

ОРГАНИЗАЦИЯ СОТРУДНИЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ (ОСЖД)

I издание

Разработано экспертами Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 7 – 9 августа 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Согласовано совещанием Комиссии ОСЖД по инфраструктуре и подвижному составу 9 – 12 октября 2012 г.,
Комитет ОСЖД, г. Варшава

Утверждено на XXVIII заседании Конференции Генеральных директоров (ответственных представителей) железных дорог ОСЖД, 22 – 26 апреля 2013 г., Украина, г. Одесса

Дата вступления в силу: 26 апреля 2013 г.

Примечание:

1. Памятка обязательна для УЗ

2. Теряют силу:

- I издание Памятки Р 761/2 от 23.10.1998 г.

- I издание Памятки О+Р 761/4 от 27.04.2007 г.

О+Р
761/3

**ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА
ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА**

СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Сфера применения	3
1. Общие положения	3
2. Основные принципы георадиолокационной диагностики	3
3. Основные требования к техническим характеристикам аппаратуры и программному обеспечению	5
4. Особенности проведения диагностики земляного полотна с использованием георадиолокационной съёмки	7
5. Рекомендации по выбору типа антенн в зависимости от объекта обследования	11
6. Обработка и интерпретация результатов измерений	12
7. Заключение	14
8. Приложения (Примеры радиограмм)	15

СФЕРА ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая Памятка предназначена для использования специалистами геофизиками при проведении диагностики балластного слоя и земляного полотна железных дорог стран - членов ОСЖД георадиолокационным методом.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Георадиолокационная диагностика должна проводиться специалистами, подготовленными для работы на соответствующей аппаратуре и владеющими данной методикой.

1.2. Георадиолокационная диагностика применяется с целью:

- сокращения объемов трудоемких и дорогостоящих инженерно - геологических работ при обследовании земляного полотна;
- получения исходных данных для проектирования, разработки мероприятий для усиления земляного полотна и его основания;
- получения исходных данных для планирования капитального ремонта реконструкции (модернизации) верхнего строения пути;
- определения причин внезапно появившихся деформаций верхнего строения пути или земляного полотна;
- проведения контроля качества работ при ремонте, реконструкции, строительстве земляного полотна.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1. Георадиолокационный метод основан на излучении передатчиком электромагнитных волн и регистрации сигналов, отражённых от границ слоев зондируемой среды с различной диэлектрической проницаемостью «ε». Такими границами раздела являются, например, контакты между сухими и водонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного происхождения, между тальми и мёрзлыми грунтами, между рыхлыми и коренными породами и т.д. Определённая диэлектрическая проницаемость и геотехнические свойства материалов земляного полотна между собой прямо не связаны.

Георадар фиксирует только конфигурацию границ слоев грунта без определения их физико-механических свойств.

Результатом радиолокационного зондирования является радарограмма, представляющая собой непрерывный разрез толщи грунтов вдоль профиля съемки.

Радарограмма отображает эхосигналы в координатах «время (ось ординат, «глубина») – положение на поверхности», то есть фиксирует время прохождения импульса электромагнитных волн от антенны до границы раздела и обратно в увязке с местонахождением прибора:

$$t = \frac{2H}{V},$$

где:

t – время;

H – расстояние от антенны до границы слоя грунта

V – скорость распространения радиоволны в среде

$$V = \frac{C_o}{\sqrt{\epsilon_{отн}}}$$

где:

C_o – скорость света в вакууме;

$\epsilon_{отн}$ – диэлектрическая проницаемость среды.

2.2. Для получения полной информации о строении и свойствах исследуемой толщи георадиолокационный метод следует применять в комплексе с другими геофизическими методами (зондирование, сейсмозондирование и пр.) и с традиционными способами (бурение скважин и устройство шурфов с отбором и лабораторными исследованиями образцов грунта и т.д.).

2.3. Георадиолокационное диагностирование производится комплексом аппаратных и программных средств. Качество измерений зависит от правильного выбора параметров и режимов работы аппаратуры и подбора соответствующих антенн.

Интерпретацию полученных данных проводят обработкой радарограмм с помощью специальных программных комплексов.

2.4. С понижением частоты антенны повышается разрешение прибора, увеличивается глубина исследуемой толщи, при этом увеличивается величина «мёртвой зоны» от поверхности (таблица 1).

Таблица 1

глубина (м)	мертвая зона (м)	разрешение (м)	Частота (мГц)
до 1,0	0.08	0.06-0.1	2000
до 2,5	0.1-0.2	0.2	900
до 3.0	0.2-0.25	0.2-0.5	750
до 5,0	0.25-0.5	0.5	500
до 10-12	0.5-1.0	1.0	300
до 17-20	1.0	1.0	150
до 23-25	2.0	2.0	75
до 30	4.0	2.0-4.0	38

Показатели, приведенные в таблице 1, ориентировочны, зависят от технических характеристик оборудования и свойств зондируемой среды (данные приведены для среды с $\epsilon_{отн} = 4$ и с удельным затуханием 1-2 дБ/метр). Под «глубинной» в таблице понимается глубина обнаружения плоской границы с коэффициентом отражения 1,0.

2.5. При применении георадиолокационного метода диагностики земляного полотна следует учитывать различную электромагнитную проводимость грунтов.

Хорошим проводником электромагнитных волн служат несвязные грунты: пески, гравийный и щебёночный балласт, а также лёгкие супеси и торф. В глинистых грунтах происходит сильное затухание импульсов, поэтому применение метода на связных (суглинистых и глинистых) грунтах ограничено.

При этом, поверхность глинистых грунтов является хорошей (контрастной) отражающей границей раздела различных сред.

Контрастность границ зависит также и от степени водонасыщенности грунтов: контрастность повышается при увеличении разницы влажности соседних слоев грунта.

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ АППАРАТУРЫ И ПРОГРАММНОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

3.1. Радиолокационная съёмка на земляном полотне может проводиться с помощью георадаров, которые соответствуют требованиям работы на эксплуатируемом земляном полотне. Для георадиолокационной съёмки могут применяться стационарные георадары, смонтированные на вагонах или других транспортных средствах, или портативные – предназначенные для использования при проведении детальной съёмки.

3.2. Качество измерений зависит от правильно выбранных параметров и режимов работы аппаратуры и соответствующего подбора антенн.

3.3. Для работы на различных глубинах исследуемой толщи необходимо выбирать антенны, работающие в соответствующих диапазонах.

3.4. Георадар – прибор предназначенный для решения широкого спектра задач при проведении диагностики земляного полотна.

Георадар должен обеспечивать вывод в реальном времени на дисплей компьютера радиолокационного профиля с одновременной записью на его жесткий диск.

Программное обеспечение должно поддерживать соответствующий тип цветного или монохромного дисплея, позволять выводить данные зондирования в различных видах.

Должен быть обеспечен прием данных в непрерывном режиме/основной/ и в пошаговом режиме с накоплением. Пошаговый режим применяется при максимально возможной глубине зондирования для решения специальных задач. Непрерывный режим дает максимальное пространственное решение.

4. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЁМКИ

4.1. Применение радиолокационного метода на эксплуатируемом земляном полотне имеет следующие особенности:

- следует учитывать искажение полезного отражённого сигнала вблизи опор контактной сети, при прохождении сигнала через рельсошпальную решетку как с железобетонными так и с деревянными шпалами;

- необходимость проведения работ на железнодорожном пути в условиях движения поездов вынуждает проводить работы в «окно» или в интервале между поездами.

- затруднено применение геолокационного метода в пределах железнодорожных станций из-за наличия большого количества подземных инженерных сооружений, сетей и коммуникаций (подземные кабели, кабельные каналы, подземные переходы к перронам, трубопроводы, другие подземные объекты), а также наличия нестандартной конструкции шпального основания, что усложняют измерения и может исказить результаты.

4.2. В зависимости от поставленных задач обследования рабочие профили располагают вдоль пути (по оси, междупутью, обочине, подошве земляного полотна) или поперёк пути, а так же выбирается скорость перемещения георадара и параметры антенны.

При проведении георадиолокационной съёмки применяются различные режимы измерений:

- для рекогносцировочной съёмки больших по протяжению участков аппаратура может быть установлена на рельсовую тележку или на подвижную единицу (на путеизмерительный вагон, дрезину) совмещая диагностику земляного полотна с измерениями геометрических параметров пути;

- для детальной съёмки небольших (локальных) участков аппаратура переносится вручную или устанавливается на рельсовую тележку.

4.3. Технические параметры (возможности) аппаратуры выбирают в зависимости длины обследуемых участков, объема и, требуемой точности измерений.

4.4. Состав группы специалистов для проведения измерений следует установить в зависимости от конкретных условий.

Проведение геолокационной диагностики земляного полотна с помощью георадара, установленного в путеизмерительном вагоне не должно ограничивать или влиять на одновременное ведение измерений геометрических параметров рельсового пути.

4.5. При проведении георадиолокационной съёмки следует учитывать:

- отличие реальных условий работы (дождь, снег, мороз) от условий, в которых проводится тестирование прибора;
- сложную структуру грунтов и инородных объектов;
- наличие искажений, вследствие помех, которые могут содержать записанные сигналы.

4.6. Георадиолокационная съёмка земляного полотна проводится в следующей последовательности:

- изучение архивных данных /геологическое строение участка/;
- в зависимости от задач обследования составляется схема расположения профилей съёмки;
- расположение продольных и поперечных профилей на плане обследуемого участка;
- инструментальная привязка исследуемого участка на местности;
- подготовка участка для диагностирования /вырубка кустарника до уровня земли, покос травы в случае необходимости/ по намеченным сечениям; - выбор частоты антенны в зависимости от поставленных задач и местных условий;
- проведение съёмки;
- обработка и интерпретация результатов измерений.

4.7 Основным видом съёмки является георадиолокационное профилирование, которое производится при непрерывном перемещении антенны георадара вдоль заданного сечения. В процессе движения ведётся регистрация и непрерывная запись поступающей с антенны информации (отражённых сигналов), которая затем выводится на экран компьютера (при необходимости, на печать) в виде георадиолокационного разреза – радарограммы.

4.8. При съёмке в пределах основной площадки возможны три схемы расположения антенны (рис. 1). При исследовании разреза земляного полотна в продольных сечениях в пределах рельсошпальной решётки применяется схема 1, а при измерениях на обочинах и междупутье, антенны следует располагать по схеме II и III.

При расположении антенн в соответствии со схемами II и III их габарит не должен выходить за пределы габарита подвижного состава.

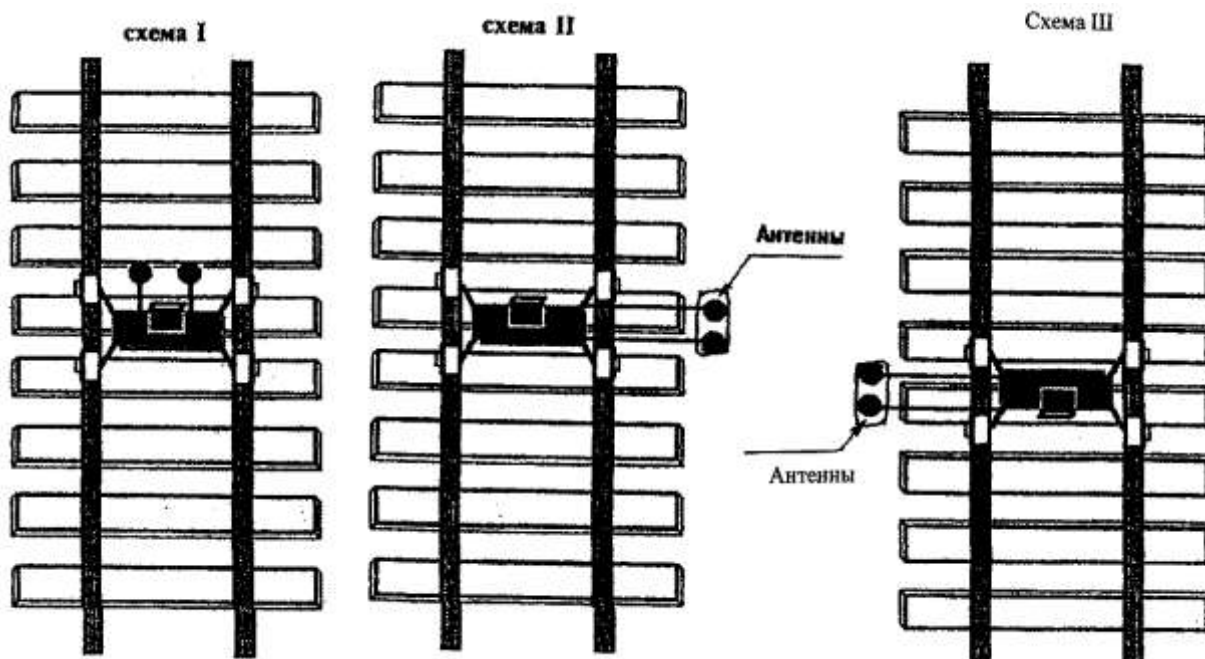


Рис. 1. Схемы расположения антенн при георадиолокационной съемке

Наилучшее качество записей отраженных сигналов получается при непосредственном контакте антенны с поверхностью земли. При наличии на поверхности неровностей (растительность, крупные камни, бытовой мусор, кочки и др.), высота поднятия антенн над землёй может быть увеличена до 10 - 15 см.

Измерения рекомендуется проводить после дождей, так как контрастность границ, фиксируемых на радиограммах, существенно зависит от степени водонасыщенности грунта.

4.9. Главной задачей измерений является получение четких (контрастных) сигналов от границ в исследуемой толще (среде). Для этого оператор своевременно корректирует выбранные в начале работы режимы регистрации (режимы отображения информации, интенсивности сигнала, фильтрации низких и высоких частот).

В процессе съёмки оператор визуально наблюдает отраженные сигналы на экране георадара, контролирует качество их записи на магнитный носитель (жёсткий диск), обеспечивает привязку регистрируемой радиолокационной информации к пикетажу и характерным ориентирам на местности.

При необходимости основной объем геолокационных измерений рекомендуется дополнять контрольными измерениями. Контрольные измерения выполняются для уточнения оценки результатов материала основных измерений.

4.10. В процессе съёмки необходимо устанавливать диэлектрическую проницаемость «ε» для исследуемой толщи грунтов. Её необходимо знать для

определения глубины отражающей сигнал поверхности (границы), то есть глубины залегания определённого слоя грунта или конструкции - при последующей количественной интерпретации радарограмм. Этот параметр изменяется довольно в широких пределах (таблица 2).

Таблица 2

Электрическая характеристика физических сред

Тип среды	Г, дБ/м	$\epsilon_{\text{отн.}}$	V, м/нс
Воздух	0	1	0,30
Пресная вода	0,18	81	0,033
Солёная вода	330	81	0,033
Лёд при частоте тока 0,06 МГц и при t: -20°C ±0.0°C		3	0,16
		5	
Песок сухой	0,14	3-5	0,17
Песок влажный	2,3	25	0,06
Песок мелкий мёрзлый при w =9 % и t -20°C -4°C		3	
		5	
Песок мелкий мёрзлый при w =3 % и t -20°C -4°C		2-3-9	
Глина сухая	0,28	3	0,17
Глина влажная	20	15	0,078
Глина мёрзлая при w > =36 % и t: -20°C -4°C		11	
		17	
Гранит сухой	10 ⁻⁵	5	0,13
Гранит влажный	0,6	7	0,11

Примечание:

«Г» - удельное затухание электромагнитной волны в среде;

« $\epsilon_{\text{отн.}}$ » - диэлектрическая проницаемость среды;

«V» - скорость распространения электромагнитной волны в среде.

Значение диэлектрической проницаемости определяется опытным путём при наличии опорной скважины или по табличным данным при известном геологическом строении участка. Заниженное или завышенное значение « ϵ »

приведёт к ошибке в определении истинной глубины залегания слоя грунта или конструкций.

При проведении георадиолокационного обследования основания земляного полотна, когда профиль проходит вдоль подошвы насыпи, встречаются участки с различными элементами ландшафта (заболоченные места, сухие плоские террасы, склоны долин, косогоры, хорошо выраженные водоразделы т.п.). На каждом из этих элементов требуется устанавливать значение диэлектрической проницаемости для слоев грунта исследуемой толщи. Для этого на каждом отдельном типе ландшафта исследуемого участка закладывается опорная скважина, по которой определяются виды и свойства грунтов, слагающих разрез и, соответственно, устанавливается значение «ε» этих слоев.

Для мёрзлых грунтов (сезонно-мёрзлых, вечномёрзлых) необходимо также получить температурный разрез по глубине опорных скважин на момент съёмки.

По данным радиолокационного профиля выдается заключение о характере дефекта или деформации участка, прогнозируется возможность их развития, намечаются мероприятия для ликвидации этих неисправностей.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТИПА АНТЕНН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЪЕКТА ОБСЛЕДОВАНИЯ

5.1. Для проектирования капитального ремонта пути рекомендуется применение экранированной воздушной антенны 750 МГц, которая обеспечивает зондирование насыпи на глубину до 3,0 м, что позволяет определить:

- мощность балластного слоя (толщину щебня) в любой точке трассы-наличие зон переувлажнения;- толщину песчаной подушки;
- границу грунтов разной плотности в теле насыпи.

5.2. Для обследования участков земляного полотна, где зафиксированы деформации, рекомендуется применять антенны соответствующей частоты.

Антенна 500 МГц обеспечивает зондирование насыпи на глубину до 5,0 м. Антенна 300 МГц - на глубину до 10-12 м в песчаных, супесчаных и слабоглинистых грунтах.

5.3. Для обследования железобетонных конструкций искусственных сооружений рекомендуется применять антенну 2 ГГц.

5.4. С помощью георадара могут производиться промеры русел со льда, с поверхности воды. При этом рекомендуется применять антенны с частотой 50-300 МГц.

6. ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

6.1. Обработка и интерпретация полученных материалов является наиболее сложным и ответственным этапом георадиолокационного диагностирования. Она должна проводиться специально подготовленным специалистом, имеющим опыт работы в области инженерной геологии и изысканиях.

6.2. Обработка радарограмм проводится на компьютере с использованием специального программного комплекса. На штатном компьютере георадара должна производиться только первичная обработка радарограмм: выборка сигналов, накопление реализаций со сбросом, удаление постоянной составляющей, удаление аппаратурных помех, отбраковка сбойных реализаций и масштабирование записей. Полную обработку данных проводят в ходе камеральных работ с использованием специальных программных комплексов на компьютерах с соответствующей оперативной памятью.

6.3. Обработка радарограмм состоит из следующих операций:

- маркировка;
- оценка информационной устойчивости записей;
- фильтрация помех.

Маркировка заключается в нанесении на радарограмму сведений об условиях съёмки и настройки аппаратуры, а также привязки профиля измерений к железнодорожному пикетажу.

Оценка информационной устойчивости записей выполняется путём детальной сверки радарограмм основного массива с контрольными записями. Радарограммы должны совпадать в существенных для интерпретации деталях. В случае несовпадения необходимо установить причину и устранить её.

Фильтрация используется для повышения соотношения сигнал/шум, а также для подавления параллельных неинформационных линий на радарограммах, возникающих из-за аппаратурных или внешних помех.

6.4. Основными помехами и шумами, присутствующими на радарограммах, - являются отражения от рельсов, шпал, опор контактной сети, элементов металлоконструкций, расположенных вблизи профиля движения антенны.

Для подавления этих помех при обработке данных необходимо воспользоваться сочетанием режимов фильтрации низкой (ФНЧ) и высокой (ФВЧ) частоты. Режимы ФВЧ и ФНЧ подбирают в каждом конкретном случае отдельно.

6.5. Интерпретация радарограмм может быть двух видов: качественная и количественная.

6.5.1. Качественная интерпретация радарограмм состоит в выявлении на радарограммах неоднородностей (аномалий) и идентификации их с дефектами и деформациями земляного полотна на основе диагностических признаков.

Диагностические признаки дефектов и деформаций земляного полотна позволяют оценить состояние грунтов на момент съёмки по виду и форме фазовых линий на радарограмме. При интерпретации необходимо руководствоваться следующими основными принципами идентификации дефектов и деформаций земляного полотна с видом фазовых линий на радарограммах:

- локальное понижение фазовой линии свидетельствует о наличии дефекта основной площадки земляного полотна в виде балластного ложа или мешка;

- наличие разрывов или резкое уменьшение амплитуд на фазовой линии характеризует присутствие в теле земляного полотна ослабленной зоны (рыхлого грунта). Этой зоне соответствует низкий коэффициент отражения;

- уменьшение скорости электромагнитной волны является признаком увеличения влажности грунта;

- резкое повышение удельного затухания электромагнитной волны (уменьшение амплитуды колебаний) характеризует полностью водонасыщенные грунты и наличие горизонта грунтовых вод;

- с увеличением содержания глинистых частиц в грунте повышается затухание электромагнитной волны, которое изображается на радарограмме в виде резкого уменьшения интенсивности фазовых линий отражающих границ.

6.5.2. Количественная интерпретация радарограмм состоит в определении глубины залегания слоев грунта и выявленных аномальных зон, их плановой привязки на пути.

Глубина залегания отражающих границ (Н) определяется после обработки радарограмм на основании известных формул.

$$H = \frac{C_0 \times T}{2 \times \sqrt{\varepsilon}},$$

где:

C_0 - скорость электромагнитных волн в вакууме, $C_0 = 0,3$ м/нс;

T - время прихода отражённой волны, нс;

ε - значение диэлектрической проницаемости грунта, безразмерная величина.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

7.1. По мере накопления опыта методика георадиолокации на земляном полотне может уточняться и совершенствоваться как в части постановки целей и задач съёмки, так и в части способов и приёмов работ с аппаратурой.

7.2. Использование геолокационной съёмки позволяет определить перечень задач, решаемых при диагностировании земляного полотна и балластного слоя.

7.2.1. Задачи диагностирования балластного слоя:

- определение мощности балластного слоя;
- определение засорённости балластного слоя;
- выявление мест скопления грязевых гнёзд в толще балластной призмы, приводящих к развитию выплесков.

7.2.2. Задачи диагностирования основной площадки:

- выявление места расположения и конфигурации балластных корыт, гнёзд, мешков;
- выявление на ранней стадии болезни основной площадки по конфигурации и глубине неровностей основной площадки.

7.2.3. Задачи диагностирования откосов и подошвы земляного полотна:

- определение мощности балластных шлейфов на откосах;
- определение глубины осадки песчаных насыпей, находящихся на слабом основании.

7.2.4. Задачи обследования основания земляного полотна:

- определение глубины залегания и уклона поверхности мёрзлых грунтов в основании земляного полотна;
- определение и оконтуривание участков с деградацией вечномёрзлых грунтов.

7.3. Применение георадарной съёмки позволяет значительно сократить расходы по обследованию земляного полотна, оперативно решать возникающие проблемы по обеспечению безопасности движения поездов.

7.4. Результаты диагностики состояния земляного полотна с помощью георадара в случае необходимости следует дополнить измерением с помощью других неразрушающих методов для уточнения и дополнения информации о действительном состоянии данного места или участка земляного полотна.

8. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ДИАГНОСТИКИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА С ПРИМЕНЕНИЕМ РАДИОЛОКАЦИОННОГО МЕТОДА

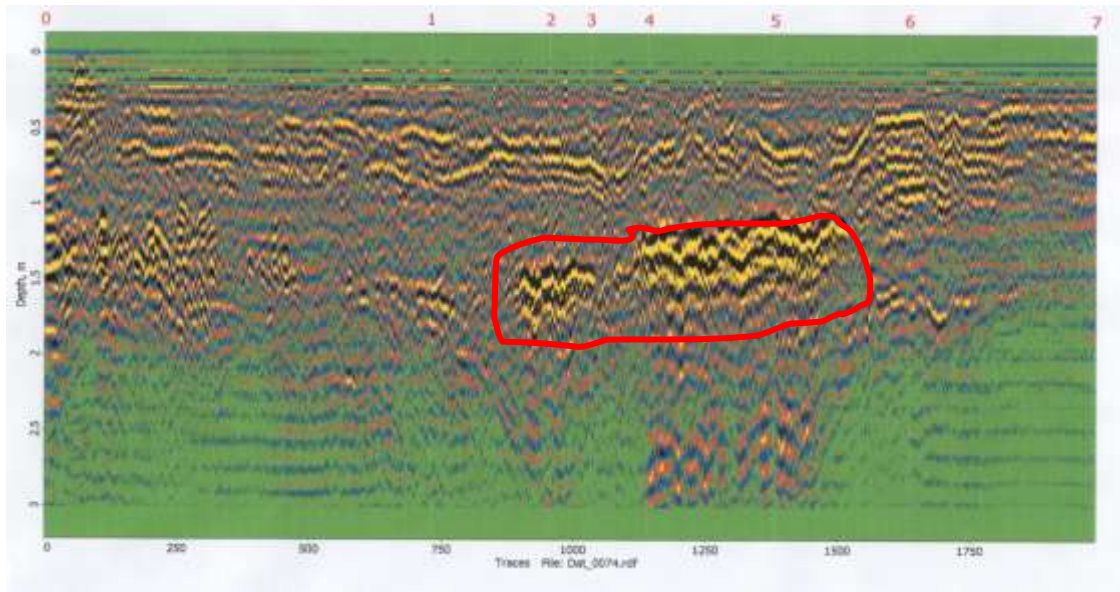


Рис. 2 Вода в теле насыпи

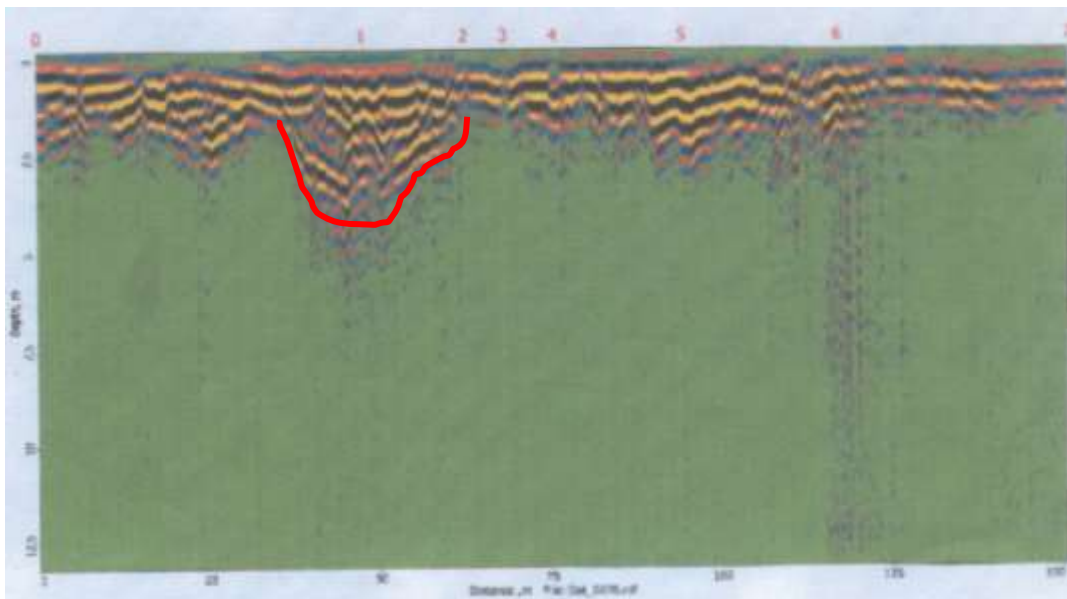


Рис. 3 Старое русло реки

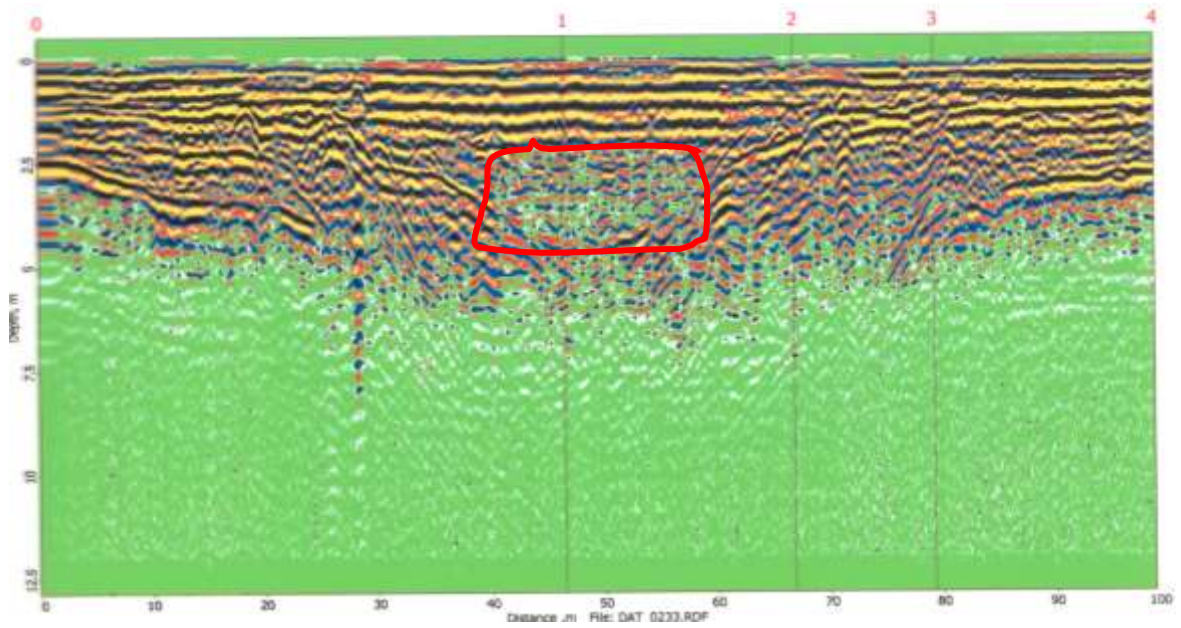


Рис. 4 Пльвун в теле земляного полотна

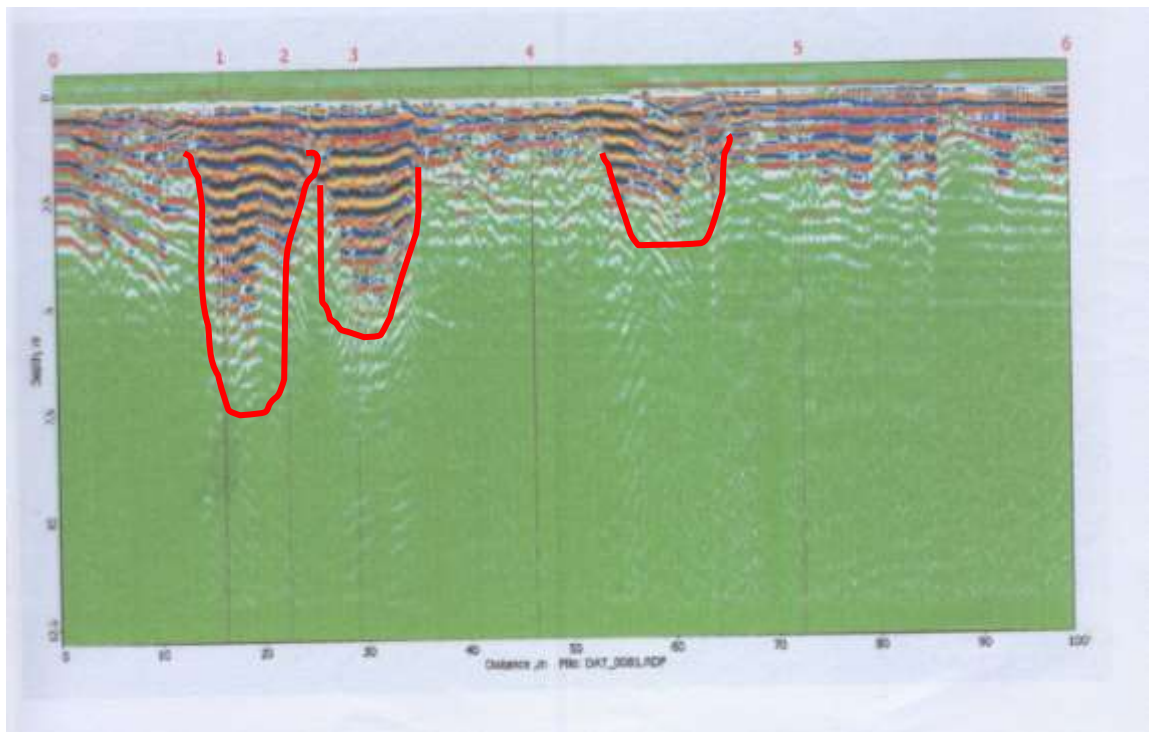


Рис. 5 Вода в теле насыпи. Дренажные прорезы для отвода воды

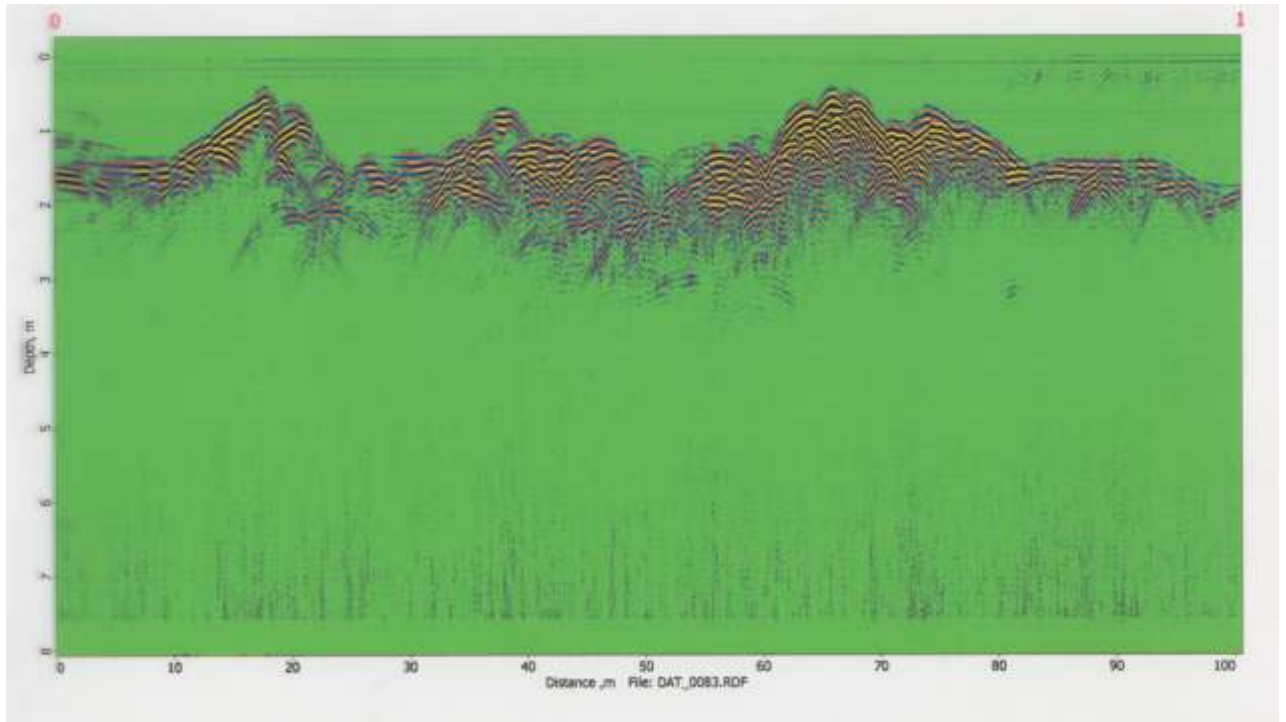


Рис. 6 Дно озера у основания насыпи после сплыва

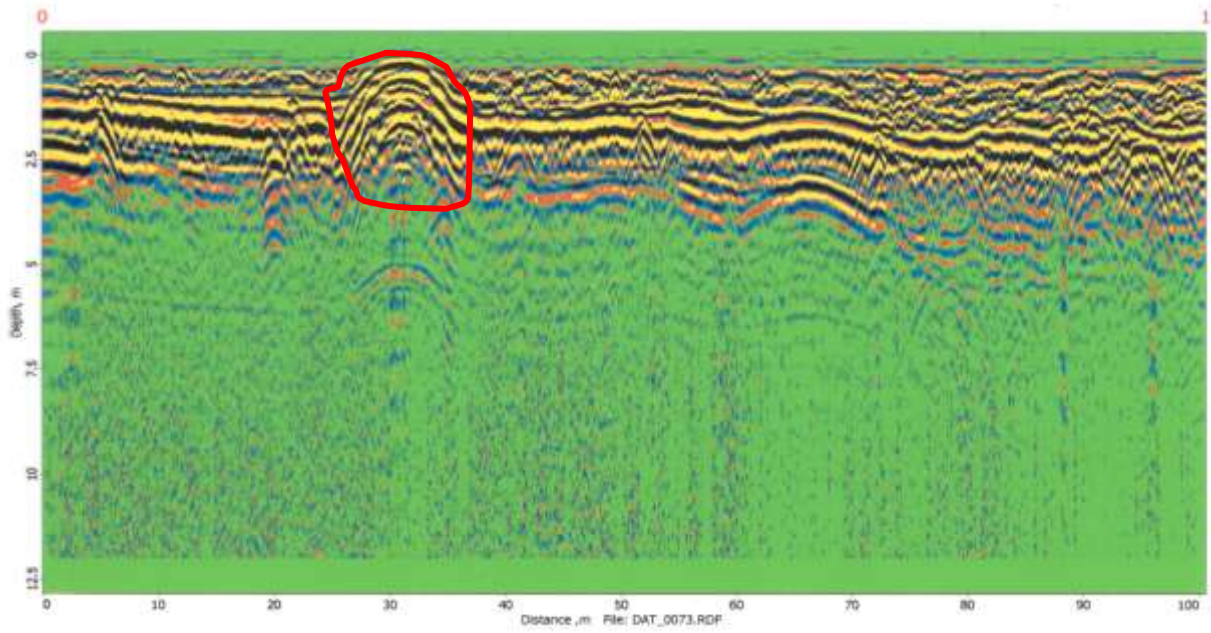


Рис. 7 Грунтовая пучина

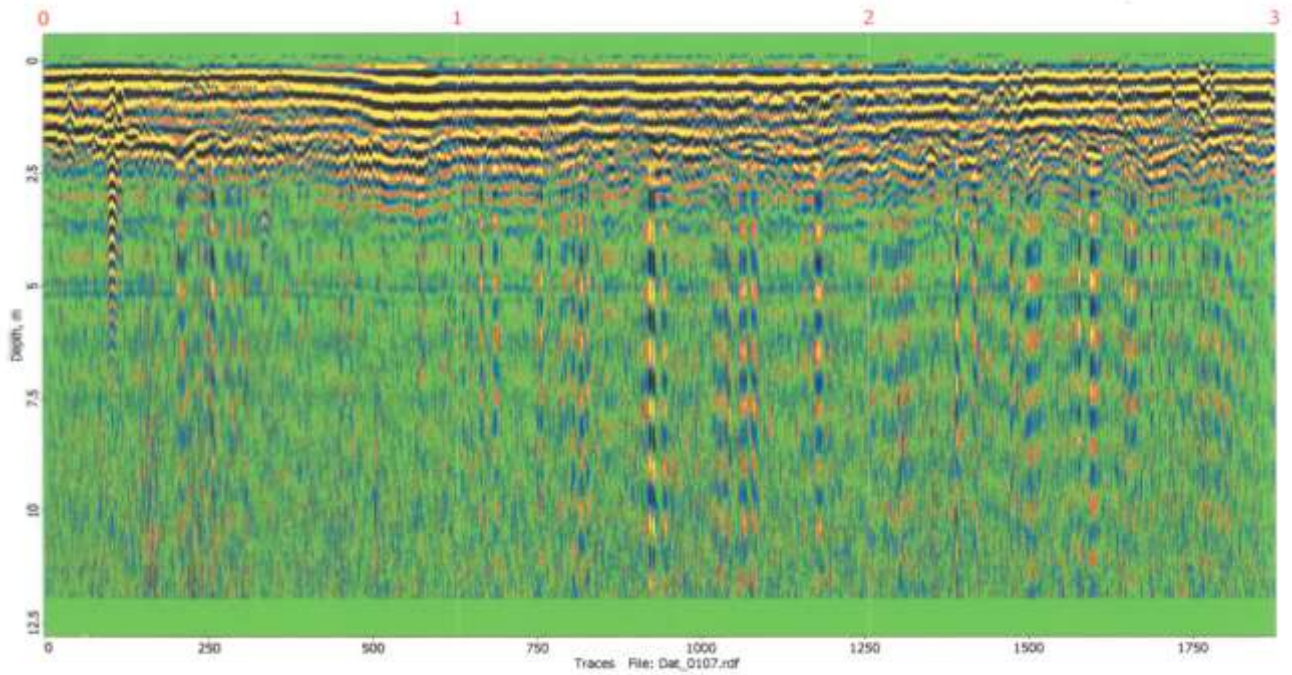


Рис. 8 Земляное полотно до грунтовой пучины

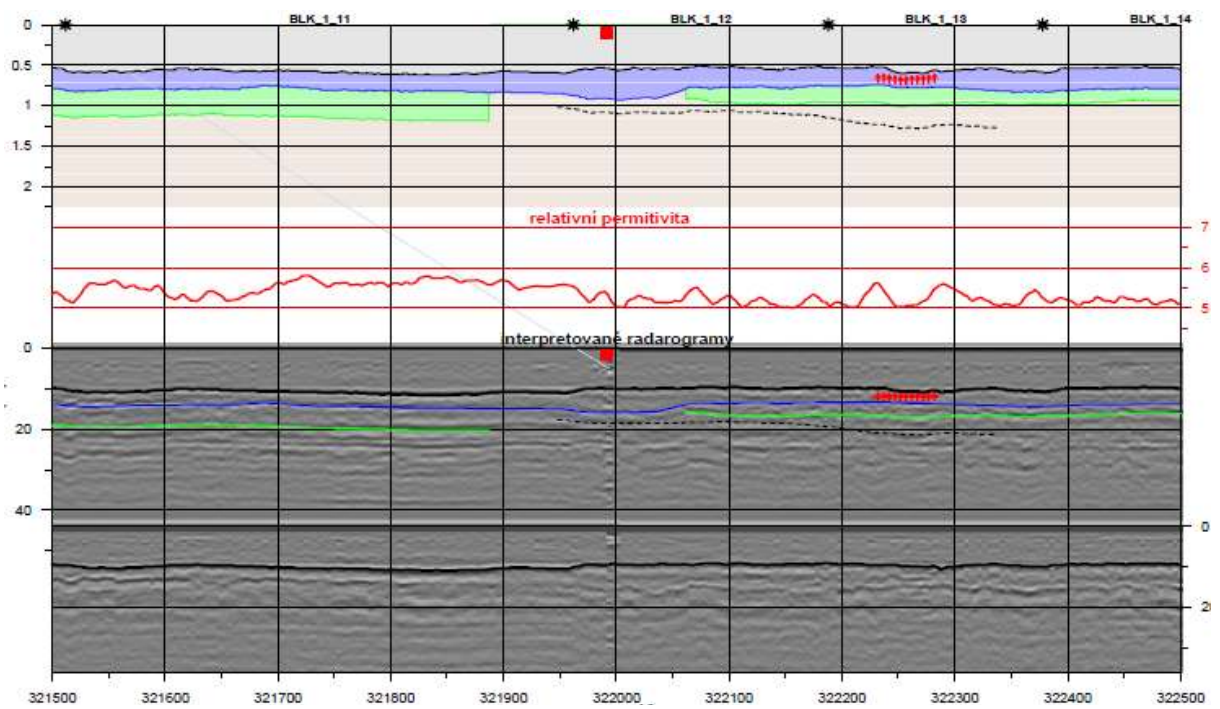


Рис. 9 Интерпретация радиогаммы определения слоев земляного полотна

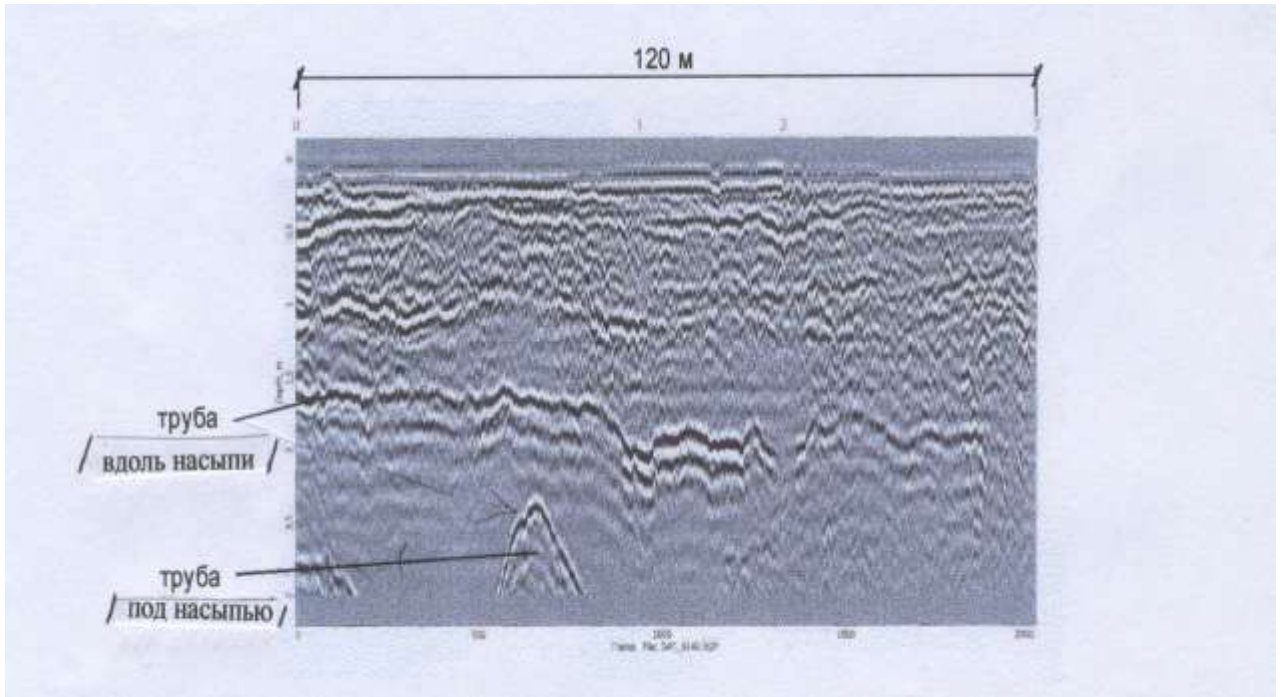


Рис. 10 Труба в земляном полотне

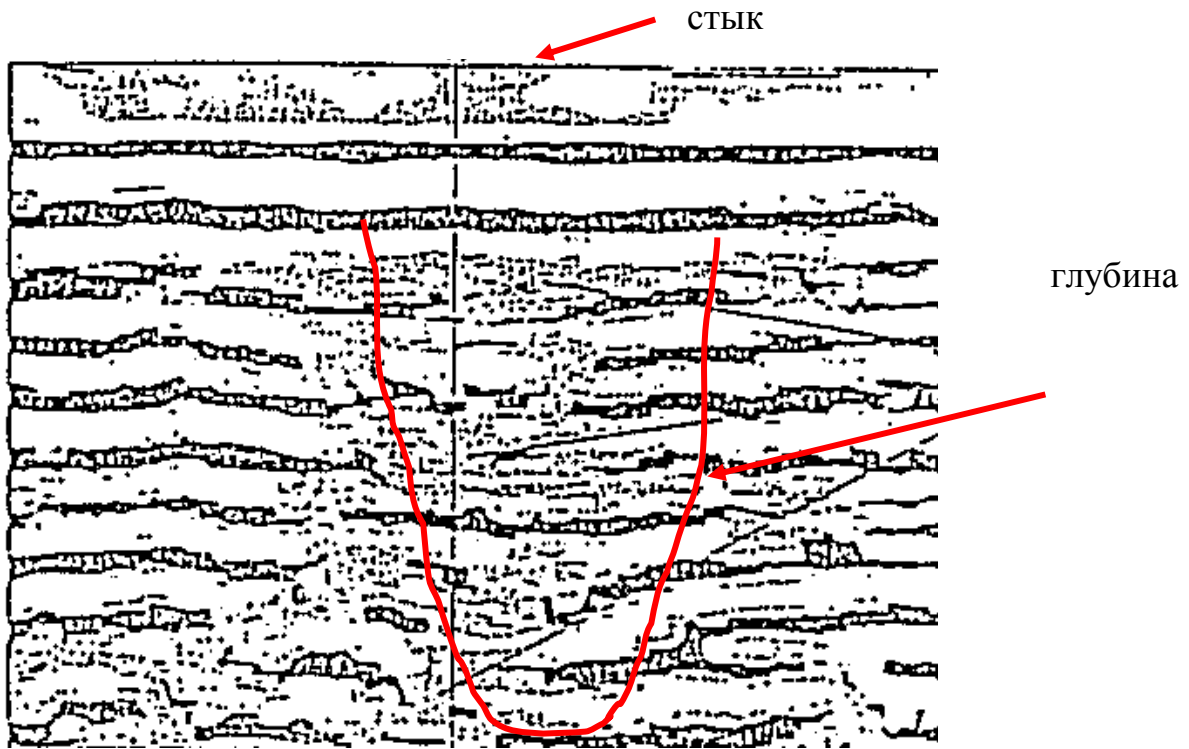


Рис. 11 Выявление грязевых линз под стыком

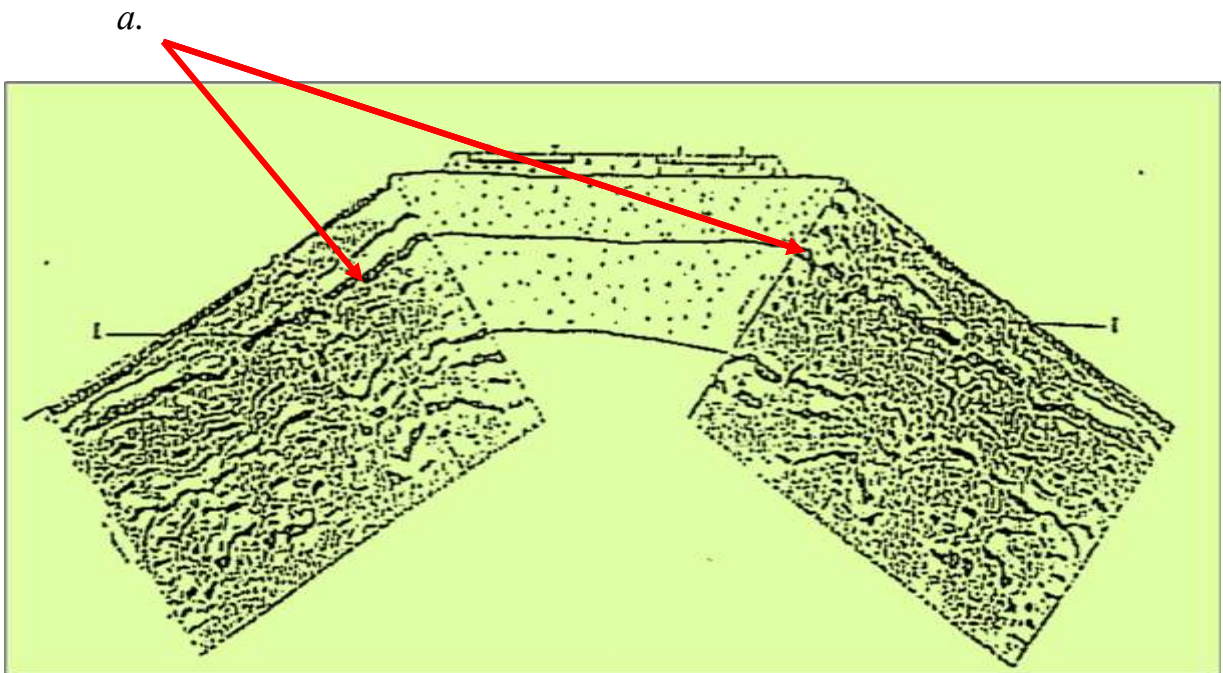


Рис. 12 Определение мощности балластных шлейфов
a.-зона контакта грунт балластного шлейфа и грунт тела насыпи

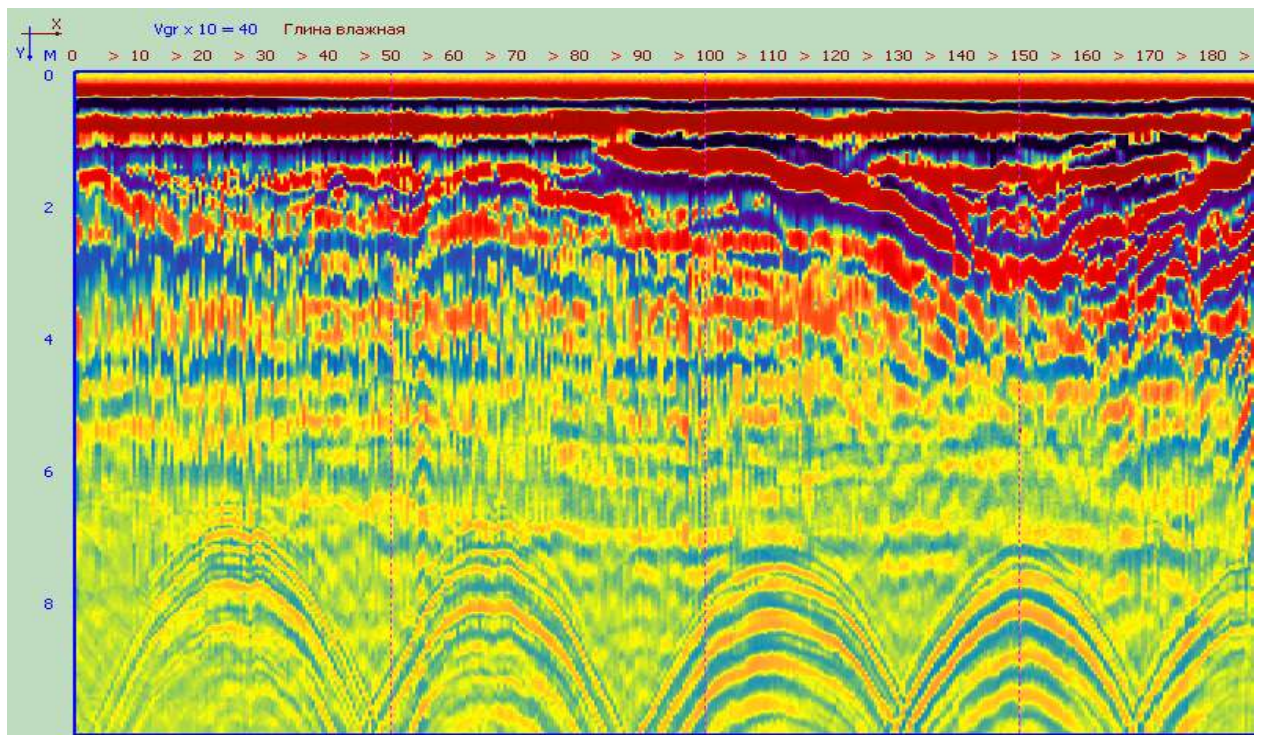
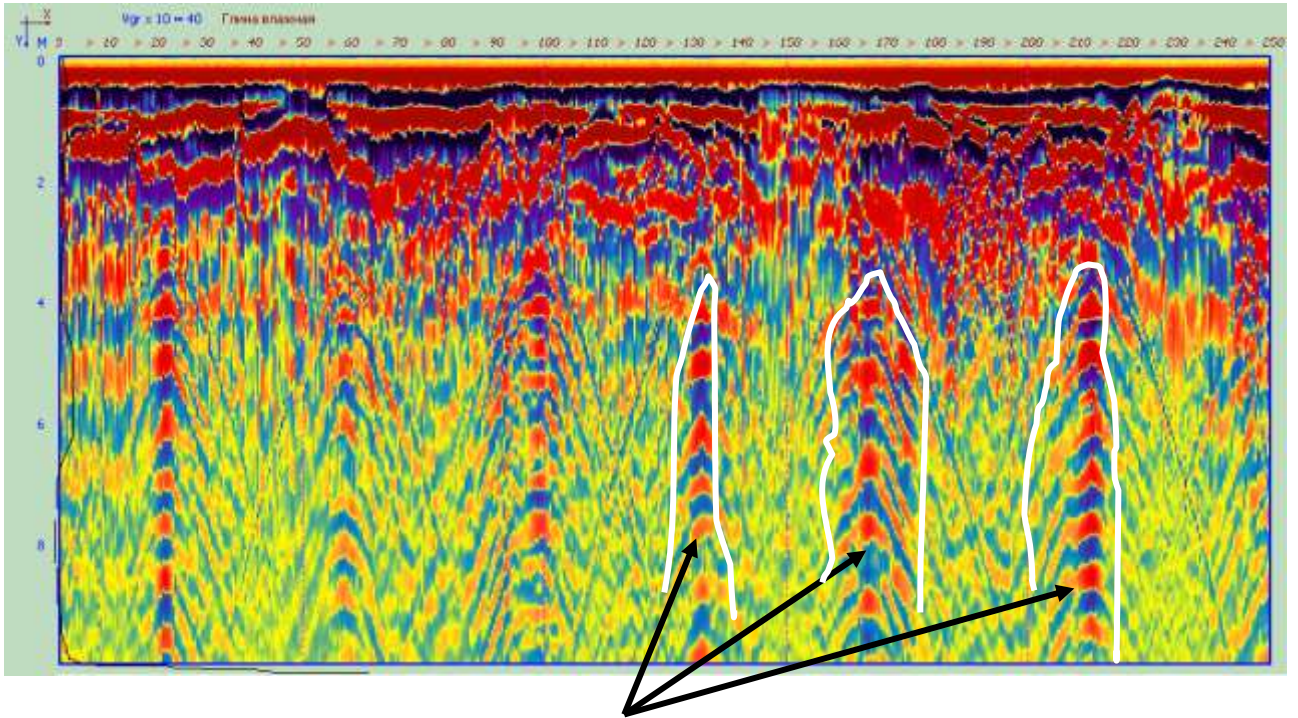


Рис. 13 Определение мощности балласта



Помехи от опор контактной сети

Рис. 14 Съемка насыпи по обочине