

### Список литературы

1. Гладков, Д. И. Физико-химические основы прочности бетона : учеб. пособие / Д. И. Гладков. – М. : АСВ, 1998. – 136 с.
2. Баженов, Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников. – М. : АСВ, 2006. – 368 с.
3. Teichmann, T. Einfluß der Granulometrie und des Wassergehaltes auf die Festigkeit und Gefügedichtigkeit von Zementstein / T. Teichmann. – Kassel : Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, 2007. – Heft 12. – S. 192.
4. A review on ultra high performance concrete: Part I. Raw materials and mixture design / C. Shi [et al.] // Construction and Building Materials. – 2015. – Vol. 101. – P. 741–751.
5. Entwicklung, Dauerhaftigkeit und Berechnung Ultrahochfester Betone (UHPC) / E. Fehling [et al.]. – Kassel : Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, 2005. – Heft 1. – S. 130.
6. Puntke, W. Wasseranspruch von feinen Kornhaufwerken / W. Puntke // Beton. – 2002. – Heft 52. – S. 242–248.

Научный руководитель – **В. Г. Соловьёв**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация.

УДК 625.72

А. А. МОРГУНОВ, И. В. ГОМЕЛЮК, Е. А. ШАРОЙКИНА, В. В. ШАПОВАЛОВ

### ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗЫСКАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ГЕОРАДАРА

Описан порядок проведения инженерно-геологического изыскания с помощью георадара. Современные методы неразрушающего обследования и контроля качества позволяют решить большой спектр задач. Пока они не могут полностью заменить традиционные методы – буровые работы и изъятие образцов для лабораторного изучения, но с их помощью достигается существенное сокращение трудозатрат и увеличение производительности. В конечном итоге это приводит к снижению стоимости работ и сокращению срока их выполнения.

В любом городе постоянно возводятся здания или сооружения. Перед строительством нужно провести обнаружение различных объектов естественного или искусственного происхождения. Это поиск трубопроводов, обнаружение электрических и телефонных кабелей; строительного мусора, строительных конструкций, крупных камней; определение уровня грунтовых вод, нарушение однородности в грунтовом массиве и т. д.

Для решения инженерно-геологических, гидрогеологических задач используется георадар. Своей мобильностью, компактностью, особенностью неразрушающего сканирования он позволяет провести обследование и определение местонахождения различных подземных объектов на строительной площадке.

Геофизический прибор работает по принципу излучения импульсов электромагнитных волн и приема сигналов, отраженных от границы разделов слоев, имеющих разные электромагнитные свойства. Примером таких границ является контакт между породами различного влагонасыщения, литологического состава, между породой и материалом искусственного происхождения и т. д.

При георадарном исследовании антенна прибора перемещается по поверхности. Прием отраженных сигналов происходит через определённую дистанцию, называемую шагом зондирования, который может достигать нескольких миллиметров, что означает: полученная радиограмма имеет высокую точность и детализацию. Отраженный сигнал, принимаемый антенной, передаётся на блок управления и обработки в виде радиограммы. Далее происходит интерпретация полученных данных.

Преимущества георадара заключаются в скорости проведения изыскания, компактности прибора и в экономичности. Однако широкое использование оборудования ограничено сложностью обработки полученных данных. Фактором усложнения интерпретации является то, что измерения диэлектрической проницаемости дисперсных грунтов изменяются в широких пределах, зависящих не только от самих грунтов, но и от параметров используемого аппарата. Кроме того, различные слои грунта могут иметь близкие значения диэлектрической проницаемости, что значительно усложняет интерпретацию материалов.

Нами было использовано георадарное оборудование на нескольких участках. Для работы использовался георадар ОКО-3 с антенной на 150 МГц. Для обработки интерпретации полученных данных использовалось программное обеспечение GeoScan32, идущее в комплекте с прибором.

Основными параметрами, определяемыми при георадиолокационных исследованиях, являются скорость распространения электромагнитных волн в среде  $V$  и диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ . Скорость определяется по формуле:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (1)$$

где  $c$  – скорость света в вакууме;

$\epsilon'$  – действительная часть относительной комплексной диэлектрической проницаемости среды.

Диэлектрическая проницаемость зависит от физических параметров среды и параметров электромагнитного импульса.

Сложность обработки полученных данных связана, в основном, с широким изменением диэлектрической проницаемости. Помимо этого, диэлектрическая проницаемость может быть практически одинакова для различных материалов и горных пород. Например,  $\epsilon$  для неводонасыщенных супесей изменяется от 6 до 16, а неводонасыщенных суглинков – от 9 до 25. Для водонасыщенных супесей от 16 до 25, а для суглинков – от 16 до 30 [1]. Вследствие этого информация, получаемая на георадарограммах, не всегда интерпретируется однозначно.

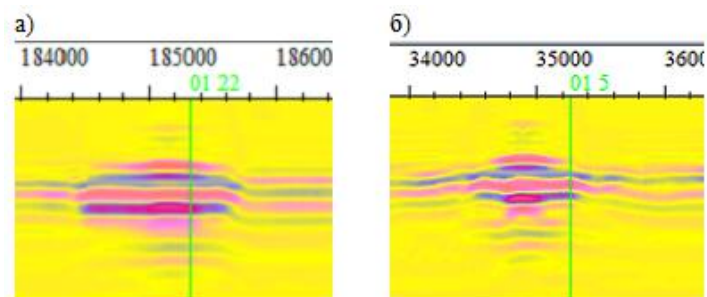


Рисунок 1 – Георадарограммы, полученные при прохождении через ливневую канализацию (а) и канализационный колодец (б)

В качестве примера неоднозначной интерпретации можно говорить о георадарограммах, получаемых при прохождении над люками канализационных колодцев и решетками ливневой канализации (рисунок 1).

Как видим, сигналы от люка и решетки практически идентичны. Незначительная разница проявляется только в мощности отраженного сигнала. Подобная неоднозначность может быть встречена и при обработке сигналов от других объектов.

При близких значениях диэлектрической проницаемости расчленение грунтовой толщи на отдельные инженерно-геологические элементы затруднено. Поэтому георадарные исследования необходимо дополнять данными, полученными при бурении и подобных исследованиях. Если подобных данных нет, то проводятся многократные определения  $\epsilon$  для выделенного инженерно-геологического элемента и результат берётся по усредненному значению.

Несмотря на сложность обработки, результаты, получаемые при георадарных исследованиях, дают много дополнительной информации об особенностях строения грунтовой толщи.

Георадар дает возможность исследовать состояние и строение дорожной одежды. Мы можем отчетливо наблюдать отдельные конструктивные слои, их изменение и дефекты (рисунок 2).

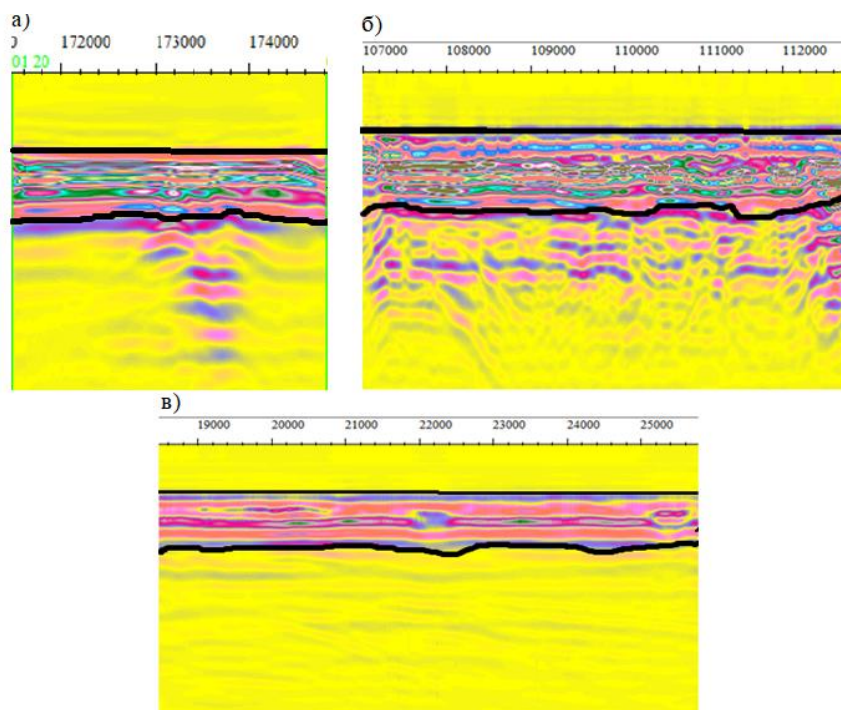
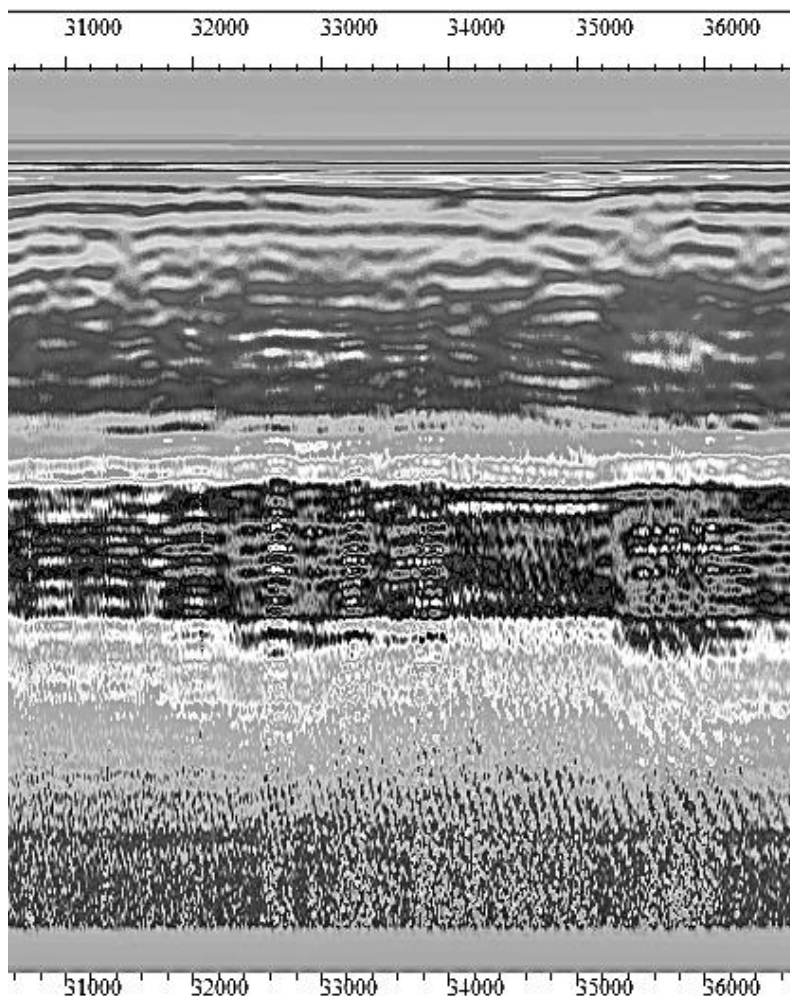


Рисунок 2 – Георадарограммы, полученные при прохождении по асфальтобетонному покрытию (а), газону (б), цементной тротуарной плитке (в)



**Рисунок 3 – Рыхлый грунт в основании склона**

Георадар позволяет определять неоднородности и изменения структуры в отдельных слоях грунтов, например разуплотнение грунта в районе канализационных колодцев, рыхлый грунт в основании склонов (рисунок 3).

В заключение можно отметить, что георадарная съемка при инженерно-геологических исследованиях является источником дополнительной информации о структуре и строении грунтовой толщи и объектах, расположенных ниже поверхности земли. Исследования являются методами неразрушающего контроля, так как не оказывают негативного воздействия на окружающую среду. Следовательно, у этого метода большой потенциал, он является перспективным направлением, но требует более обширных знаний в интерпретации и обработке данных, а также высококвалифицированных кадров.

#### *Список литературы*

1. Владов, М. Л. Введение в георадиолокацию / М. Л. Владов, А. В. Старовойтов. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 2004. – 154 с.
2. Калач, О. О. Применение георадара «ОКО-3» в диагностике автомобильных дорог / О. О. Калач, А. А. Моргунов, В. В. Шаповалов // 55-я студ. науч.-техн. конф. Бел.-Рос. ун-та : материалы конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2019. – С. 68.
3. Моргунов, А. А. Использование георадара при изыскательских работах / А. А. Моргунов // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений : материалы IV междунар. студ. конф. – Минск : БНТУ, 2020. – С. 40–41.
4. Шаповалов, В. В. Применение георадаров в дорожном строительстве / В. В. Шаповалов // Современные направления в проектировании, строительстве, ремонте и содержании транспортных сооружений : материалы IV междунар. студ. конф. – Минск : БНТУ 2020. – С. 74–75.
5. Моргунов, А. А. Влияние деформаций грунтов на дорожное покрытие / А. А. Моргунов, В. В. Шаповалов // 54-я студ. науч.-техн. конф. Бел.-Рос. ун-та : материалы конф. – Могилев : Бел.-Рос. ун-т, 2018. – С. 136.