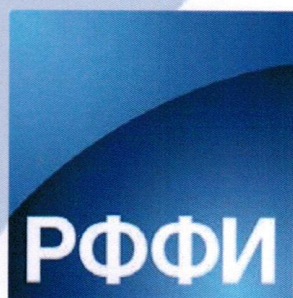




**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ДВО РАН
ТИХООКЕАНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**



ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ



**Российский фонд
фундаментальных
исследований**



Корпорация Intel

**Хабаровск
2015**

© Ю. А. Сухобок, В. В. Пупатенко, 2015

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОРАДАРНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Сухобок Ю. А. – ст. преп. каф. «Железнодорожный путь и проектирование железных дорог» ДВГУПС, e-mail: khvyus@gmail.com; Пупатенко В. В. – канд. техн. наук, доц. каф. «Железнодорожный путь и проектирование железных дорог» ДВГУПС

Представлено программное обеспечение для обработки результатов георадарного обследования. Программный комплекс состоит из блока расчета грунтовой модели, блока обработки георадарных профилей с автоматизированным выделением границ между грунтовыми слоями, а также блока детального анализа георадарных трасс. Система может быть использована при обработке результатов геофизического обследования различных грунтовых сооружений: оснований дорог, аэродромов, акваторий.

Ключевые слова: георадиолокация, георадарное профилирование, цифровая обработка сигналов, спектральный анализ

Одним из наиболее распространенных методов неразрушающего контроля различных грунтовых сооружений является геофизический метод георадиолокации, основанный на излучении широкополосного радиосигнала в толщу среды и регистрации отклика – сигнала, являющегося суперпозицией амплитуд прямых, отраженных и преломленных волн.

Исходные данные, получаемые при георадарном обследовании, представляются в виде двумерного изображения – радарограммы, каждое вертикальное сечение которого соответствует сигналу, пришедшему на приемную антенну при фиксированном положении георадара (рис. 1).

При обработке радарограмм решаются две основные задачи: выявляется положение границ раздела сред (или локальных неоднородностей) и исходный временной разрез преобразуется в глубинный. Для этого требуется расчет скоростей прохождения радиоволн в каждом грунтовом слое. Необходимо также предварительная фильтрация радарограмм с целью избавления от помех и переотражений.

При всех преимуществах (невысокая стоимость, обширная сфера практического применения) метод георадиолокации обладает существенными недостатками, связанными со сложностью и субъективностью обработки результатов обследования. Анализ основных преобразований, используемых при фильтрации и обработки [1], показывает, что в реальных условиях они позволяют лишь несколько ослабить общий уровень помех, а качество их использования существенно зависит от опыта интерпретатора.

Кроме того, нами выявлено принципиальное ограничение традиционной

методики определения скоростей распространения волн в слоях, которое проявляется в средах с сильной скоростной дифференциацией (к которым, в частности, относятся акватории). Предложена усовершенствованная методика, позволяющая выполнить литологическое расчленение грунтовой среды [2].

Очевидно, для обработки результатов, а также экспериментальной проверки разработанной методики требуется специфическое программное обеспечение. Обычно в практике георадарного обследования пользуются коммерческим программным обеспечением (Radan Geophysical Survey Systems Ins., Naescan Roadscanners [3], GeoScan32, Георадар-Эксперт [4] и др.), однако их использование в научных целях нецелесообразно ввиду закрытости кода, невозможности внесения изменения и высокой стоимости.

Свободное программное обеспечение (например, MatGPR [5] и некоторые другие программные продукты [3, 6]) более применимы для решения требуемых задач. Вместе с тем, как правило, он чрезмерно специализирован.

Таким образом, была поставлена задача разработать программное обеспечение для предварительной и детальной обработки радарограмм с возможностью встраивания дополнительных модулей.

Программный комплекс написан на языке программирования Python 2.7 с использованием дистрибутива свободного научного программного обеспечения для численных расчетов, анализа и визуализации данных Python(x,y) (использовались библиотеки numpy, scipy, matplotlib в связке с графическим фреймворком PyQt).

Комплекс включает несколько блоков. В блок построения грунтовой модели заложена усовершенствованная методика расчета скоростей распространения электромагнитного сигнала в средах. На основе рассчитанной модели в блоке обработки георадарных профилей (рис. 1) в автоматизированном режиме инженер может выделить границы раздела грунтовых слоев (а также локальные неоднородности) и преобразовать временной георадарный разрез в глубинный. В этом же блоке производится привязка радарограммы к рельефу местности (топографическая коррекция), а также возможность синтетического моделирования радарограмм. Наконец, в блоке детального анализа георадарных трасс производится детальная работа с отдельными георадарными трассами. Конечный результат работы программы может быть экспортирован в чертеж САПР AutoCAD для решения конкретных инженерных задач.

В программу включены следующие основные алгоритмы обработки радарограмм:

- Компенсация затухания вдоль трасс; нормирование амплитуд по вертикали и горизонтали;
- Спектральный и вейвлет-анализ (в том числе, построение и анализ спектрограмм и периодограмм по фиксированным сигналам);
- Выделение статистических параметров трасс;
- Высокочастотная и низкочастотная фильтрация сигналов;
- Преобразование Гильберта;
- Автоматическое построение огибающей сигнала;
- Поиск локальных экстремумов и переломов.

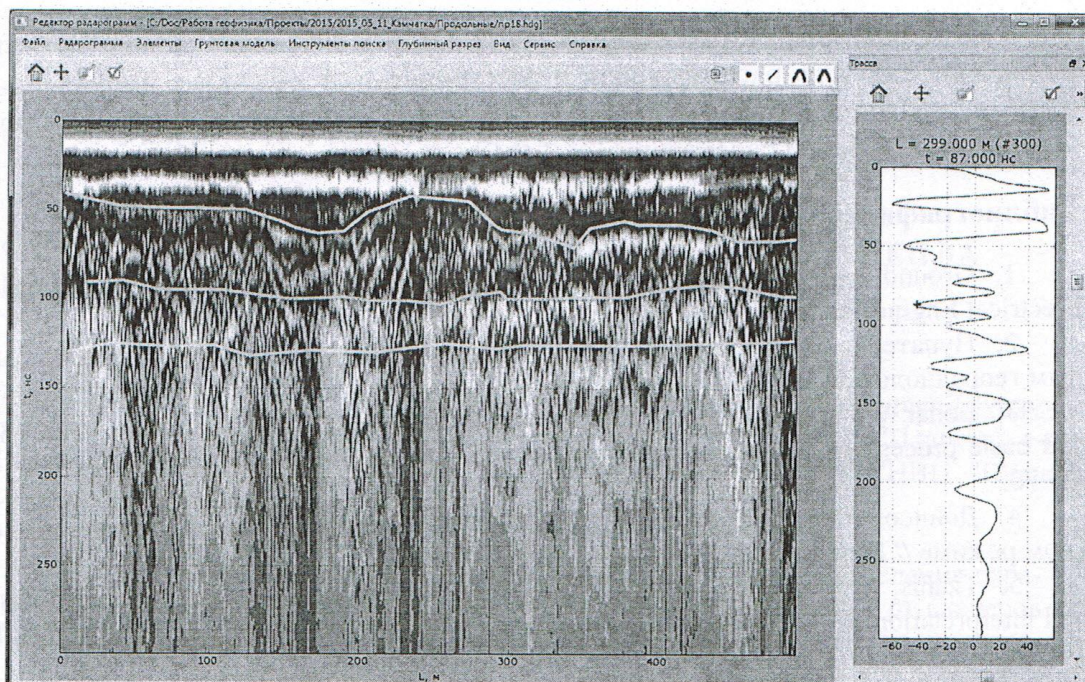


Рис. 1. Скриншот главного окна программы. Вертикальная ось – время прихода отраженного сигнала на приемную антенну, нс; горизонтальная ось – расстояние вдоль профиля, м; цвет каждого пиксела соответствует амплитуде сигнала

Разработанная программа использована при обработке результатов экспериментальных работ, а также при реальном обследовании различных транспортных объектов Дальнего Востока: земляного полотна железных и автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов, акваторий. Так, на рис. 2 показан результат применения программного комплекса при литологическом расчленении железнодорожной насыпи и основания при поиске подземных льдов.

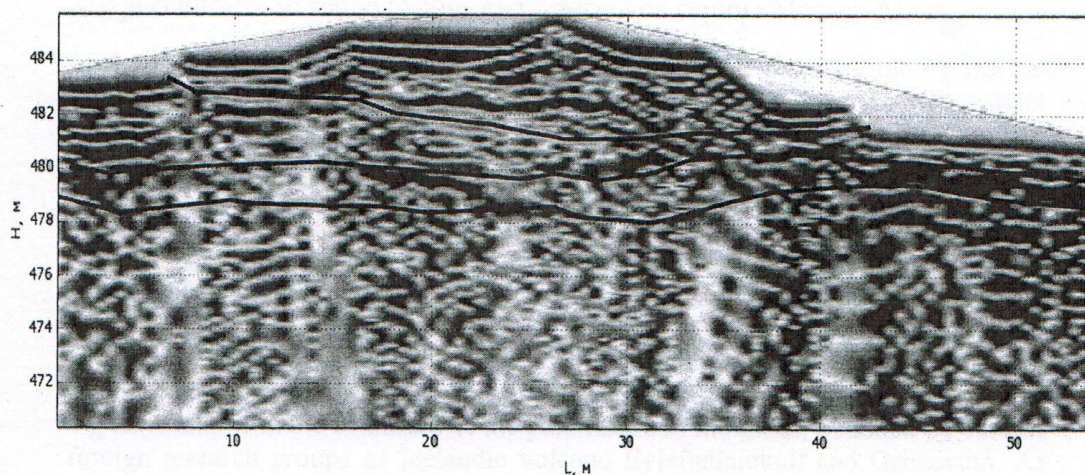


Рис. 2. Пример использования программного комплекса: грунтовый разрез железнодорожной насыпи на станции Чильчи Дальневосточной железной дороги

Таким образом, разработанный программный комплекс может быть использован как для расшифровки и интерпретации реальных георадарных данных, так и для разработки, апробации и внедрении новых методик и подходов для обработки радарограмм.

Библиографические ссылки

1. Ground Penetrating Radar / edited by David J. Daniels. London: the Institution of Electrical Engineers, 2009. 734 p.
2. Пупатенко В.В., Сухобок Ю.А. Литологическое расчленение разреза по данным георадиолокации // Мир транспорта. 2013. № 3. С. 154-161.
3. Behar V., Vassileva B., Kabakchiev C. A software tool for GPR data simulation and basic processing // Cybernetics and information technologies. 2008. Vol. 8, No 4. P. 69–76.
4. Денисов Р. Р., Капустин В.В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме // Геофизика. 2010. №4. С. 76-80.
5. Tzanis, A. MatGPR Release 2: A freeware MATLAB® package for the analysis and interpretation of common and single offset GPR data // FastTimes. 2010. No 15 (1). P. 17–43.
6. Giannopoulos A. Modelling ground penetrating radar by GprMax // Construction and Building Materials. 2005. No 19. P. 755–762.