

Коммерческое применение радиолокатора подповерхностного зондирования в археологии и строительстве

Е.В.Коньков, В.Н.Марчук

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова
Российской Академии наук (ФИРЭ РАН)

ekonkov@yandex.ru

Использование радиолокатора подповерхностного зондирования (георадара) позволило быстро и дешево решить ряд нетривиальных практических задач при строительстве крупных инженерных сооружений, в ходе археологических раскопок, при прокладывании и обслуживании подземных коммуникаций любого вида, глубинном обследовании пресноводных водоемов и поиске захоронений. Описаны основные результаты и методики георадарных обследований, проведенных с помощью георадаров серии «ГИР».

В Институте радиотехники и электроники РАН совместно с специалистами Московского физико-технического института при финансовой и маркетинговой поддержке ООО «Классик» разработано семейство радиолокаторов подповерхностного зондирования (георадаров) под общим названием «ГИР».

Принцип работы георадара и георадарного метода в целом [1,2] состоит в излучении и приеме коротких электромагнитных импульсов с длительностью фронтов и амплитудой порядка наносекунды и ста вольт соответственно. Излучение распространяется в исследуемой среде, в частности, в грунте и отражается от любых неоднородностей, связанных с изменениями диэлектрической проницаемости. Такими неоднородностями являются, например, естественные или антропогенные локальные объекты, пустоты, пространственные изменения литологического состава и влагосодержания, грунтовые воды, мерзлота и т.д. Амплитуда, фаза и время задержки отраженного электромагнитного импульса однозначно зависят от величины перепада диэлектрической проницаемости и пространственных координат каждой конкретной неоднородности исследуемой среды.

Прием и регистрация отраженного сигнала осуществляется методом стробоскопического преобразования с последующей оцифровкой и вводом полученной информации в переносной компьютер. При этом сохраняются в полном объеме все амплитудные, фазовые и временные параметры в виде зависимости амплитуды сигнала от времени.

При линейном передвижении георадара по поверхности грунта, получаемое семейство зависимостей амплитуды отраженного сигнала от времени образует двумерную картину отражений (радарограмму) в координатах «глубина - расстояние по горизонтали». Собственно радарограмма отнюдь не является прямым изображением подповерхностного пространства, это лишь его весьма специфический радио-образ. Однако некоторые известные методы математической обработки радарограмм [3] позволяют уверенно обнаруживать и с высокой вероятностью идентифицировать подземные объекты, в частности, артефакты.

Основными характеристиками георадара являются максимальная глубина зондирования и пространственное разрешение. В георадаре «ГИР-2» приемная и передающая системы обеспечивают генерацию и прием зондирующих импульсов, спектр которых имеет максимум на частоте 160 МГц, амплитуда 300 В и частота следования 10 кГц. При этом максимальная глубина зондирования на легких сухих грунтах оценивается в 15 м, а пространственное разрешение составляет 0,7 м.

Конструктивно георадар «ГИР-2» представляет собой компактный переносной прибор, состоящий из двух отдельных модулей, являющихся приемной и передающей системами, подключенными к компьютеру «notebook».

С целью обнаружить и по возможности идентифицировать артефакты до начала раскопок и тем самым существенно сократить сроки и объемы земляных работ по заказу Института археологии РАН на территории Троице-Сергиевой лавры было проведено георадарное обследование интересующих участков.

Георадарное обследование участков территории Троице-Сергиевой лавры выполнялось в форме последовательно-параллельного передвижения (сканирования) по заранее размеченным направлениям или по сетке, покрывающей исследуемый участок с шагом от 0,5 до 1 м. Для уверенного обнаружения и идентификации артефактов в данном случае использован ряд процедур математической обработки радарограмм, а именно: частотная фильтрация, экспоненциальное усиление амплитуд по глубине, преобразование Гильберта (мгновенная огибающая), корреляционный анализ, миграция (метод синтезированной апертуры) и скользящее вычитание среднего [3].

В качестве примера на Рисунке 1 представлена обработанная радарограмма, полученная при сканировании участка вблизи Трапезной и Троицкого храма. Зона затемнения в виде гиперболы есть георадарное изображение надгробной плиты на глубине около 1,5 м. Информативным признаком для идентификации в данном случае являлись амплитуда и фаза отраженного сигнала.

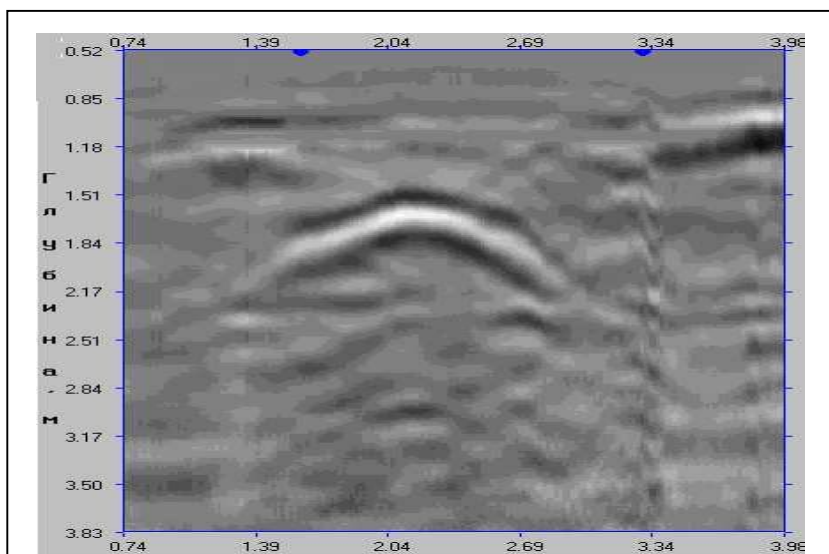


Рисунок 1.
Радарограмма одного из захоронений близки Трапезной и Троицкого храма Троице-Сергиевой лавры.

Следует отметить, что для решения данной археологической задачи параметры георадара «ГИР-2» являются оптимальными. Вместе с тем, для другого класса археологических исследований, где не требуется большая глубина зондирования, но необходимо высокое пространственное разрешение, весьма эффективно применение георадара «ГИР-3», обеспечивающего разрешение и глубину зондирования соответственно 0,15 м и 3 м.

Поэтому при раскопках скифских курганов в Ростовской области и Ставропольском крае по просьбе Донского археологического общества был использован георадар «ГИР-3» специально для обнаружения мелких артефактов таких как осколки глиняной посуды, каменные инструменты и украшения. В результате этой работы были обнаружены фрагменты посуды и оружия, относящиеся к четвертому тысячелетию до нашей эры.

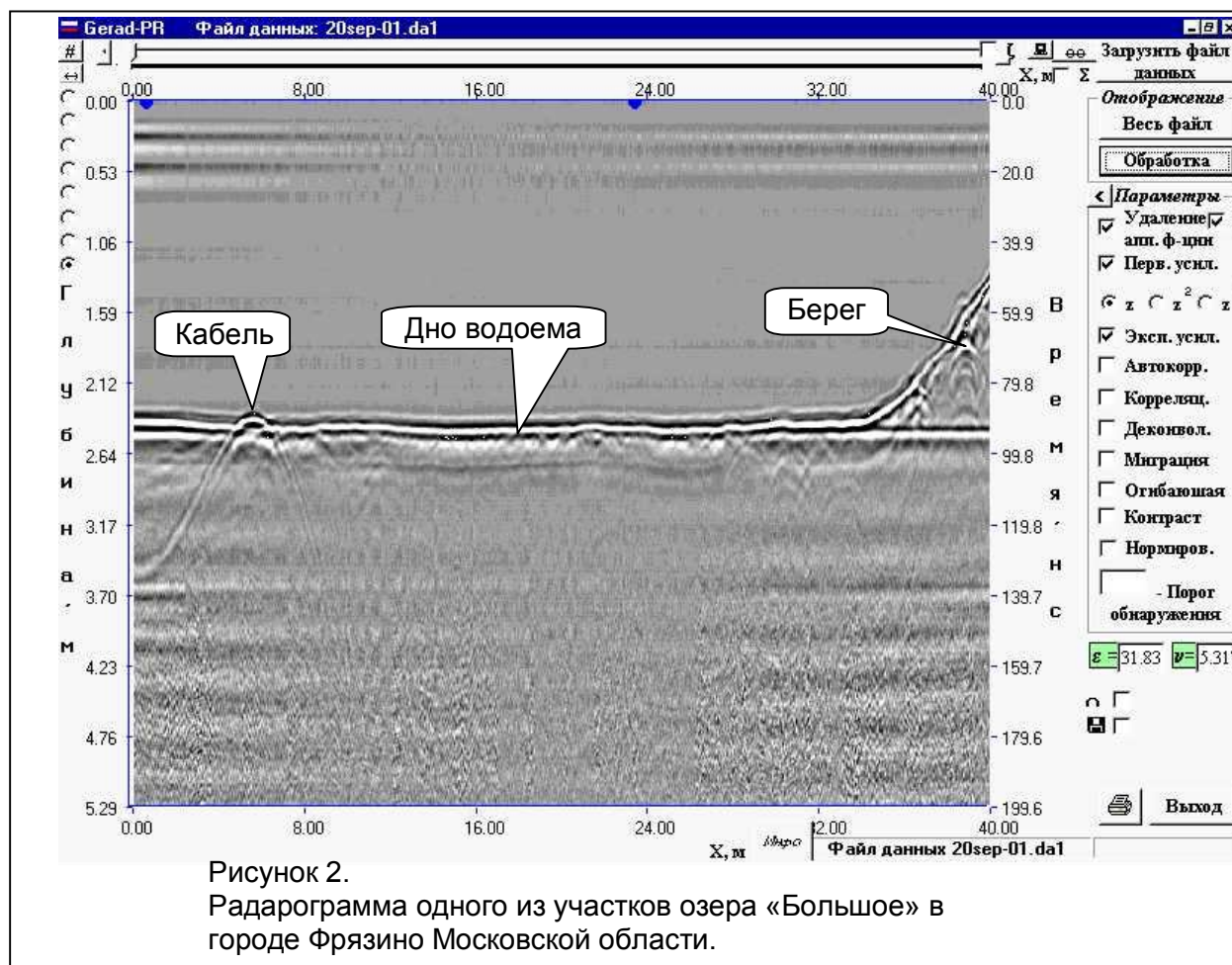
Георадар «ГИР-2» неоднократно и успешно использовался в поисковых экспедициях на местах боев в Московской и Тверской области.

При рытье котлована под строительстве крупного торгового центра на углу Садового кольца и Цветного бульвара в Москве обнаружился кирпичный дренажный канал, который не был указан ни в какой имеющейся документации. Через этот канал в котлован поступала вода и строительство было приостановлено. В результате георадарного обследования прилегающей площади удалось выяснить, что этот канал выходит с коньячного завода «Самтрест» в районе проспекта Мира. Были подняты архивные материалы по этому предприятию и оказалось, что

это производство существует в этом месте с конца восемнадцатого века, тогда же и был построен этот канал для слива отходов производства в реку Неглинка. На территории завода этот канал был перенаправлен в современную дренажную систему и проблема строительства торгового центра была решена.

Георадар модели «ГИР-3» применялся для контроля толщины и качества асфальтовых и бетонных покрытий, причем с его помощью можно измерять сразу несколько последовательных слоев. Полученные данные необходимы для оценки соблюдения технологии и затрат, связанных с чрезмерным расходом асфальта. В случае возможного применения штрафных санкций георадар является самым быстрым и удобным средством улаживания спорных вопросов.

В Москве и во Фрязино Московской области с помощью георадара «ГИР-2» проводилось профилирование водоемов на предмет оценки водозапаса, степени загрязнения, толщины илистых отложений. На Рисунке 2 показана радарограмма одного из участков озера «Большое» в городе Фрязино.



ЛИТЕРАТУРА

1. Финкельштейн М.И., Карпучин В.И., Кутев В.А., Метелкин В.Н. Подповерхностная радиолокация. М., Радио и связь, 1994.
2. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. М., Недра, 1986.
3. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Георадиолокационные исследования верхней части разреза. М., Издательство МГУ, 1999.