

ВВЕДЕНИЕ

Проблема, решению которой посвящена настоящая работа, широко известна инженерным службам ОАО «Российские Железные Дороги». Это просадки, вынос грунта и другие нарушения в структуре железнодорожной насыпи.

Целью исследования является выявление неоднородностей в теле железнодорожной насыпи, а также изучение гидрогеологической ситуации грунта, подстилающего насыпь.

Железнодорожная насыпь представляет собой насыпное сооружение, состоящее из грунта различного состава, перекрытого сверху слоем щебня мощностью 0.4 – 1.0 м. Исправная насыпь должна иметь горизонтально-слоистую структуру.

Рельсы уложены на железобетонные или деревянные шпалы, которые находятся на щебне. Поэтому гальванического контакта между рельсами и грунтовым телом насыпи нет. Контактные сети и другие коммуникации, проложенные вдоль путей, изолированы от опор, и также не формируют электрическую цепь. Поэтому железнодорожная насыпь и грунт вдоль нее могут быть изучены методами сопротивлений.

Все массивные металлические объекты дороги – рельсы и провода – сосредоточены на верхней части насыпи и выше, поэтому при соблюдении достаточной дистанции от них насыпь можно изучать и электромагнитными методами.

МЕТОДЫ РАБОТ

Метод сопротивлений в варианте электротомографии

Применение электроразведочных методов для решения инженерно-геологических задач основано на различии горных пород, грунтов по удельному электрическому сопротивлению. В настоящей работе метод применен в его современной модификации – двумерной электротомографии. Электротомография это электроразведочный метод геофизики.

Предшественником электротомографии является метод вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), выполняющийся в точках профиля, расстояние между которыми определяется масштабом съемки или видом решаемых геологических задач. Зондирование обеспечивается постепенным увеличением расстояния между токовыми электродами (разноса), при котором увеличивается глубина исследования в точке зондирования (рис. 1 а). В результате зондирований методом ВЭЗ получают графики зависимости кажущегося

удельного электрического сопротивления от полу-разноса питающей линии (кривые ВЭЗ) (рис. 1 б).

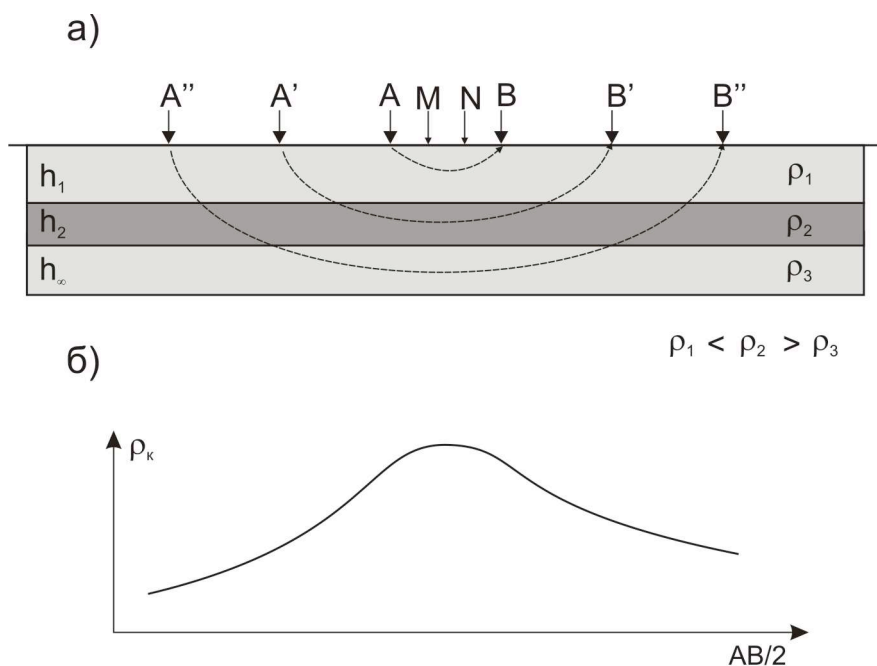


Рис. 1. Принцип вертикального электрического зондирования (а) и график зависимости кажущегося удельного электрического сопротивления от полу-разноса питающей линии (б): АВ – питающие (токовые) электроды. MN – приемные (измерительные) электроды; ρ – удельное электрическое сопротивление слоев, h – мощность слоев.

Полученная кривая ВЭЗ обрабатывается специальными программами на ЭВМ, которые позволяют решать обратную задачу, то есть по кривой ВЭЗ определить сопротивление и мощность слоев для горизонтально-слоистой модели. По рассчитанным параметрам в нескольких точках зондирования строятся геоэлектрические разрезы, на которых отображаются сопротивления и мощности слоев.

Недостатком метода ВЭЗ является его одномерность, то есть обратная задача решается в предположении, что разрез горизонтально-слоистый и однороден по латерали. В случае если в разрезе присутствуют крутопадающие (угол падения более 15°) слои или вертикальные разделы сред, метод даёт большие погрешности при решении обратной задачи. Другим недостатком метода ВЭЗ является его малая пространственная дискретность. То есть уплотнение сети наблюдения для повышения разрешающей способности приводит к резкому росту трудозатрат и экономической неэффективности.

В отличие от метода ВЭЗ, электротомография основана на многократном использовании в качестве питающих и измерительных электродов одних и тех же фиксированных на профиле заземлений (рис. 2). Это приводит к существенному увеличению плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований.

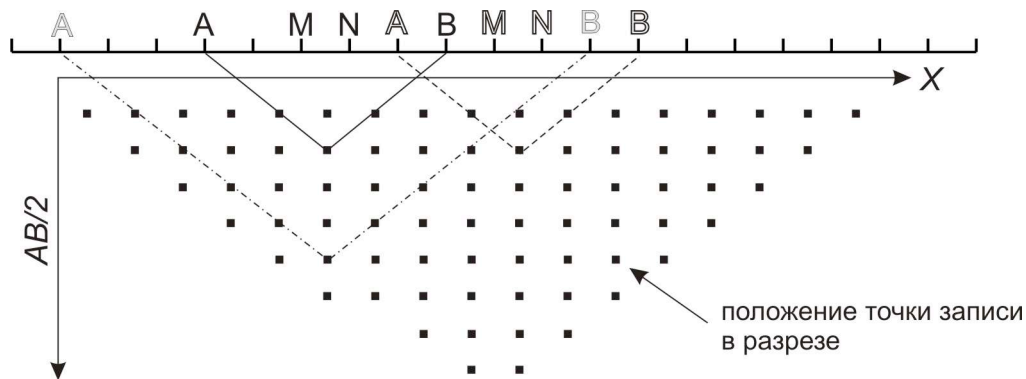


Рис. 2. Принцип электротомографии. В зависимости от подключения к прибору одни и те же электроды играют роль питающих или приемных.

Специальная аппаратура поочередно коммутирует и использует для измерений разные комбинации электродов. Таким образом, в результате измерений получают информацию о распределении кажущегося удельного электрического сопротивления по разрезу.

Технология электротомографии применяется не только для расчленения горизонтально-слоистого разреза, но и для изучения любых геологических сред двумерной или трехмерной структуры.

Решение обратной задачи (инверсия данных) в предположении двумерного строения среды реализуется с помощью программы Res2DInv (Geotomo Software, Малайзия). Выходными данными являются разрезы удельного электрического сопротивления грунтов.

Сопоставляя данные электротомографии с априорной геологической информацией, проводят геологическую интерпретацию разрезов сопротивления и строят геоэлектрические разрезы.

Частотное электромагнитное индукционное зондирование (ЧЗ)

Метод частотного электромагнитного индукционного зондирования, реализованный в аппаратуре ЭМС (электромагнитный сканер), предназначен для исследования пространственного распределения удельного сопротивления от объектов, расположенных на глубине до 10 м. Сканер позволяет производить поиск металлов, пластмасс, пустот, керамических изделий, осуществлять анализ геологических слоев, наличия обводнения грунта и др.

Комплекс ЭМС является оригинальной аппаратно-программной реализацией ЧЭМЗ, применение которого для инженерно-изыскательских работ регламентировано *РСН 64-87, пп,1,2 СП 11-105-97 4.VI, 5.1.18.,6.1.2., приложение Г.*

Частотное зондирование осуществляется путем возбуждения гармонического электромагнитного поля в земле и измерения вертикальной магнитной компоненты индуцированного поля. В аппаратуре ЭМС генератор и измеритель находятся в одном компактном корпусе, который располагается на поверхности земли.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ, СОСТАВ И МЕТОДИКА РАБОТ

Объектом исследований является участок железнодорожной насыпи длиной 200 м от о. п. Комаровка до отметки 17 км (см. рис.3).



Рис.3 Объект исследования с нанесенной системой наблюдений.

На отметке 70-80 м по правой (восточной) кромке насыпи (со стороны второго пути) отмечена просадка грунта, выраженная в рельефе в виде небольшой трещины (см. рис 3.1).



Рис.3.1 Просадка грунта, видимая на дневной поверхности.

На объекте выполнен ряд профилей электромагнитного зондирования с расстоянием между пикетами измерений 1 м и два профиля электротомографии с 24-х электродной расстановкой с расстоянием 5 м между электродами (линии ЗИ и КЛ).

По восточному откосу со стороны второго пути выполнено площадное электромагнитное сканирование пятью параллельными профилями длиной 34 м каждый, расстояние между профилями 5 м. Площадка показана на рис. 3 (Пл1) с нанесенной картой распределения УЭС на глубине 0.5-1.0 м. Отметки профилей по оси объекта 50 – 84 м. Симметрично площадке по восточному откосу выполнено три параллельных профиля по западному откосу с расстоянием 5 м между профилями (линии Д, Е, Ж). Два профиля электромагнитного сканирования длиной по 200 м выполнены по обочине основной площадки со стороны первого и второго пути (линии ВГ и АБ соответственно).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

На картах (см. рис. 4) распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) грунта, построенных по восточному склону со стороны второго пути, видна аномалия повышенного сопротивления в верхней части разреза в виде пятен красных тонов, соответствующих УЭС 50-80 Ом·м. Эта аномалия приурочена к видимой просадке. Наиболее выраженной эта аномалия является в приповерхностном слое, где грунт обезвожен ввиду разуплотнения.

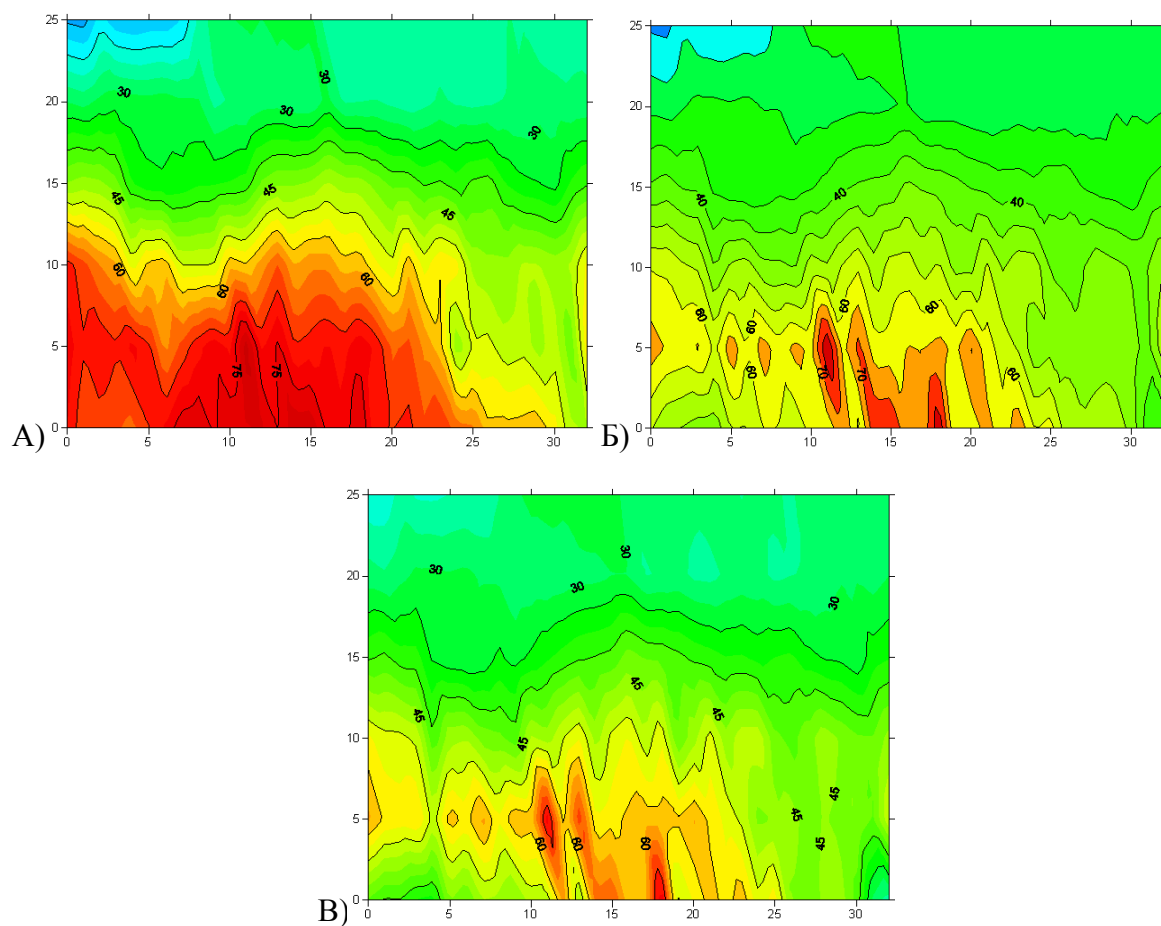


Рис.4 Геоэлектрические карты по откосу насыпи со стороны второго пути на частотах: А) 250 кГц (глубина примерно 0.5 м); Б) 111 кГц (глубина примерно 0.8 м); В) 62.5 кГц (глубина примерно 1.4 м).

Та же аномалия видна на пикетах 60-80 м на двухсотметровом профиле, проходящем по верхней восточной кромке насыпи вдоль второго пути. Подобные аномалии, но менее выраженные, видны также на этом профиле на пикетах 10-27, 90-120 и 127-145 м (см. рис. 4.1).

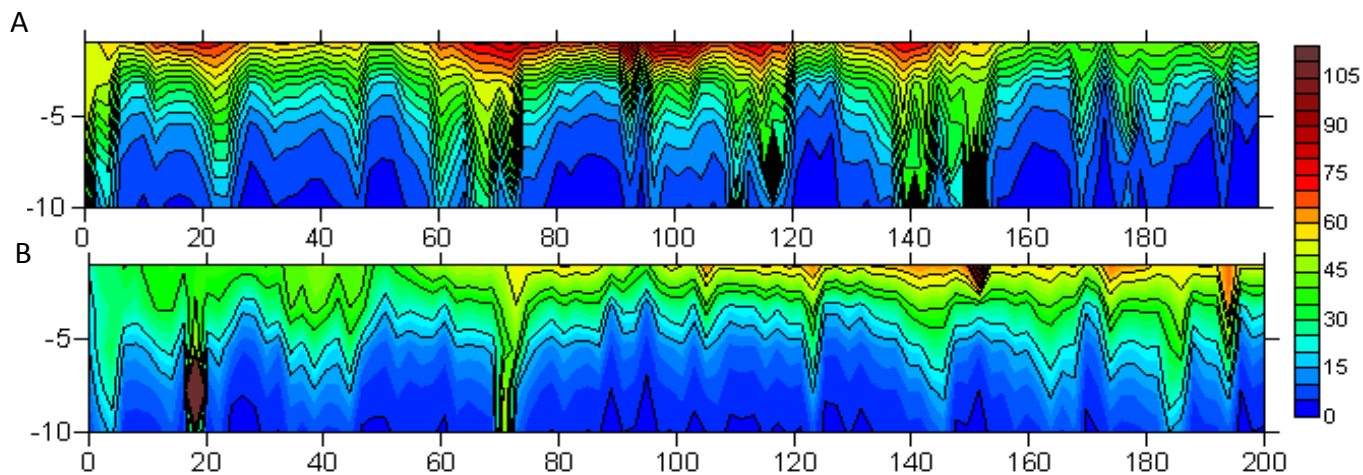


Рис. 4.1 Геоэлектрические разрезы по верхним кромкам насыпи: первый путь внизу, второй путь вверх

Двухсотметровый профиль по западной верхней кромке насыпи вдоль первого пути не имеет столь ярко выраженных аномалий высокого сопротивления в верхней части разреза, в целом показывая гораздо более однородную горизонтально-слоистую структуру насыпи.

Трехмерная визуализация дает представление (см. рис. 4.2) о пространственном распределении аномалии высокого сопротивления. Исоповерхность (поверхность равного значения) построена по значению 70 Ом·м.

По-видимому, аномалии повышенного сопротивления вызваны локальным снижением плотности грунта и являются признаками уже существующих или прогнозируемых просадок.

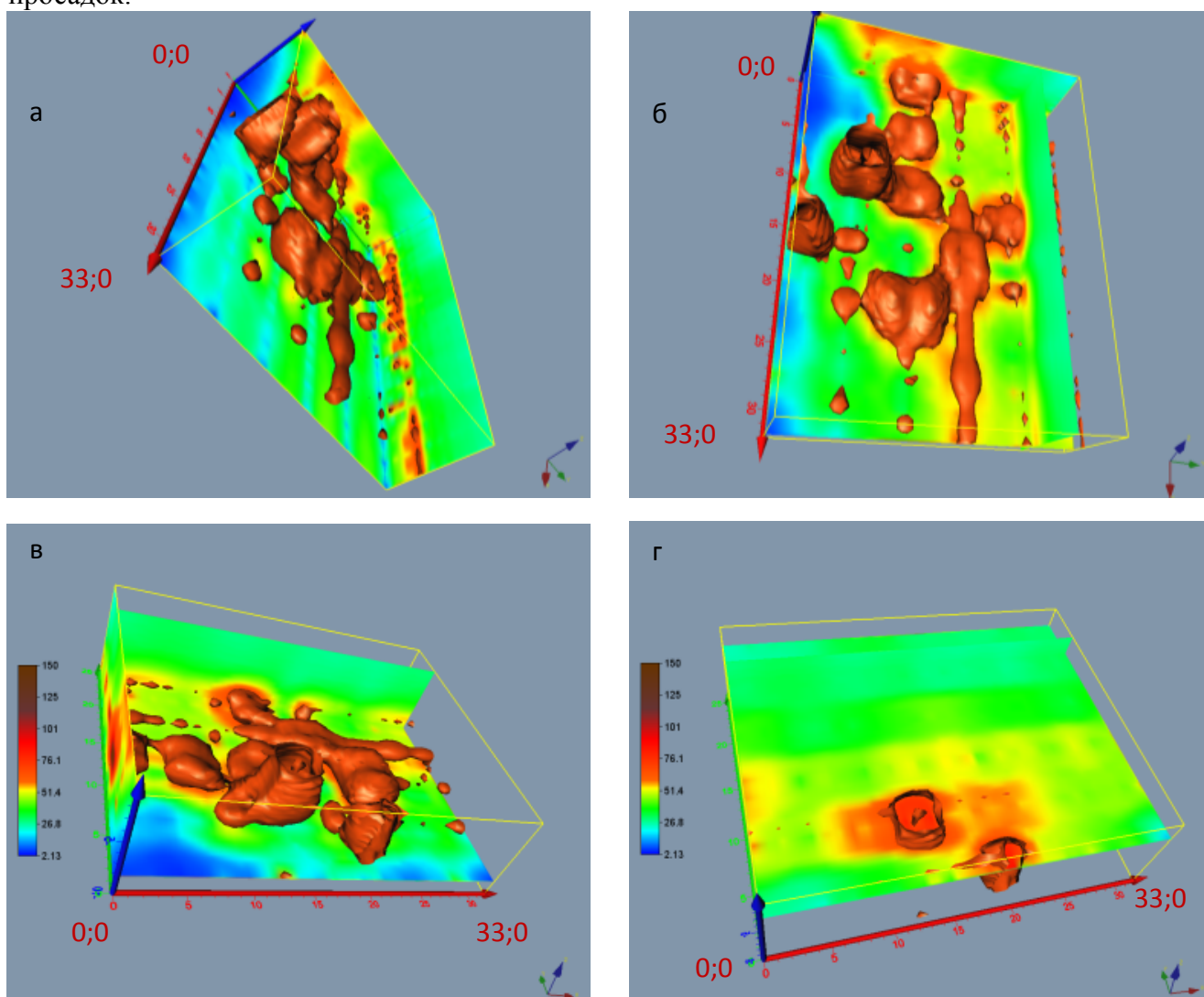
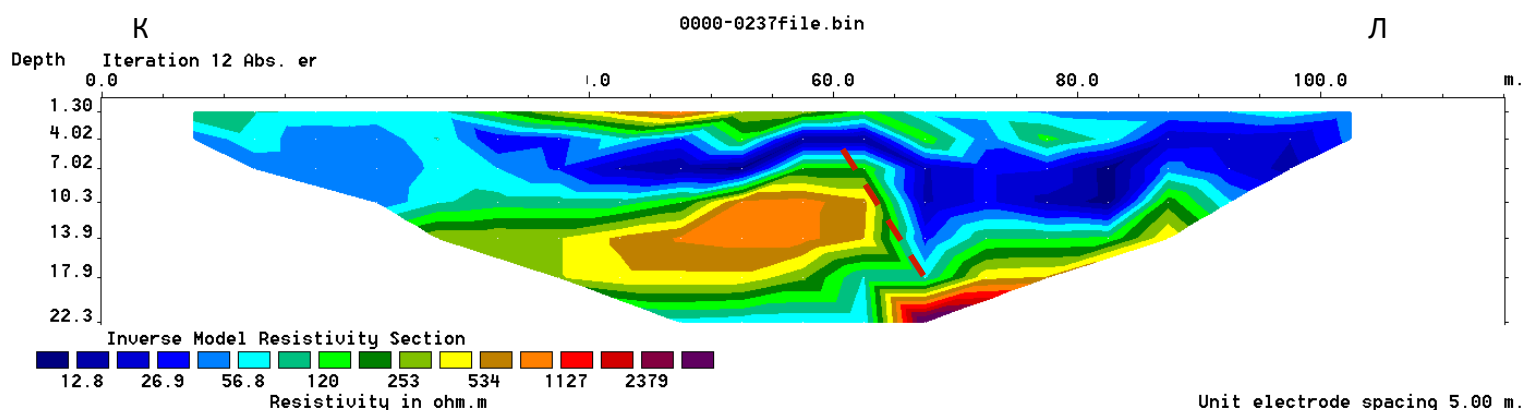
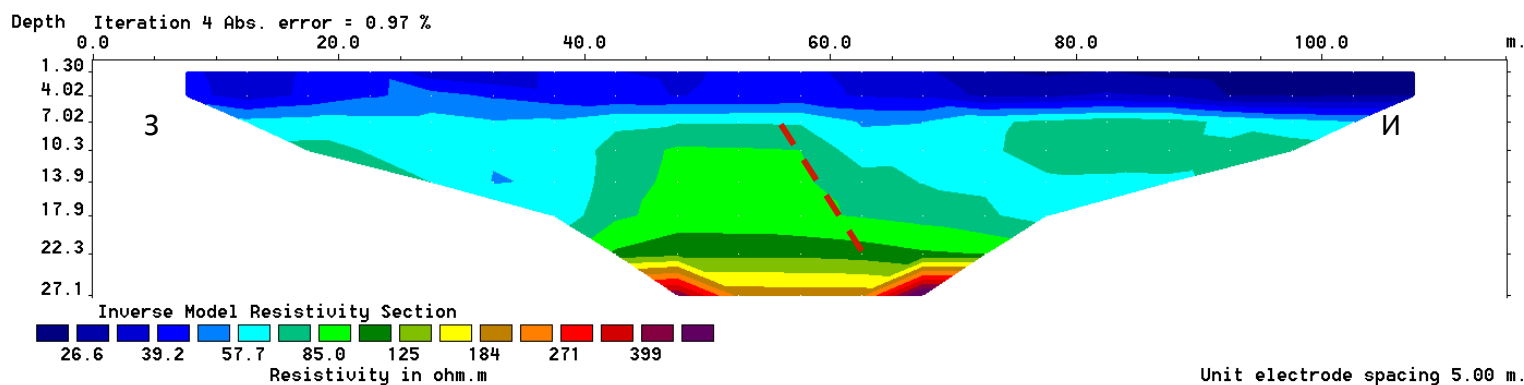


Рис.4.2 Трехмерная визуализация площадной съемки.

На геоэлектрическом разрезе по западной линии (КЛ) вдоль первого пути видна трехслойная структура (см. рис. 4.3): прерывистый верхний слой с высоким (до 600 Ом·м) сопротивлением насыпного грунта, затем проводящий слой, сложенный, по-видимому, увлажненной песчано-глинистой смесью и подстилающим непроводящим слоем с сопротивлением более 2 кОм·м внизу и до 1 кОм·м в верхней части. При этом подстилающий слой (возможно, скальное основание) имеет, по-видимому, разломное нарушение на пикете 60-65 м. На геоэлектрическом разрезе по линии ЗИ отсутствует верхний насыпной слой, а подстилающий слой находится существенно глубже. При этом разломная структура, по-видимому, проявляется в виде наклонной границы (вероятно, коры выветривания) на отметке 60-65 м.



Первый путь



Второй путь

Рис.4.3 Геоэлектрические разрезы электрофотографии

--- Линия предполагаемого разломного нарушения коренных пород

ВЫВОДЫ

Предполагаемое разломное нарушение коренных пород влияет на гидрогеологический режим разгрузки грунтовых вод вниз по естественному склону, создавая локальное усиление потока подземных вод. Такая неоднородность может сказаться на целостности насыпи, не имеющей дренажного обеспечения на данном участке. Указанное влияние особенно сильно проявляется весной, в период таяния снега и максимального уровня грунтовых вод.

Подобного рода неблагоприятные для функционирования железной дороги локальные нарушения могут быть обнаружены с помощью метода электротомографии (методы сопротивлений).

Нарушения в теле насыпи, приводящие к появлению локальных разуплотнений, линз мерзлоты, зон повышенной обводненности могут быть выявлены с помощью электромагнитного частотного зондирования (ЧЗ) по откосам насыпи.

При планировании дальнейших работ на объектах железной дороги следует использовать более глубинные установки электротомографии (комплексы сочетаний электродов, позволяющие исследовать среду на большую глубину). Также имеет смысл выбрать наиболее информативные частоты ЧЗ для ускорения полевых работ.