

РАСЧЕТ РАДАРОГРАММ ДЛЯ СРЕД С РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТЬЮ

З.Б. Хакиев, А.Ю. Карпов, В.А. Явна, РГУПС, zkhakiev@yandex.ru

Методами компьютерного моделирования распространения импульсного электромагнитного излучения в неоднородных средах выполнено решение прямой задачи георадиолокации. Восстановлена радарограмма, получаемая при движении антенного блока с центральной частотой 1200 МГц от песка с помещенным в нем металлическим объектом цилиндрической формы. Исследовано влияние увлажнения среды на характеристики радарограммы (форма, контрастность, частотный спектр сигнала и др).

Анализ известной литературы по подпочвенному зондированию позволяет сделать вывод о том, что основное внимание уделяется решению обратной задачи георадиолокации [1]. Вместе с тем, достоверная и детальная интерпретация результатов георадиолокационных исследований может быть получена при одновременном решении прямой и обратной задач георадиолокации. Изучение процесса распространения импульсного электромагнитного излучения в неоднородной среде с восстановлением радарограмм позволяет глубже понять и проанализировать особенности механизмов их формирования. Особый интерес вызывает решение задач: - выделение на радарограммах характерных признаков объектов, формируемых в зависимости от их размеров, формы, положения в грунте и физических свойств материала объектов; - изучение маскирующих свойств грунтов, вмещающих объекты, в зависимости от их влажности, химического состава и других свойств.

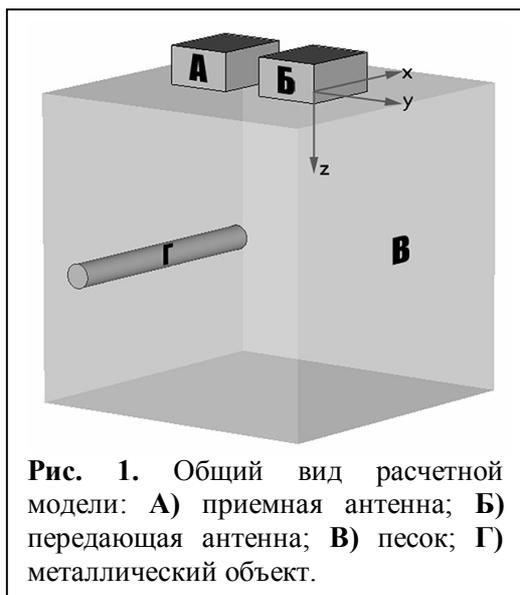


Рис. 1. Общий вид расчетной модели: А) приемная антенна; Б) передающая антенна; В) песок; Г) металлический объект.

Данная работа посвящена созданию методов решения прямой задачи георадиолокации с использованием компьютерного моделирования. Основой для моделирования послужило исследование [2], в котором воспроизводится форма сигналов, излучаемых георадаром серии «ОКО» с антенным блоком АБ-1200 в нормальном и тангенциальном направлениях.

Решена задача обнаружения металлического объекта цилиндрической формы в песочном грунте. При решении использована компьютерная модель приемной и передающей антенн, расположенных на песке, в который помещен металлический объект. Общий вид модели представлен на рисунке 1.

Для расчета выделен объем песка с линейными размерами 50x50x50 см (ширина-глубина-высота), помещенного в контейнер из органического стекла. Свойства песка и органического стекла определяются соответствующими

электрофизическими параметрами для данной среды: диэлектрическая проницаемость ϵ , электропроводность σ , тангенс угла диэлектрических потерь $tg\delta$. В песке на глубине 30 см расположен металлический объект (диаметр $d = 4$ см и длина $l = 40$ см). Металл имеет свойства идеального проводника с бесконечной диэлектрической проницаемостью ϵ .

Моделировалось перемещение антенн над поверхностью песка. Все расчеты выполнены в пошаговом режиме. На каждом шаге измерения генерировалось излучение зондирующего импульса, который регистрировался приемной антенной. Таким образом, рассчитана серия отраженных сигналов для каждого положения антенн. Используя полученные данные, построены радарограммы. Так на рис. 2Б и 2В приводятся радарограммы однородного песка и песка с металлическим объектом, соответственно. Кроме того, записана экспериментальная радарограмма для однородного песка (рис. 2А).

Сравнение полученных экспериментальной и теоретической радарограмм для однородного

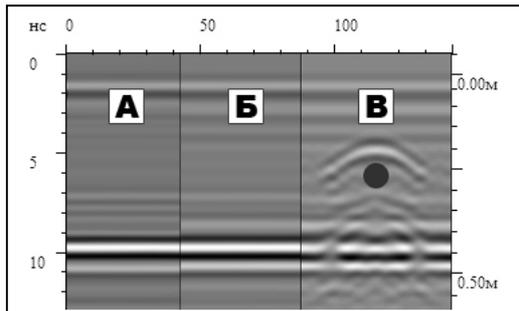


Рис. 3. Радарограммы: **А)** эксперимент на однородном песке; **Б)** теория на однородном песке; **В)** теория на песке с металлическим объектом

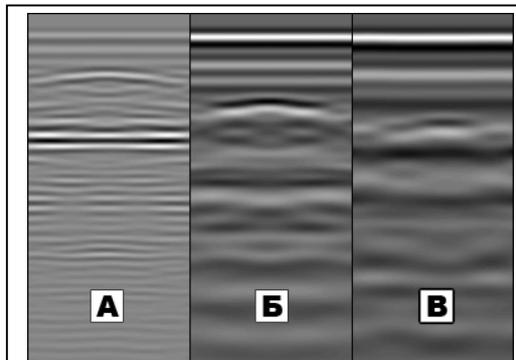


Рис. 2. Сравнение радарограмм, полученных для песка, вмещающего металлический объект, при трех значениях влажности: **А)** 0%, **Б)** 10% и **В)** 20 %.

распространения зондирующего импульса в среде по мере роста влажности (среда с повышением влажности становится оптически более плотной для бегущей электромагнитной волны).

Исследовано влияние влажности на частотный спектр отраженного сигнала. Для этого траектории сигнала подвергнуты фурье – преобразованию, в результате чего определена

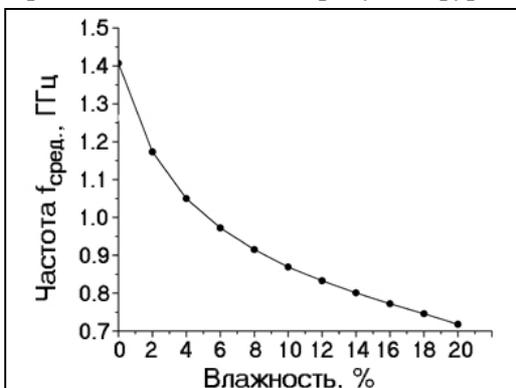


Рис. 4. Зависимость частоты f_{Σ} сигнала от влажности среды.

песка позволяют сделать вывод о достаточно высокой степени корреляции результатов. На всех радарограммах отмечается область высокой интенсивности сигнала, связанная с отражением от дна контейнера; наблюдается соответствие в положении и контрасте линий синфазности. На радарограмме 2В видна серия линий синфазности в форме гипербол, связанная с наличием в песке на глубине 25-30 см металлического объекта (на рисунке его положение отмечено кружочком). Заметим, что реальные объекты на радарограммах проявляются также в виде гипербол, что характерно при георадарной съемке [3].

Таким образом, адекватное отображение на радарограммах структуры среды (в том числе инородных объектов), полученных с помощью теоретических расчетов, позволяет сделать вывод о том, что компьютерная модель в принципе приемлема для дальнейшего использования.

Далее исследовано влияние влажности среды на характеристики получаемых радарограмм (форма, контрастность, частотный спектр сигнала и др). Для этого выполнена серия аналогичных расчетов, позволяющих восстановить радарограммы, получаемые при перемещении антенн над песком с различной влажностью, вмещающем металлический объект. Влажность среды определяется изменением объемного содержания воды в песке и отражалась на значениях параметров ϵ , σ и $tg\delta$.

Сравнение радарограмм для трех значений влажности среды (0%, 10% и 20 %) приведено на рис. 3. Отличие полученных радарограмм заключается в растягивании линий синфазности, что обусловлено уменьшением скорости

распространения зондирующего импульса в среде по мере роста влажности (среда с повышением влажности становится оптически более плотной для бегущей электромагнитной волны).

Исследовано влияние влажности на частотный спектр отраженного сигнала. Для этого траектории сигнала подвергнуты фурье – преобразованию, в результате чего определена

интенсивность спектра (I_i) на частоте с номером i

(f_i) и, с использованием соотношения

$$f_{\Sigma} = \frac{\sum I_i f_i}{\sum I_i},$$

рассчитана средневзвешенная

частота f_{Σ} . Зависимость f_{Σ} от влажности среды приведена на рисунке 4. На рисунке видно, что с

ростом влажности происходит смещение значения f_{Σ} в низкочастотную область (область длинных волн).

Этим можно объяснить возникновение низкочастотной составляющей на радарограммах при работе с влажными средами.

Таким образом, изучение процесса распространения импульсного электромагнитного излучения в неоднородной среде может помочь

лучше понять механизмы их взаимодействия, а также выявить различные факторы и оценить их влияние на качество и характеристики получаемых радарограмм. Последнее повысит эффективность решения обратной задачи георадиолокации, т.е. восстановления геологической структуры обследуемой среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грицык В.И., Окост М.В., Морозов А.В. // Тезисы докладов третьей международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика - 2007», Москва, 2007.
2. Хакиев З.Б., Морозов А.В., Явна В.А. // Тезисы докладов третьей международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика - 2007», М., 2007, стр. 88-90.
3. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию М.: Издательство МГУ 1998.