

УДК 550.8:[624.19:625.42]

**В.В. Набатов, Р.М. Гайсин, А.С. Вознесенский**

## **ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОНТАКТА "ГРУНТ-ОБДЕЛКА" В УСЛОВИЯХ ТОННЕЛЕЙ МЕТРОПОЛИТЕНОВ**

*Даны первичные результаты георадиолокационных обследований обделок тоннелей метрополитена с целью выявления плохого контакта «обделка-грунт». Интерпретация данных произведена на основании предварительных обследований на геофизическом полигоне в условиях, когда качество контакта известно. Изложены достоинства и недостатки метода в контексте описанной задачи.*

*Ключевые слова: прикладная геофизика, георадар, георадиолокация, виброакустический метод, контакт «обделка-грунт», армирование, «звонящие» записи, интерпретация результатов, неразрушающий контроль.*

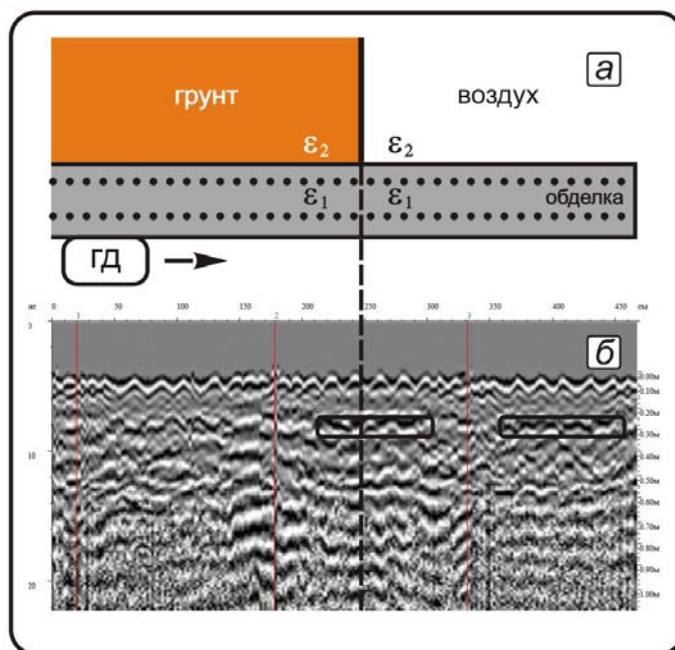
---

**О**дной из основных решаемых задач при неразрушающем контроле тоннелей метрополитена является оценка контакта «грунт-обделка». Полости в заобделочном пространстве могут влиять как на состояние тоннелей, так и на городскую застройку вблизи от тоннелей. Причиной возникновения этих полостей могут быть вибрации от проходящих поездов, некачественный тампонаж, влияние гидрогеологической ситуации. Выявление же полостей позволяет провести заблаговременный тампонаж, а также укрепление тоннелей.

Задачу выявления плохого контакта принято решать с помощью геофизических методов. В последнее время общей тенденцией развития этого типа обследований является так называемое комплексирование методов (совместная интерпретация, а иногда и совместная обработка результатов нескольких геофизических методов). Чувствительность к различным факторам исследуемых процессов (в том числе

влияние на результаты помех) у разных методов не совпадают. Это приводит к тому, что результаты различных методов дополняют друг друга. Статья [1] была посвящена комплексированию виброакустического метода и ультразвукового эхометода. Эта статья посвящена проблеме возможного использования высокочастотной георадиолокации в качестве дополнительного метода к традиционному методу виброакустического контроля [2, 3, 4].

Одним из недостатков виброакустического метода является низкая пространственная разрешающая способность. Метод достаточно трудоёмок и не позволяет снимать с малым шагом по поверхности тоннеля. Например, документ [5] подразумевает шаг вдоль по тоннелю 3-5 м. Другой проблемой является сложность обследования обделок большой толщины (например, 0,75 м). Также виброакустика не позволяет оценивать шаги армирования (которые могут в подземных сооружениях существенно меняться), а также вы-



**Рис. 1. Георадиолокационные измерения в котловане:** а – схема обследования, б – результат обследования (радарограмма). ГД – георадар «ОКО-2», 1200 МГц

являть небольшие участки, лишённые армирования. Выявление параметров армирования в первую очередь нужно для численного моделирования при оценке влияния процессов строительства подземных и надземных объектов вблизи от тоннелей – армирование определяет прочность конструкций. На железобетонных обделках высокочастотная георадиолокация способна частично снять перечисленные проблемы, плюс, дополнительно возникает эффект увеличения достоверности полученных результатов за счёт комплексирования. Выбор непосредственно высокочастотной георадиолокации связан с необходимостью работать через арматурные решётки [6, 7].

До проведения обследований в метрополитене сотрудниками ка-

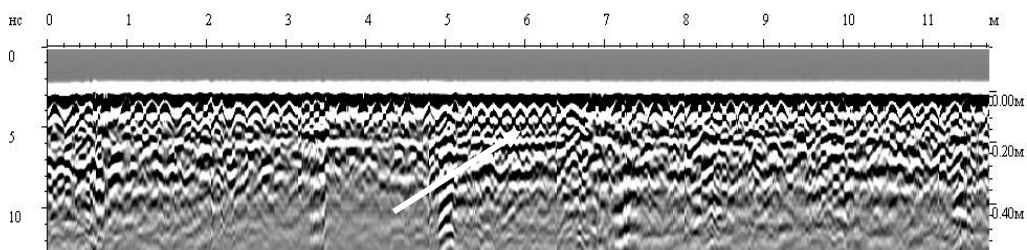
федры ФТКП были проведены пробные георадиолокационные обследования на полигоне кафедры и на строительных площадках, на которых производились геофизические обследования для других целей. Были созданы такие условия, в которых было известно, где присутствует хороший контакт «обделка-грунт», а где – контакт отсутствует.

Рис. 1 представляет собой один из подобных результатов, полученных на строительной площадке московского метрополитена (в котловане). На рис. 1, а представле-

на схема измерений (вид сверху): обделка представляет собой вертикальную железобетонную плиту в одной части прижатую грунтом, а в другой – свободно стоящую. Снимая георадаром по поверхности плиты, можно получить данные для ситуации, когда граница «обделка-грунт» сменится на границу «обделка-воздух», что приведёт к изменению коэффициента отражения:

$$K_{отр} = \frac{\sqrt{\varepsilon_1'} - \sqrt{\varepsilon_2'}}{\sqrt{\varepsilon_1'} + \sqrt{\varepsilon_2'}} ,$$

где  $\varepsilon_1'$  – действительная часть диэлектрической проницаемости среды, из которой излучение падает на границу (обделка),  $\varepsilon_2'$  – действительная часть диэлектрической проницаемости среды в которую излучение проходит (грунт, либо воздух;



**Рис. 2. Результаты георадиолокационных съёмок в тоннелях метрополитена. Пример изменения коэффициента отражения от границы «обделка-грунт». Георадар «ОКО-2», 1200 МГц**

см. рис. 1, а). Изменение  $K_{отр}$  приведёт к изменению амплитуды отражённой волны.

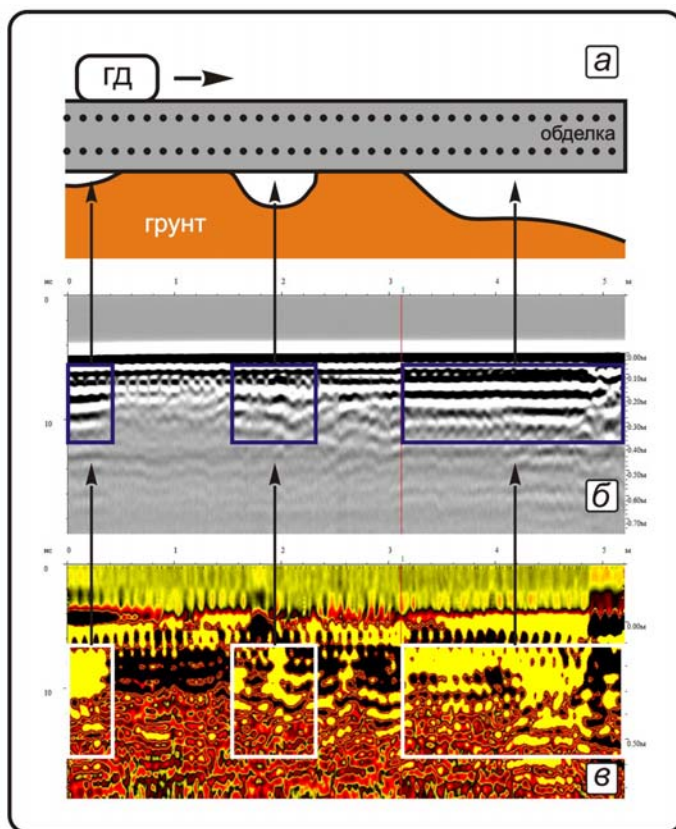
На рис. 1, б представлена одна из радарограмм, полученных в котловане. Горизонтальные масштабы схемы рис. 1, а и радарограммы рис. 1, б совпадают.

Граница находится на глубине 20-25 см (см. правую шкалу радарограммы) и очень слабо просматривается из-за помехового влияния армирования. Можно заметить, что в правой части радарограммы, там, где за обделкой отсутствует геомассив, граница просматривается лучше (наиболее выраженные участки обведены прямоугольниками). Другими словами контраст  $\varepsilon_1'$  для границы «обделка-грунт», ниже, чем для границы «обделка-полость». Однако, нужно признать, что по волновому полю это видно достаточно плохо. К тому же подобных радарограмм было снято достаточно большое количество – на рис. 1, б представлен наиболее хорошо читающийся вариант. В большинстве случаев получить убедительную разницу не удалось.

До некоторой степени этот негативный результат был ожидаем. Разница контрастов основного параметра среды для георадиолокации ( $\varepsilon'$ ) на границе «обделка-грунт» и «обделка-воздух» менее выражена,

чем основного параметра среды для методов, основанных на регистрации откликов упругих волн (акустическая жёсткость). Это делает изменение свойств на границе более заметным при использовании низкочастотного ультразвукового дефектоскопа [1], но плохо работает при использовании георадиолокации. Ещё одним негативным фактором здесь является хорошо просматриваемые волновые «портреты» многорядной арматуры. Арматура видна не только в месте своего заложения, но также, за счёт дифрагированных волн, создаёт так называемые гиперболические оси синфазности, которые из-за небольшой глубины границы (20-30 см) накладываются на неё.

Тем не менее, первые же обследования тоннелей метрополитена дали результаты, что в некоторых случаях граница из слабо просматриваемой и испорченной осями синфазности отражений от армирования, становилась ярко выраженной (см. рис. 2, область указана стрелкой). Причём в некоторых случаях зона высокого контраста  $\varepsilon'$  была привязана к границам плит. Это было интерпретировано как увеличение  $\varepsilon'$ , которое может создавать вода в заобделочном пространстве. О возможностях оценки характера заполнителя полости по изменению



**Рис. 3. Георадиолокационные измерения на полигоне:** а – схема обследования, б – результат обследования (радарограмма), в – разрез мгновенных амплитуд. ГД - георадар «ОКО-2», 1700 МГц

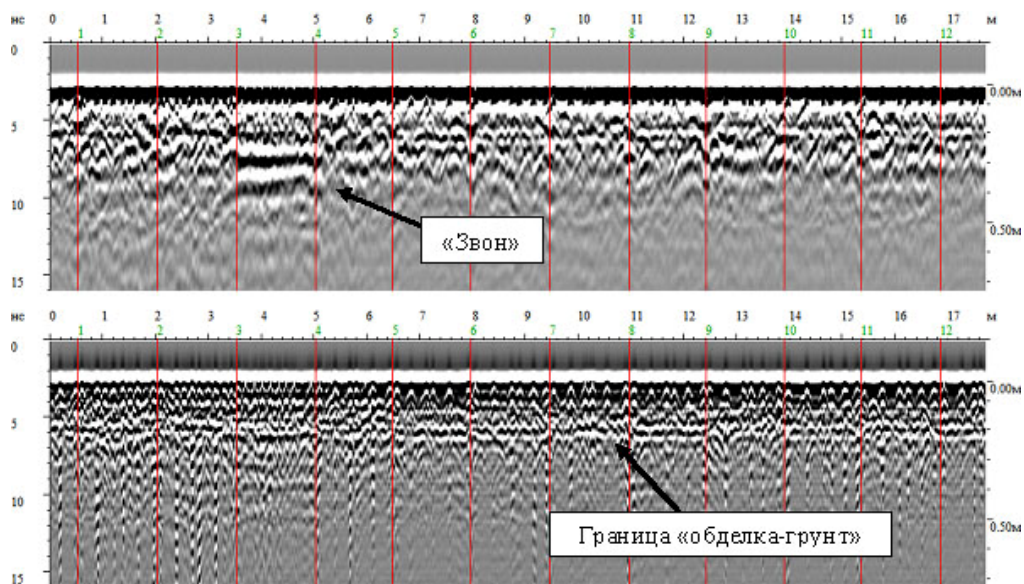
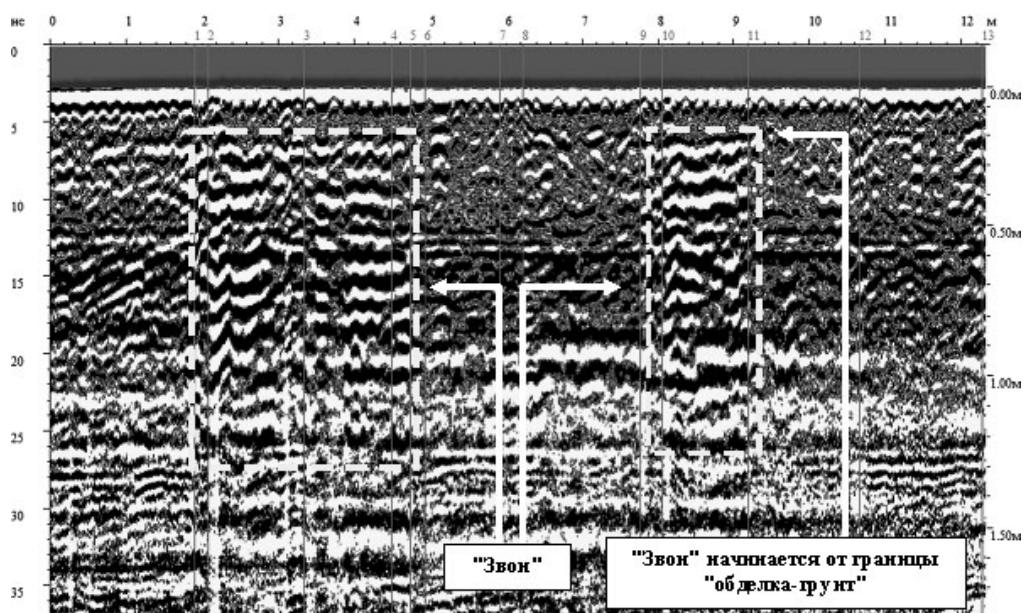
полярности отражённых сигналов будет сказано ниже.

На рис. 3 представлена другая ситуация. Этот результат получен на полигоне кафедры ФТКП. На рис. 3, а представлена схема измерений (вид сбоку): железобетонная плита, 12 см толщиной, положена на полости в грунте. На схеме прорисован профиль полостей. Также как и в случае с первым примером отснята серия радарограмм. На рис. 2, б представлена одна из таких радарограмм, её горизонтальный масштаб соответствует горизонтальному масштабу схе-

мы. Можно заметить, что с месторасположением полостей достаточно хорошо совпадает проявление на трассах так называемых «звонящих» записей. Их можно подчеркнуть обработкой – см. рис. 3, в. Этот результат был гораздо более стабилен, чем в первом примере: «звоны» стабильно возникали при пересечении профилем полости под плитой.

На рис. 4 и 5 представлены результаты съёмки в тоннелях метрополитена. По большей части «звонящие» записи приходится выделять обработкой. На рис. 4 представлен один из вариантов такой обработки. Граница «грунт-обделка» в этих случаях часто подавляется (для выделения границы приходится применять другую обработку). Анализируя картину, можно заметить, что оба выделенных участка имеют «звон», начинающийся со времён, соответствующих приходу отражений от обследуемой границы (20-25 см). Т.е. первые вступления «звонов» не просматриваются раньше отражений от границы «обделка-грунт» (см. рис. 4).

При работе с данными, снятыми в тоннелях в большинстве случаев для радарограммы приходится искать тот граф обработки, который наиболее удачно выделить сигнал-идентификатор.



Часто решение приходится принимать на основании анализа нескольких факторов, видных при различных обработках. Однако, в некоторых случаях «звон» просматривается настолько хорошо, что вообще не требует обработки по его выделению. Примером такой ситуации может быть радарограмма, представленная на рис. 5. Здесь метки (вертикальные линии на волновом поле радарограмм) обозначают границы плит. Видно, что ярко выраженный «звон» приурочен к размерам одной плиты. На рис. 5, б обработкой выделена граница «обделка-грунт». Сопоставив рис. 5, а и рис. 5, б можно заметить, что звон идёт от границы «обделка-грунт» и не начинается раньше её.

Исходя из опыта анализа полученных данных, можно сказать, что решения о том, чем заполнены полости принимать, обычно, сложно. Исходя из теории, отрицательные значения коэффициента отражения описывают амплитудную инверсию сигнала. Анализируя формулу (1) можно сказать, что если волновой пакет отразился от границы, на которой  $\varepsilon'$  контрастно уменьшается, то  $K_{отр} > 0$  и инверсия сигнала не произойдёт (это вариант «обделка-воздух»). Если волновой пакет отразился от границы, на которой  $\varepsilon'$  контрастно увеличивается, то  $K_{отр} < 0$  и полярность сигнала поменяется на обратную (это вариант «обделка-вода»).

К сожалению, при обследовании обделок помехи столь сильно влияют на границу, что анализировать полярность в большинстве случаев трудно. При этом обработка, направленная на выделение границы (в первую очередь подавление прямой волны с вычитанием среднего), часто

сильно искажает информацию о полярности первого вступления. Также часто теряется само первое вступление и не ясно какой полупериод видит интерпретатор. Такова ситуация с рис. 5, а и с рис. 2: в обоих этих случаях нельзя быть полностью уверенным, что отражение пришло не инвертированным.

Приблизительно такие же результаты приходится в большинстве случаев наблюдать и при работе с георадарами с поверхности [8]. Впрочем, полностью отказываться от инструмента не стоит – в рамках геофизического комплекса методов анализ полярности первого вступления может стать важным дополнительным аргументом, подтверждающим предположения, полученные из других методов.

Судя по опыту работ, наличие так называемых воздушных помех, количество которых достаточно велико в условиях закрытого пространства тоннелей не является острой проблемой. И решается отчасти экранированием (которое обычно реализуется для высокочастотных георадаров), а отчасти опытом интерпретатора – разделить помехи и полезные отражения в большинстве случаев вполне возможно.

Метод высокочастотной георадиолокации, в приложении к обследованию тоннелей метро, обладает и недостатками. Это невозможность обследовать чугунные обделки, сложность обследования путевых стен на станциях (стены покрыты отделкой, часто представляющей собой многослойную конструкцию), неотработанность методик и небольшое количество публикаций по теме георадиолокационного обследования тоннелей [9, 10].

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вознесенский А. И., Набатов В.В., Симонов Н.Н., Ромашенко В.А.* Опыт акустического контроля границы «обделка-грунт» тоннелей метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2011, №9. С. 201-207.
2. *Способ* контроля качества строительных конструкций: пат. RU(11) 2114426 (13)С1 Рос. Федерация / авторы и заявители Козлов О.В., Савич А.И. Заявка: 97104438/03, 20.03.1997. Опубликовано: 27.06.1998.
3. *Бауков Ю.Н., Бауков А.Ю.* Виброакустический метод контроля в горном деле и строительстве. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2006.
4. *Бауков А.Ю.* Разработка технологии ремонта многослойных конструкций подземных сооружений на основе виброакустической диагностики их дефектности [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22 : защищена М., 27.01.2010.
5. *Методика* комплексного обследования состояния строительных конструкций сооружений метрополитена, попадающих в зону влияния строительства городских объектов // Разработана филиалом ОАО ЦНИИС «НИЦ «Тоннели и метрополитены», директор филиала Меркин В.Е; утверждена зам. ген. директора ОАО ЦНИИС Церценат А.А. – Москва, 2006.
6. *Блохин Д.И., Вознесенский А.С., Кудинов И.И., Набатов В.В., Шейнин В.И.* Опыт использования геофизических методов для оценки фактических конструктивных параметров железобетонных фундаментных плит // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2011, №2. С. 283-289.
7. *Еременко А.В., Зверев Е.О., Клепикова С.М., Монахов В.В.* Георадиолокация в присутствии железобетонных конструкций // Разведка и охрана недр. – 2004, №12. С. 26-28.
8. *Набатов В.В., Гайсин Р.М.* Георадиолокационное обследование массивов горных пород вблизи эксплуатирующихся коллекторов с целью выявления областей разуплотнения // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2012, №11. С. 60-68.
9. *Семенова А.А., Супилин М.А., Родионова А.Е., Родионова М.Е.* Опыт комплексного применения виброакустического, термометрического и георадиолокационного методов контроля при изучении состояния перегонных тоннелей нижегородского метрополитена // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2011, №8. С. 219-223.
10. *Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С.* Теория и методы георадиолокации: Учеб.пособие / М.: «Горная книга», 2008. - 196 с. **ГИАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Набатов Владимир Вячеславович* – кандидат технических наук, доцент кафедры ФТКП, nv4@mail.ru

*Гайсин Роберт Мударисович* – кандидат технических наук, доцент кафедры ФТКП, ftkp@mail.ru

*Вознесенский Александр Сергеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры ФТКП, ftkp@mail.ru

Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)

