

Результаты интерпретации георадиолокационных исследований грунтовых массивов в городских условиях

Шилин А.А., д-р техн. наук, проф.; Кириленко А.М., канд. техн. наук; Знайченко П.А., ЗАО «Триада-Холдинг», Москва

Аннотация

Рассмотрены некоторые вопросы интерпретации материалов георадиолокационных исследований грунтового массива в городских условиях. Приводятся примеры проведения работ, интерпретации результатов и проверки их достоверности другими методами. Статья написана на основании многолетнего опыта использования метода георадиолокации и анализа соответствующих публикаций в отечественных и зарубежных источниках

Ключевые слова

Автоматизированная обработка, георадиолокационный метод, интерпретация данных, комплексные исследования.

Abstract

The article considers some aspects of data interpretation obtained in the course of GPR investigation in towns. Case studies are presented as well as data verification results (comparative analysis with other investigation techniques). Authors' opinion is backed up by their long-term experience and also thorough examination of publications in professional literature both in this country and abroad.

Keywords

Automated data processing, comprehensive investigation, data interpretation, GPR technique

Специфика городских условий определяет эффективность применения геофизических методов, и, в частности, георадиолокационного, при изучении грунтовых массивов.

В последнее время георадиолокационный метод включен как рекомендуемый к использованию в некоторые отечественные нормативно-методические документы [1, 2]. За рубежом, где георадиолокационный метод получил широкое распространение, его применение регламентируется [3].

Используя основные преимущества георадиолокационного метода, такие как малая трудоемкость и оперативность полевых исследований, можно выполнять как однократные измерения, так и вести работы по геотехническому мониторингу, особенно актуальные в условиях интенсивного освоения подземного пространства крупных городов.

Вместе с тем при относительной простоте полевых измерений полученные георадиолокационным методом результаты не всегда легко интерпретировать. Применение различных методов математической обработки иногда может оказаться неэффективным, и результаты могут некорректно отражать реальные характеристики и состояние исследуемого грунтового массива.

Многолетний опыт использования георадара в ЗАО «Триада-Холдинг» показывает, что изучение объектов только этим методом, без подтверждения результатов шурфлением, как правило, малоэффективно. Комплексные исследования с использованием других геофизических методов позволяют повысить достоверность результатов для принятия правильных технических и технологических решений и тем самым экономить время и снижать затраты. Оптимальным решением в части изучения грунтового массива является применение скважинного георадара. Пример такого использования в комплексе с каротажными методами и межскважинными исследованиями для решения сложной задачи определения строения заглубленной части опор моста «Царицынская плотина» (сооружен в конце XVIII – начале XIX вв.) [4] показан на рис. 1. Главными задачами работ являлись определение величины заглубления фундамента, материала, из которого он изготовлен, а также установление наличия свай в основании (см. рис. 1).

В результате комплексных геофизических исследований было установлено, что в основании опор моста «Царицынская плотина» сваи отсутствуют, глубина подземной части опор составляет 6 м. Материал заглубленной части опор был определен как бутовая кладка, что впоследствии было опровергнуто результатами бурения скважин непосредственно через опоры. В подземной части опоры выполнены в виде деревянных колодцев, заполненных грунтом. В остальном бурение

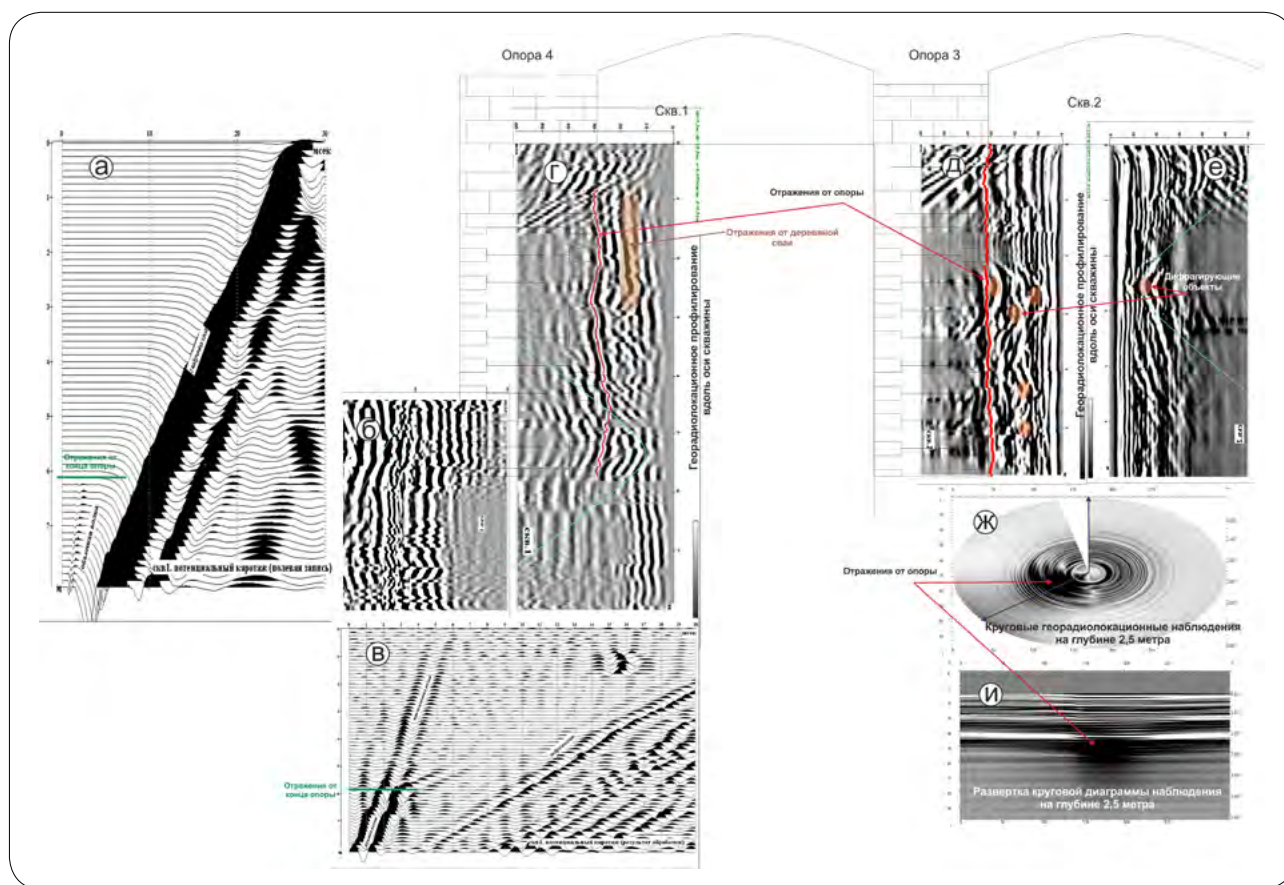


Рис. 1. Результаты геофизических исследований подземной части опор моста и вмещающих их грунтов: исследования методом потенциального акустического каротажа (а, в), дифференциального каротажа (б), геоадиолокационные скважинные измерения (г), геоадиолокационное профилирование (д, е), круговое геоадиолокационное сканирование в разных направлениях (ж, и)

подтвердило достоверность геофизических исследований.

Применение комплексного исследования грунтового массива на крупных объектах, когда сопоставление результатов обеспечивает правильность интерпретации, применялось нашей компанией не единожды. Достаточно упомянуть такие крупные объекты, как деривационный тоннель Ирганайской ГЭС протяженностью 5 км в Дагестане, Курьяновская станция аэрации в Москве. Но очень часто ситуация такова, что геоадиолокационный метод является основным и в интерпретации нельзя опереться на другие методы. В этом случае интерпретация требует специальных подходов.

Интерпретации предшествует обработка георадарных данных: выделение полезной информации (осей синфазности полезных волн) на фоне различных помех и шумов. Далее по параметрам полезных волн, по общему виду записи определяются некоторые характеристики исследуемого

грунтового массива. Таким образом, основные приемы обработки направлены на подавление, ослабление или удаление бесполезной информации и выделение, усиление полезной.

В зависимости от задач исследований выбирается необходимый для получения оптимального результата антенный блок георадара и строится методика измерений (количество и направление профилей, профилирование с разносом источника и приемника излучения). Использование современных экранированных антенн дает минимальное количество воздушных волн-помех и в ряде случаев позволяет получать результаты, не требующие специальной обработки.

Интерпретация геоадиолокационных данных проводится в два этапа. На первом этапе выделяются участки с характерным типом записи, на втором – анализируются тонкие особенности волновой картины с активным привлечением геологической и гидрогеологической информации.

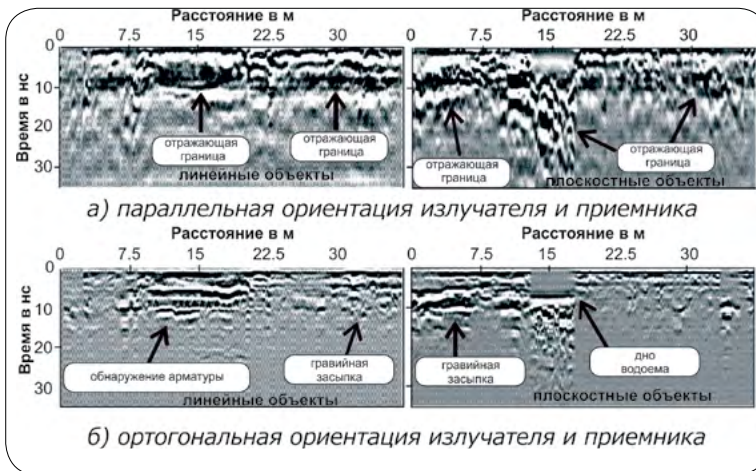


Рис. 2. Георадиолокационные записи, иллюстрирующие использование эффекта повышения разрешающей способности в полевых условиях за счет использования ортогонального расположения источника и приемника электромагнитных волн: а) при параллельном расположении излучателя и приемника; б) при ортогональном расположении излучателя и приемника [9]

При больших объемах работ, когда профили имеют большую протяженность, для сокращения времени на обработку и интерпретацию могут быть использованы автоматические алгоритмы обработки [5]. При этом следует подчеркнуть, что при решении задач выделения в плане ограниченных областей – участков обводнения, пустот, зон трещиноватости на асфальто- или цементно-бетонном покрытии, – автоматизация процесса обработки решается методом атрибутного анализа, где в качестве атрибутов используются динамические характеристики зарегистрированных волн. Широкие возможности обработки сигналов и интерпретации полученной информации предоставляет программный пакет Signal Processing системы MATLAB [6], например:

- моделирование сигналов и их последовательностей и расчет синтетических радарограмм и сейсмограмм;
- спектральный анализ, оконное преобразование Фурье, вейвлет-преобразование;
- кратномасштабный вейвлет-анализ, декомпозиция сигналов;
- обработка числовых массивов данных.

Использование метода нейронных сетей для распознавания волновых «портретов» характерных объектов (метод распознавания образов) может дать хорошие результаты в условиях стандартных поисковых задач [7, 8]. При этом требуется создание базы данных калибровочных сиг-

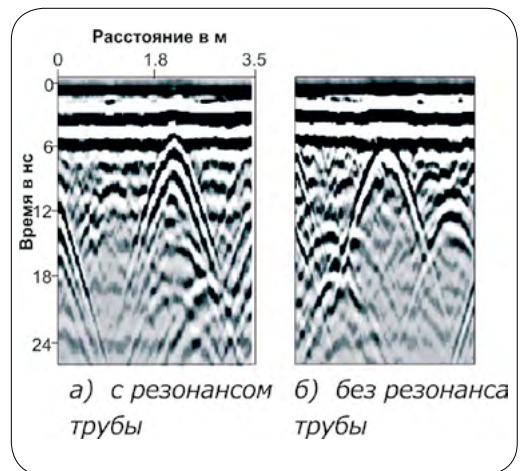


Рис. 3. Появление резонанса в зависимости от изменения геометрических размеров объекта для параллельной ориентации излучателя и приемника: а) труба диаметром 1,25 см длиной 11,5 см, закопанная на глубине 28 см; б) труба диаметром 1,25 см длиной 171 см, закопанная на глубине 33 см [9]

налов для всех типов распознаваемых объектов (например, труб или кабелей). Также в базу вводится некоторое количество образов волн-помех.

Кроме того, существенно улучшить результаты интерпретации геологической информации можно с помощью методики, суть которой состоит в том, что ортогонально меняя положение антенного источника и приемника сигналов, можно добиться значительного улучшения в распознавании подземных объектов (геологических структур, отдельных или групповых техногенных включений) [9]. Также существенно повышается точность распознавания глубины объектов в грунте за счет их резонанса. Резонанс определяется геометрией объекта и его электрофизическими свойствами.

Так, на рис. 2 представлены результаты использования методики ортогонального изменения ориентации источника и приемника относительно профиля измерений [9]. При этом видно, насколько повышается информативность получаемых результатов за счет ортогональной ориентации излучателя и приемника. На рис. 3 показано, как появляется резонанс объекта в зависимости от его геометрических параметров и изменения электрофизических свойств.

На рис. 4, а представлены результаты интерпретации полевого материала без использования специальных фильтров обработки. Профиль пересекает зону осадки грунтового массива,

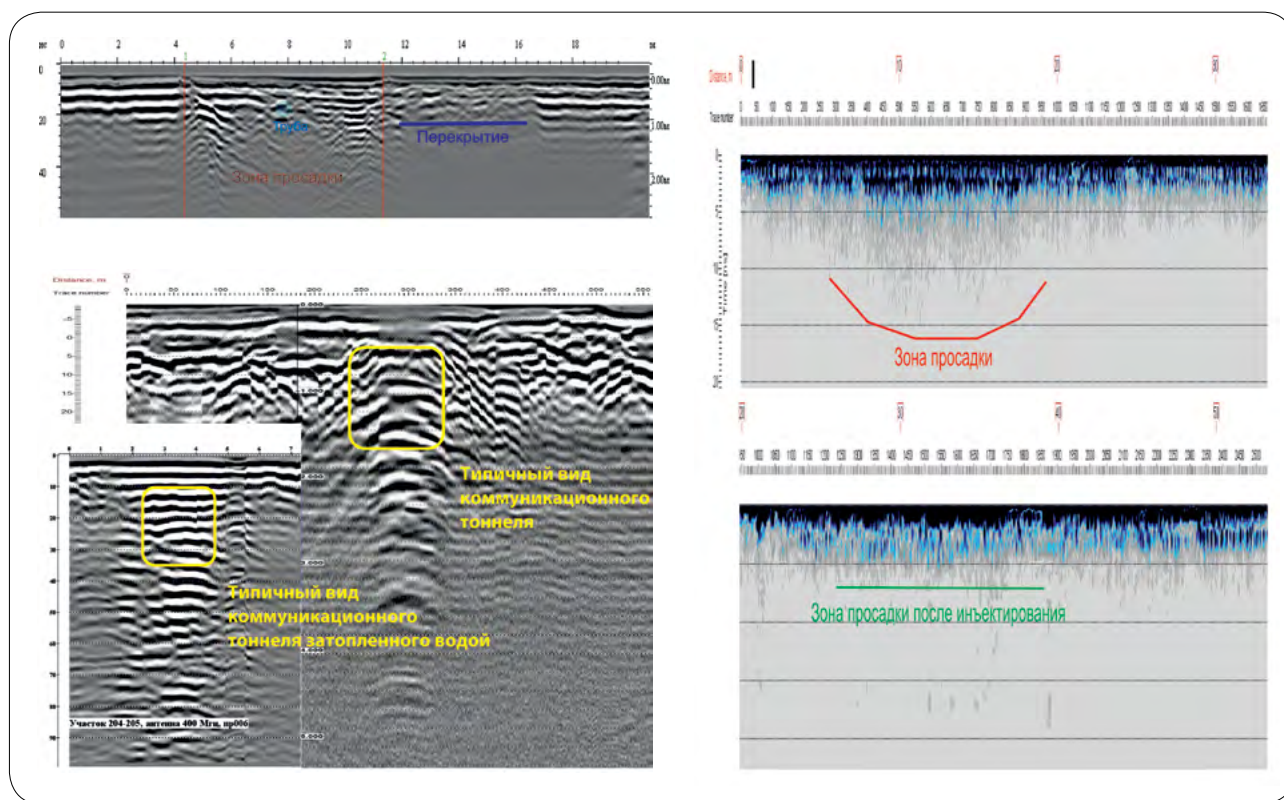


Рис. 4. Результаты георадиолокационного исследования грунтового массива: а) в зоне примыкания к подземному переходу, без использования специальных операций обработки; б) в месте просадки грунта из-за ведения поблизости строительных работ, с использованием преобразования Гильберта; в) пересечение георадарным профилем трассы коммуникационного тоннеля, без использования специальных операций обработки

примыкающего к тоннелю подземного перехода. На профиле выделяется наклонная граница осадки, связанная с обводненностью грунтов всего исследуемого массива. Обводненность подтверждается интенсивным «цугом» кратных отражений. Правильность интерпретации полученных результатов доказана возникшими в последующем просадками асфальтового покрытия на поверхности и осмотром колодцев дренажной системы. Просадки обусловлены выходом из строя дренажа и скоплением грунтовых вод.

На рис. 4, б приведены георадарные разрезы, обработанные с помощью процедуры, при которой каждая волновая трасса пересчитывается в соответствии с комплексным преобразованием Гильберта. На верхнем разрезе показана зона осадки грунтов под коммуникационным железобетонным тоннелем (по результатам зондирования перфоратором размер полости достигал 0,5 м от внешних габаритов сооружения), на нижнем разрезе – тот же участок после проведения работ по укреплению грунтового массива.

На рис. 4, в показано, как решается задача по поиску коммуникационного тоннеля прямоугольного сечения. На основной картинке видны четкие отражения от верхней плиты покрытия тоннеля и от его боковых стенок. Слева на рисунке представлен другой тоннель того же сечения, затопленный водой (тоннели выведены из эксплуатации). Следует отметить, что правильность результатов георадарных работ была подтверждена фактическим осмотром тоннелей изнутри.

Выводы:

- При относительно малой трудозатратности получения полевых материалов интерпретация результатов георадиолокационных исследований – сложный и трудоемкий процесс, требующий большого опыта и знаний, а также по возможности проверки результатов другими методами исследований, бурением контрольных скважин или проходкой шурфов.
- В зависимости от задач обследования для повышения качества полевого материала и упро-

щения интерпретации возможно использование нестандартных методик работ например, профилирования, ортогональной ориентации блоков антенн).

- Для локализации на разрезах стандартных объектов процесс обработки можно автоматизировать. Организация системы автоматизации для решения конкретных поисковых задач требует кропотливой работы по созданию библиотек распознаваемых образов, разработке специализированных программ обработки, построению методик проведения полевых работ.

Литература

1. СП 11-105-97. Инженерно-геологические изыскания для строительства.
2. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. / Министерство транспорта РФ. – М., 2003.
3. ASTM D4748-10. Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar.

4. Kirilenko A., Znaychenko P., Kapustin V. *Integrated Solutions in Structural Diagnostics. // Proceedings of the Int. Conf. «Structural Faults + Repair 2010», Edinburgh, UK, 2010.*

5. Денисов Р.Р., Капустин В.В. Обработка георадарных данных в автоматическом режиме. // Геофизика. – 2010. – № 4. – С.76-80.

6. Капустин В.В. Дополнительные возможности компьютерной обработки георадарных и сейсмических данных. // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 12. – С.26-30.

7. Набатов В.В., Морозов П.А., Семенихин А.Н. Выявление подземных коммуникаций на площадке строительства с помощью георадаров с резистивно-нагруженными антеннами. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С.120-134.

8. Кириленко А.М. Диагностика железобетонных конструкций и сооружений. – М.: Архитектура-С, 2013.

9. Radzevicius S.J., Guy E.D., Daniels J.J. Pitfalls in GPR Data Interpretation: Differentiating Stratigraphy and Buried Objects from Periodic Antenna and Target Effects. // Geophysical Research Letters. – 2000. – Vol. 27. – No. 20, October 15.

Для связи с автором:

Павел Александрович Знайченко, 8-916-211-23-16, znajchenko@triadaholding.ru

ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ

**ГОСТ 31564-2012
ПЕРФОРАТОРЫ ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ
ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИЕ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Стандарт распространяется на пневматические телескопические перфораторы, предназначенные для бурения восстающих шпуров и скважин при проходке горных выработок и добыче полезных ископаемых.

СТАТУС:

действует с 01.01.2014.
С 22.11.2012 не действовал, был принят. Сведения о регистрации 1092-ст от 22.11.2012.

УТВЕРЖДЕН:

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 22.11.2012

ВВЕДЕН:

с 01.01.2014

КОММЕНТАРИЙ:

Введен впервые (ИУС 11-2013).

**ГОСТ 31556-2012
ФРЕЗЫ ДОРОЖНЫЕ ХОЛОДНЫЕ
САМОХОДНЫЕ. ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ**

Стандарт распространяется на самоходные холодные фрезы с шириной фрезерования от 0,3 до 2,5 м, предназначенные для холодного фрезерования асфальтобетонных и цементобетонных дорожных покрытий при их ремонте.

СТАТУС:

действует с 01.01.2014.
С 22.11.2012 не действовал, был принят. Сведения о регистрации 1073-ст от 22.11.2012.

УТВЕРЖДЕН:

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 22.11.2012

ВВЕДЕН:

с 01.01.2014

КОММЕНТАРИЙ:

Введен впервые (ИУС 10-2013)