

УДК 624.131

**А.И. Вознесенский, С.В. Изюмов, С.В. Дручинин,  
С.И. Миронов**

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ  
В ЗОНЕ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА  
КОЛЛЕКТОРА**

*Рассмотрены результаты съемки участка грунта в районе железнодорожной насыпи георадиолокационным и сейсмоакустическим методами. В результате их совместного использования устранены помехи и выявлена аномальная зона, интерпретируемая как техногенный объект с повышенной плотностью. Последующая проходка тоннеля подтвердила полученные результаты.*

*Ключевые слова: сейсморазведка, георадар, аномалия, техногенный объект, тоннель, зондирование, плотность грунтов, инженерно-геологический, изыскания.*

Семинар № 3

---

**О**чень часто имеющиеся в распоряжении строителей геологические разрезы, построенные по данным разведочного бурения, оказываются недостаточно подробными, так как бурение скважин является либо невозможным, либо слишком дорогостоящим. Это приводит к тому, что проходка тоннелей в условиях мегаполиса может быть осложнена неожиданно встречающимися техногенными и природными включениями, которые не были учтены ранее на геоподоснове. Одним из методов уточнения геологического строения по трассе проходки и устранения указанных осложнений является постоянный геофизический контроль. Для получения достоверных данных требуется комплексный подход.

Рассмотрим применение комплексного геофизического контроля при подземном строительстве в районе пересечения Дмитровского шоссе и Октябрьской железной до-

роги, где велась перекладка коллектора реки Жабинки. При сооружении коллектора под железнодорожной насыпью с помощью проходческого щита с открытым забоем при входе в насыпные грунты из стартовой шахты в сторону приемной было обнаружено препятствие, состоящее из бутового камня, скрепленного между собой цементом (рис. 1). На предоставленном перед проходкой профиле геологическое строение участка было следующим: под насыпными песчано-супесчано-суглинистыми грунтами с включением щебня, дресвы, залегают современные аллювиальные отложения, но данные о наличии техногенных включениях отсутствуют.

Поскольку при проходке нельзя было исключить вероятность встречи подобных аналогичных объектов, было принято решение осуществлять дальнейшие работы с опережающим геофизическим контролем.



**Рис. 1. Внешний вид участка стены, находящейся в грунте**

Ведение данных работ было поручено ООО «Геологоразведка», которая на протяжении ряда лет занимается разработкой и внедрением радаров серии «ТР-ГЕО», а также применением иных геофизических методов, обеспечивающих диагностику горного массива с высокой скоростью снятия данных, оперативностью и достоверностью получаемых результатов. Среди используемых методов применяются георадиолокационное зондирование, а также различные варианты сейсмоакустических методов, в частности сейсмоакустическая томография.

В распоряжении специалистов фирмы имеется широкий набор георадаров серии ТР-ГЕО, работающих в различных диапазонах рабочих частот и с различной глубиной зондирования

[1], характеристики которых приведены в табл. 1.

Исходя из поставленных задач и учитывая условия проведения работ, зондирование осуществлялось с применением шахтной модификации георадара «ТР-ГЕО-01» (рис. 2) и 24-канальной цифровой сейсмостанцией «ТР-ГЕО-С», внешний вид которой показан на рис. 3 и 4.

Мониторинг грунтового массива с использованием двух геофизических методов позволяет уменьшить помехи различного вида и повысить тем самым достоверность получаемых результатов. Наибольший эффект достигается в данном случае за счет того, что один метод основан на регистрации электромагнитных волн, а другой – упругих.

Зондирование короткими видеопульсами позволяет достичь наи-



**Рис. 2. Внешний вид радара ТР-ГЕО антенны 40×40 см**

**Основные характеристики георадаров серии ТР-ГЕО**

Модель георадара	Размеры антенны, см	Диапазон частот, МГц	Глубина зондирования, м
ТР-ГЕО-01	40×40×7	100-150	10
ТР-ГЕО-02	25×25×7	150-200	6
ТР-ГЕО-03	12×12×3	1500	1
ТР-ГЕО-04	10×10×5	2000-2300	0.5
ТР-ГЕО-ДМ	100×100×20	10-30	30



**Рис. 3. Внешний вид сеймостанции «ТР-ГЕО-С»**



**Рис. 4. Внешний вид сеймоприемника**

лучшей разрешающей способности георадара при заданной проникающей способности радиоволн, определяемой средней частотой спектра ви-

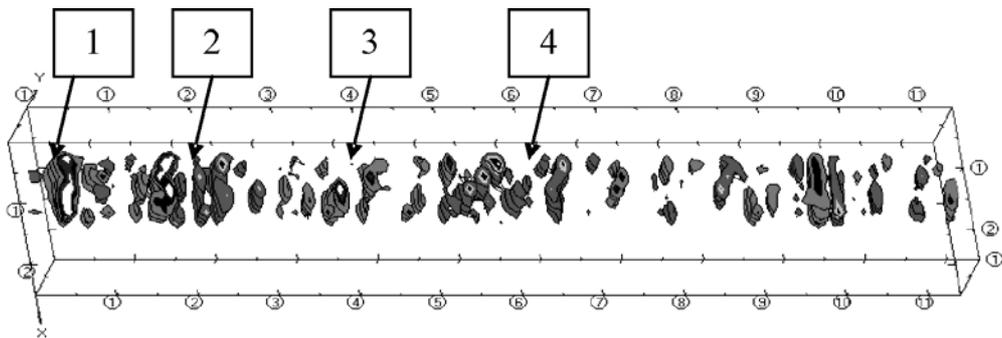
деоимпульса и электрическими свойствами грунта. Объектами зондирования являются любые неоднородности грунта и предметов, достаточно сильно отличающиеся по диэлектрической проницаемости или проводимости от окружающего грунта и имеющие достаточно большие размеры.

В рассматриваемом случае зондирование участка предстоящей проходки осуществлялось с помощью георадарной съемки двух вариантов: над шитовым комплексом из выходного шахтного ствола между кольцами крепления и из забоя впереди шита.

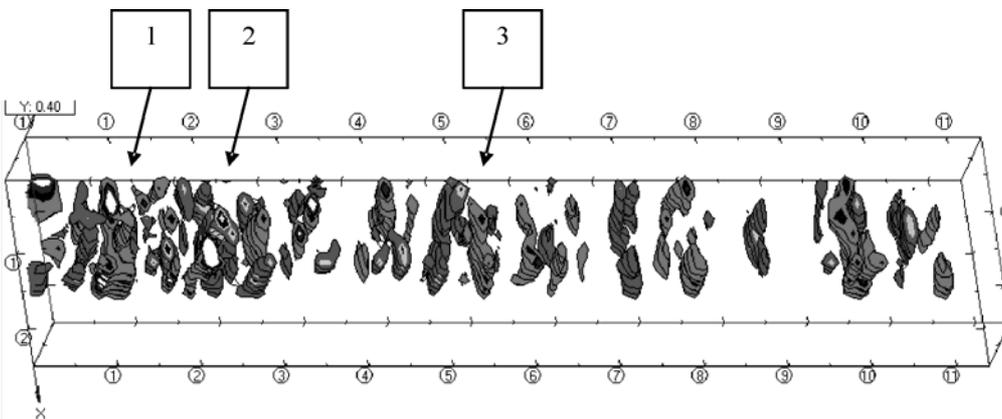
Результаты съемки по первому варианту представлены на рис. 5. Здесь можно выделить несколько участков. На участке 1 явно выражено отражение от металлического крепления шахты, на участке 2 прослеживается зона с более пластичными грунтами, на участке 3 указана зона с возможным содержанием грубого обломочного материала и на участке 4 видны обводненные грунты.

Зондирование из забоя на глубину до 11 метров дали результаты, представленные на рис. 6. На участках 1, 2 изображение можно интерпретировать как множественные отражения от найденной стены толщиной 2 метра по направлению проходки. На участке 3 находится скопление обломочного материала.

Одним из перспективных методов современной геофизики является метод сейсмоакустической томографии, который в данном случае применялся совместно с георадиолокационной съемкой на данном участке строительства. Основой используемой для этого аппаратуры «ТР-ГЕО-С» является цифровой сейсмоприемник. Он включает в себя: геофон, усилитель, аналого-цифровой преобразователь и контроллер. Управление режимами сейсмоприемников, как, например,



**Рис. 5. Визуализация результатов геозондирования из шахты, над щитом проходки**



**Рис. 6. Результаты замеров сделанных из забоя шахты**

коэффициентом усиления, осуществляется дистанционно с компьютера. За счет использования цифровой передачи данных на работу аппаратуры не оказывают влияния электрические помехи, которым подвержены сейсмоакустические измерительные системы с передачей по кабелям аналогового сигнала. Поэтому данная система может с успехом использоваться в условиях города при близком расположении линий электропередачи, контактных сетей транспорта и т.п.

Сейсмические измерения совместно с георадарной съемкой проводились с дневной поверхности на площадке зондирования, расположенной на северном склоне ж/д насыпи. Выбор положения и размеров участков обследования был обусловлен техни-

ческим заданием и возможностью прохождения профилей. Площадка геозондирования состояла из группы профилей, расположенных параллельно друг другу со смещением 0,4 м по оси Y. Сейсмодатчики устанавливались в грунт, размещение сеймоприемников показано на рис. 7.

Использовались различные схемы зондирования, отличающиеся взаимным расположением сейсмодатчиков и мест возбуждения упругих волн. Отличительной особенностью данной сеймостанции является то, что аналого-цифровое преобразование сигнала геофона производится в самом сейсмодатчике и передается по кабелю в цифровом виде, что позволяет снизить уровень помех принимаемым датчиком и передачи сигналов.



**Рис. 7. Размещение сейсмоприемников на склоне насыпи**

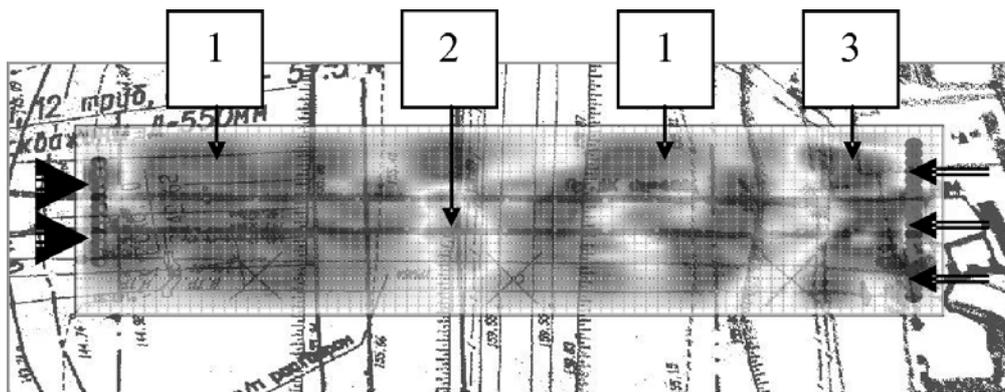
В качестве источника возбуждения сейсмоакустических волн применялись удары молотом по грунту через металлическую прокладку.

При записи и обработке данных использовалось программное обеспе-

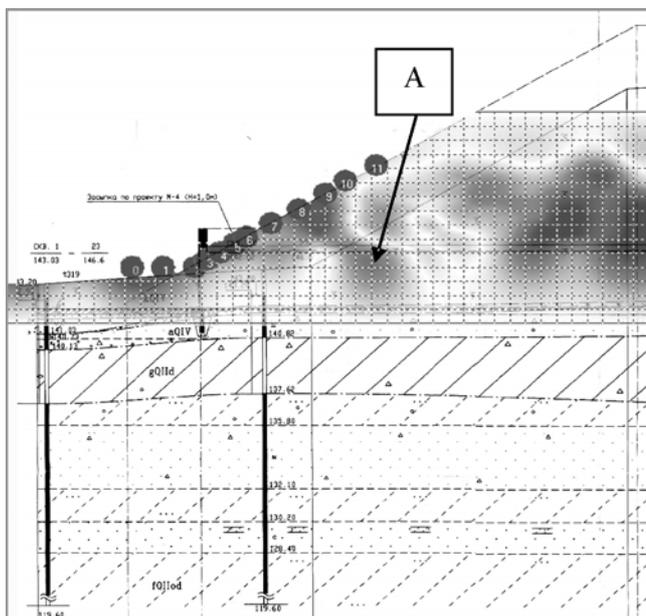
чение, созданное фирмой ООО «Геологоразведка».

В результате камеральных работ были построены вертикальные и горизонтальные сечения, характеризующие распределения измеряемых параметров, на которых можно было выявить аномалии.

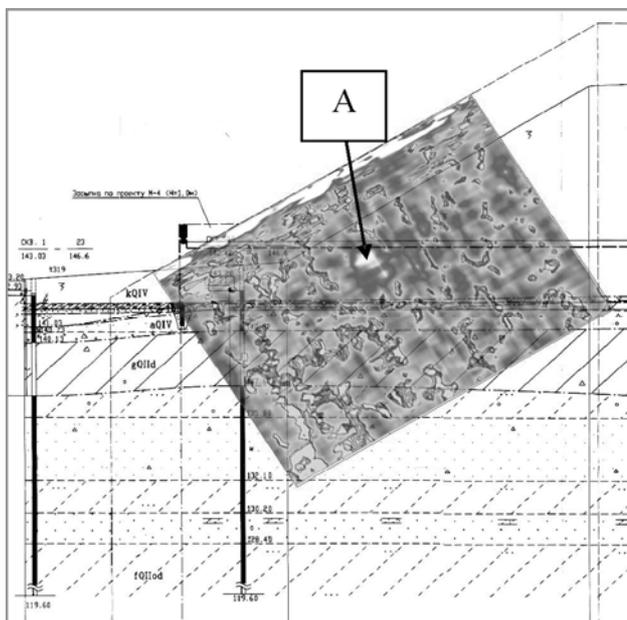
При обработке сейсмограмм в зависимости от расположения датчиков, точек удара, а также способа обработки данных, были получены распределения скоростей распространения сейсмических волн и степени их затухания в грунте. На рис. 8 представлены пространственные распределения скоростей, совмещенные с планом участка. Проходка осуществлялась справа налево. Данные построения осуществлены по цветовой кодировке, которая при черно-белой печати теряется. Поэтому на рис. 8 различные области отмечены цифрами: 1-плотный грунт, 2- мягкий грунт, 3-обводненная зона. Плотная порода, отмеченная цифрой 1 в левой части рисунка, позволяет сделать предположение о наличии здесь объектов, имеющих более высокую плотность, чем вмещающая среда, т.е. скальный грунт, бетон, кирпичная или каменная кладка.



**Рис. 8. План участка и результаты сейсмической съемки**



**Рис. 9. Результаты сейсморазведки на разрезе участка с указанием мест расстановки сейсмоприемников**



**Рис. 10. Вертикальный разрез с нанесенной на него радарограммой**

На рис. 9 и рис. 10 представлены вертикальные разрезы исследуемого участка с нанесенными на них сейсмотограммой и радарограммой соответственно.

На рис. 9 буквой «А» и стрелкой показано положение аномалии грунта с высокой плотностью. Это место соответствует зоне, обозначенной цифрой 1 в левой части рис. 8. На основании этого можно сделать вывод о наличии в этом месте грунта с высокой плотностью, что может быть интерпретировано как аномалия, с более высокой плотностью относительно вмещающих пород.

На рис. 10 представлена радарограмма полученная на том же участке. Светлая область в верхней части радарограммы мощностью 0,4-0,6 м. соответствует разрыхленным насыпным грунтам. Насыпной грунт содержит большое количество твердых включений, что на радарограмме отмечено темной окраской. Однако наибольшие показатели измеряемой величины зафиксированы в зоне «А», отмеченной стрелкой на рис. 10. Этот результат может быть интерпретирован как зона с повышенной диэлектрической проницаемостью и проводимостью, резко отличающейся от остального массива грунта.

Сравнивая результаты, представленные на рис. 9 и рис. 10 можно сделать вывод, о различии пространственных помех, регистрируемых помех одним и другим методами. В то же время координаты областей, отмеченных буквой «А» на одном и другом рисунках, совпадают. Это позволяет с большой уверенностью сделать вывод о наличии в этой области твердых включений, таких как скальный грунт, бетон, кирпичная или каменная кладка.

Эти результаты были учтены при проходке тоннеля, в ходе которой они подтвердились. На месте этой аномалии была обнаружена стена, сложенная из бутового камня и, вероятно, служившая подпорной стенкой на берегу протекавшей здесь ранее реки «Жабинка». Своевременный учет препятствий позволил избежать поломок проходческого оборудования.

### **Выводы**

В результате комплексного геофизического обследования была дана оценка инженерно-геологической обстановки, уточнено геологическое строение на участке обследования до глубины 15 метров. Зондирование, проведенное из забоя, позволило уточнить состояние грунтового массива перед проходческим щитом. Проведение сейсмоакустической томографии совместно георадиолокационной съемкой на участке обследования позволило выявить аномальную зону и сделать вывод о наличии в этом месте техногенного объекта с высокой плотностью, что могло быть интерпретировано как бетон, кирпичная или каменная кладка. Эти результаты были учтены при последующей проходке тоннеля, что позволило принять соответствующие меры и исключить поломку дорогостоящего щитового комплекса.

---

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С. Теория и методы георадиолокации. М.: Издательство «Горная книга», Издательство Московского государственного горного университета, 2008. – 196 с.: ил. **ГИАЗ**

---

### **Коротко об авторах**

*Вознесенский А.И.* – аспирант, e-mail: [ftkp@mail.ru](mailto:ftkp@mail.ru)

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

*Изюмов С.В.* – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Геологоразведка», e-mail: [trgeo@trgeo.ru](mailto:trgeo@trgeo.ru)

*Дручинин С.В.* – кандидат физико-математических наук, зам. генерального директора по науке ООО «Геологоразведка», e-mail: [trgeo@trgeo.ru](mailto:trgeo@trgeo.ru)

*Миронов С.И.* – нач. отд. геофизического мониторинга и инженерных изысканий ООО «Геологоразведка», e-mail: [trgeo@trgeo.ru](mailto:trgeo@trgeo.ru)

