

---

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДАРНОГО МЕТОДА ДЛЯ ПОИСКА ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КВАЗИОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

Капустин В.В., Денисов Р.Р., Мойланен А.О.

ООО «Геоиз», Москва, [moylanen@gmail.com](mailto:moylanen@gmail.com)

В данной работе рассматривается возможность создания автоматизированных алгоритмов обнаружения локального объекта в квазиоднородной среде методом георадиолокационного зондирования.

Точечные цели, располагающиеся в квазиоднородной среде, являются дифрагирующими объектами при условии, что длина волны электромагнитного поля  $\lambda \gg D$ , где  $D$  – эффективный диаметр цели. Сильная неоднородность верхней части разреза и большая частота следования трасс при георадарном профилировании создают условия регистрации излучения рассеяния. В сечении X-N квазиоднородной среды с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  дифрагированный годограф от точечной неоднородности, имеющей координаты  $(x, h)$  имеет вид гиперболы:

$$t = \frac{2\sqrt{x^2 + h^2}}{V},$$

где  $V = c/\sqrt{\epsilon}$  – скорость в слое над точечной неоднородностью,  $c$  – скорость электромагнитных волн в вакууме.

На практике используются следующие способы определения параметров среды по годографам дифрагированных волн:

1. По измерениям времени пробега в двух точках годографа можно вычислить глубину залегания объекта и диэлектрическую проницаемость покрывающей среды.
2. Скорость в среде можно оценить также по наклону касательной к асимптоте годографа.
3. Компарационный способ, заключающийся в сравнении наблюдаемого годографа с расчетным.

Учитывая то, что диаграмма направленности антенн георадара в первом приближении имеет вид телесного угла величиной порядка  $60^\circ$ , выражение для годографа дифрагированной волны точечного объекта, находящегося на расстоянии  $d$  от профиля наблюдений, имеет вид:

$$t = \frac{2\sqrt{x^2 + d^2 + h^2}}{V}$$

В данном случае скорость электромагнитных волн в однородной среде будет определяться верно, а глубина залегания объекта будет соответствовать расстоянию его от профиля наблюдений.

Для линейного объекта годограф дифрагированной волны описывается выражением:

$$t = \frac{2\sqrt{x^2 \sin^2 \alpha + h^2}}{V}$$

- где  $\alpha$  – угол пересечения профиля наблюдений и проекции линейного объекта на дневную поверхность.

Значение предела касательной к асимптоте годографа будет равно  $\frac{2\sin \alpha}{V}$ , из чего следует, что значение скорости и глубины залегания линейного объекта будет зависеть от угла пересечения профиля наблюдений и оси линейного объекта.

В тех случаях, когда изучаемая среда может быть представлена в виде полупространства с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = \text{const}$ , содержащего локальные

неоднородности  $\epsilon_n$ , локация неоднородностей может быть выполнена с помощью алгоритмов гиперболической миграции и поиска локальных экстремумов (рис. 1). Количество областей и их размер могут меняться в результате задания интерпретатором величины амплитудного порога. Положение объектов определяется по положению максимума огибающей сигнала внутри области.

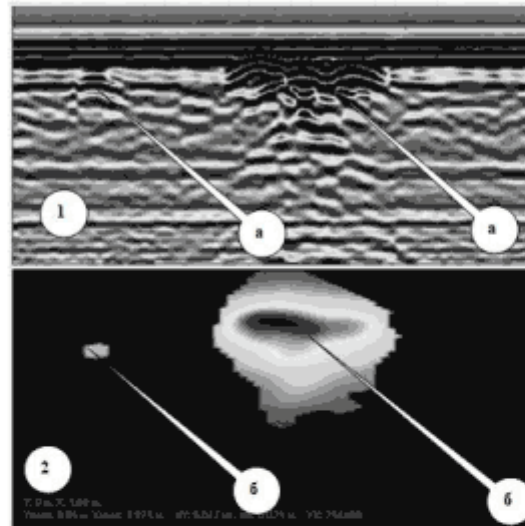


Рис. 1. Пример определения наличия локальных объектов. 1 – исходная радарограмма, 2 – огибающая сигналов, а – локальные объекты, б – область локальных объектов.

Могут быть предложены также и другие способы локации точечных целей в изотропной среде. В этом случае задача определения положения дифрагирующих объектов может быть решена как задача распознавания образов. В частности, простейшим способом решения может быть вычисление максимума двумерного корреляционного интеграла:

$$k(\xi, t) = \iint_{\theta} U(x, t) S((\xi, t), (t - \tau)) dx dt, \quad S(\xi, t) - \text{модельная функция.}$$

В подобной постановке эта задача эквивалентна задаче оптимального приема в радиолокации.

Результаты определения положения объектов по данному алгоритму приведены на рис.

2.

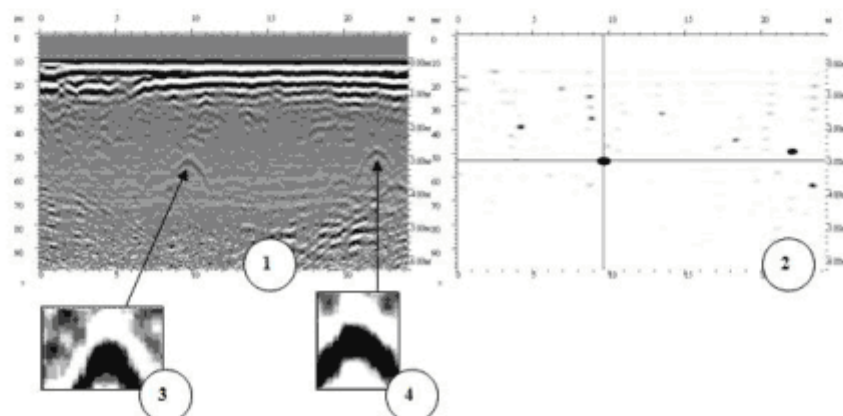


Рис. 2. Определение положения объектов по годографам дифрагированных волн. 1 – исходная радарограмма, 2 – обработанная радарограмма, 3 и 4 – модели дифрагированных годографов.

Особенностью теории распознавания образов является возможность построения самообучающихся алгоритмов.

В случаях, когда вмещающая среда отлична от однородной  $\epsilon = \epsilon(x, z)$ , гиперболическое миграционное преобразование оказывается неэффективным. Для работы в таких ситуациях может быть использован достаточно простой приближенный алгоритм. Основное преимущество алгоритма заключается в возможности использовать не только целые дифракционные годографы, но и отдельные их элементы. В результате обработки поля обратного рассеяния получается поле значений диэлектрической проницаемости или поле эффективных скоростей, которое впоследствии может быть подвергнуто сегментации для построения модели разреза (рис. 3).

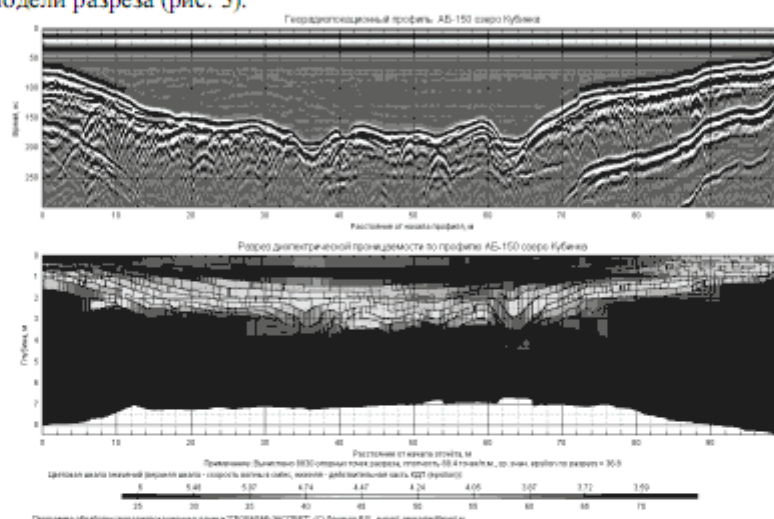


Рис. 3. Пример построения геозлектрической модели с использованием поля обратного рассеяния. Георадарный профиль через озеро.

Следует напомнить, что предлагаемый способ является приближенным и не учитывает явление многократного рассеяния.

Построение разрезов различных атрибутов электромагнитного поля может в ряде случаев способствовать решению построения модели изучаемой среды. В качестве атрибутов могут использоваться амплитудные, частотные, фазовые характеристики поля, затухание и т.п. Одним из хорошо зарекомендовавших себя атрибутов является добротность электромагнитного поля, величина обратная декременту затухания (рис. 4).

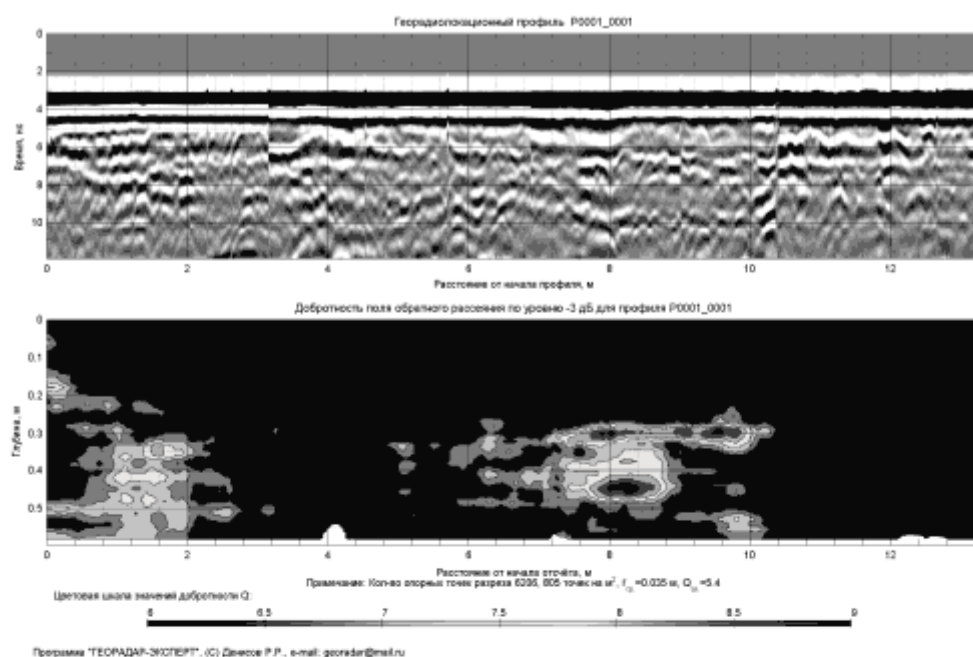


Рис. 4. Георадарный профиль по поверхности дорожного покрытия и разрез добротности поля обратного рассеяния.

Области повышенной добротности соответствуют участкам разуплотнения грунтов под дорожным покрытием.

В заключении следует отметить, что предлагаемые автоматизированные способы определения геоэлектрической модели являются хорошим дополнением к традиционным способам интерпретации георадарных данных, позволяя увеличить объемы работ и снизить временные затраты.

#### Список литературы

1. Гонсалес Р., Вуде Р., Эддинс С., 2006, Цифровая обработка изображений в среде MATLAB: Техносфера.
2. Капустин В.В., Строчков Ю.А., 2008, Некоторые особенности обработки георадарных данных при исследовании строительных конструкций: Разведка и охрана недр, 1, 22-25.
3. Капустин В.В., 2005, Дополнительные возможности компьютерной обработки георадарных и сейсмических данных: Разведка и охрана недр, 12, 26-31.
4. Левянт В. Б., 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.
5. Старовойтов А.В., 2008, Интерпретация георадиолокационных данных: М., Изд-во Московского государственного университета.