрезки профиль радарограммы для дальнейшей обработки или комплексной интерпретации.

Интерпретация и идентификация.

Интерпретация GPR-данных включает комплекс операций для отслеживания видимых геологических горизонтов, измерения толщины слоев грунта и других сред, выделения контуров (оконтуривание) границ локальных неоднородностей, предметов, аномалий, их идентификацию и определение фактической глубины залегания, т.е. преобразование временных масштабов к метрическому масштабу глубины и протяженности.

Идентификация базируется на распознавании полярности и степени затухания сигнала, формы, размера, непрерывности отражающих границ, внутренней структуры среды с учетом всей информации, которую интерпретатор имеет об объекте исследования заранее.

Хороший интерпретатор:

- определяет потребности заказчика; заказчик должен знать, что он хочет; не нужно интерпретировать вещи, которые вне интересов заказчика; это значительно влияет на сроки и стоимость работ;

- изучает историю, геологию, и структуру исследуемого объекта;

- понимает, что он видит и, что должно быть видно из GPR-данных;

- знает, как сделать правильные выводы; также и о том, что нельзя увидеть из GPR-данных;

- знает основные методы обработки; понимает, как улучшить результативность.

Что должен уметь и определять интерпретатор из данных GPR:

- затухание сигнала;

- изменение скоростей при изменении сред;

- полярность отраженного сигнала;
- возможное наложение отражений;
- смешивание отражений;
- яркие отражающие границы;
- тень и затененные отражатели;
- неискаженные отражающие границы, подошвы и кровли слоев, контуры локальных неоднородностей;
- геометрические размеры явных и скрытых неоднородностей на профиле;
- что является помехой и что является полезным сигналом;
- наличие боковых отражателей и сигналов;
- помехосоздающие отражатели и сигналы;
- опережающее моделирование.

Фазы обработки GPR-данных.

1. Препроцессинг. Предварительный анализ и редакция первичных GPR-данных: редакция заголовков, действия с палитрами, регулировка усиления, коррекция статического сдвига, проверка полярности, установка 0-го уровня, реверсирование, подрезка, выравнивание, масштабирование, разметка, спектроанализ, др.

2. Обработка. Радарограммы обрабатываются и приводятся в формат, обеспечивающий хорошее качество интерпретации: медианная, полосовая, режекторная, ФНЧ, ФВЧ, вейвлет, пространственно-временная фильтрация, вычитание среднего, спектральные и математические преобразования, миграция (реконструкция геометрических и электрофизических параметров), восстановление точек дифракции, соответствующих локальным объектам, выделение огибающей, преобразование масштабов, прокладка слоев, определение скорости, диэлектрической постоянной, др.

3. Визуализация и Интерпретация. Структуры и неоднородности должны быть представлены и интерпретированы так, что их легко идентифицировать и описать.

4. Отчетность. Почему, что, где, кто, используемые системы, другие использованные данные, позиционирование, предварительный анализ, обработка, интерпретация, ключевые результаты, источники помех и ошибок.

Шкала глубин и определение параметров зондируемой среды.

- Использование фиксированных значений на основе опыта.
- Обратный расчет по результатам измерений на основе экспериментальных данных.
- Вычисление по Измерительной гиперболе (Уклон, Годограф).
- МОВ (Метод Отраженных Волн).
- Моделирование.
- Метод обращения.
- Измерения диэлектрической постоянной, используя специальные инструменты (Перкометр).

Дискриминация неоднородностей по типу - уплотнение (проводящие, влагонасыщенные среды), разуплотнение (полость).

Во многих случаях возможно различать неоднородности по знаку отраженного сигнала. Знак отраженного сигнала определяется по знаку его первой полуволны. После нескольких этапов предварительной обработки (например, **Выбор палитры – Коррекция усиления – DC Offset...**) каждый отраженный сигнал определяется по наличию нескольких полуволн с видимым затуханием амплитуды во времени. На профиле радарограммы они определяются выбранной палитрой и выглядят в виде серии полос разного цвета (либо оттенков серого). Знак отражения определяется по первой полуволне отраженного сигнала (по первой верхней полосе на профиле). Более влажные или более проводящие неоднородности, чем окружающая среда, дают отражения отрицательного знака, разуплотнения и пустоты –

положительного.

В некоторых случаях указанный выше способ дискриминации может давать ошибки.

1. Для локальных неоднородностей небольших геометрических размеров характерна форма сигнала с небольшой по амплитуде первой полуволной отраженного сигнала. При этом яркая вторая полуволна может быть ошибочно принята за первую.

Аналогичная ситуация может проявляться при размытых отражающих границах. Например, с постепенным промоканием среды.

2. Узкие пограничные слои могут быть инверсны по плотности. Например, слой ржавчины может быть разуплотнением как для корродирующего металла, так и для окружающей среды.

3. Краевые отражения от концов или торцов металлических цилиндров, стержней и других вытянутых металлических предметов могут иметь положительный знак. При этом остальная поверхность металлического предмета будет давать свойственную ей отрицательную полуволну. Таким образом, чтобы дискриминировать такую неоднородность необходимо рассмотреть отражения от всей ее поверхности.

Геометрические размеры неоднородностей, аномалий, предметов и частота отраженных (вынужденных) колебаний.

«Можно ли услышать форму барабана?»

Любые физические объекты конечных геометрических размеров, будь то геологический слой, карстовая полость или искусственный предмет, являются резонаторами с собственными волновыми характеристиками. Все «отражения», есть не что иное, как вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным возбудителем – передатчиком георадара. По частоте и спектральному составу сигналов можно с высокой точностью оценить геометрические размеры любой локальной неоднородности – плотного объекта или полости.

Спектрально-волновая геометрия показывает, что геометрические размеры определяют резонансные частоты объемных геометрических фигур. Причем, это касается как полых, так и твердотельных физических структур с учетом диэлектрической проницаемости заполняющей физической среды и собственной электрической емкости стенок. Линейный вибратор из бесконечно тонкого проводника – частный случай объемного резонатора, в общем.

Ложные отражения (вынужденные колебания) и причины большого числа колебаний отражённого сигнала.

Если имеется сильно отражающий объект, паразитные колебания сигнала, отражённого от этого объекта (начиная с третьего полупериода колебаний отражённого сигнала), могут ошибочно интерпретироваться, как отражения от других объектов, находящихся на больших глубинах. Аномально большое число колебаний принятого отражённого сигнала может быть обусловлено также следующими причинами:

1) свойствами конкретного объекта (например, тонкий вытянутый металлический предмет в грунте, имеющем малые потери);

2) переотражениями между объектом и поверхностью грунта, если протяжённый объект находится вблизи поверхности;

3) переотражениями между сильно отражающим слоем или границей раздела и поверхностью грунта, переотражениями внутри слоёв грунта;

4) переотражениями волн в пространстве между металлическим объектом, находящимся очень близко у поверхности, и антеннами.

Переотражения (вторичные возбуждения) волн в пространстве между антеннами и металлическим объектом, находящимся очень близко у поверхности.

Если под антеннами оказывается, например, металлический люк колодца или металлические осколки, находящиеся в непосредственной близости от поверхности (до 0,5-1 м), в принятом сигнале появляется характерный звон, вызванный переотражениями волн в зазоре между антенной и металлическим предметом. Этот звон столь медленно затухает, что его изображение располагается на вертикальном профиле на глубинах от нуля до нескольких метров, обычно до конца временной развёртки профиля. Это, разумеется, не означает, что на больших глубинах имеются отражающие объекты. Такие сигналы надо интерпретировать как звон, вызванный металлическими предметами вблизи поверхности. Обычно такой звон является серьёзной помехой и мешает наблюдению объектов, расположенных на больших глубинах.

Используйте металлодетектор для выемки таких помех.

Контрольное бурение и шурфование.

Для отбора проб рекомендуется использовать мотобур или ручной бур геолога.

Контрольные бурения выполняются с целью точного определения диэлектрической проницаемости материалов и типа грунта каждого слоя, что позволяет выполнить тарировку шкалы глубин для уменьшения погрешности измерений при интерпретации полученных радарограмм. Буровые скважины выполняются преимущественно в тех местах, которые вызывают затруднения при интерпретации.

Контрольное бурение и шурфовка могут выполняться до сканирования, в процессе сканирования и после сканирования.

Иногда для калибровки георадара возникает необходимость закладки контрольных меток. Для этого заранее делаются шурфы на необходимую глубину.

Условия бесперебойной эксплуатации EasyRad GPR.

Приемник и передатчик радара не боятся короткого замыкания на контактах антенн. Но зону контактов необходимо поддерживать сухой и чистой.

Возможно включение и использование радара без подключения одной или двух антенн. В частности, для спектрального анализа радиочастотных помех в зоне обследования.

Антенны необходимо беречь от механических нагрузок в рабочем режиме, во время хранения и транспортировки, максимально обеспечивать защиту от пыли и влаги в зоне контактов. Грязные антенны можно промыть под проточной водой и просушить.

Рабочее напряжение питания радара = 11,5...19 Вольт. Оптимально = 14 В.

Для подачи питания на прибор используется Европейский разъем 2,5 мм с центральным плюсовым контактом.

Не допускайте переплюсовки питания.

Следите за новостями на нашем сайте <http://www.easyrad.com.ua>