

**Рекомендации по измерению строения
дорожной одежды при помощи
георадара “ОКО-2”.**

Оглавление

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ	3
2. ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СРЕДЫ	4
3. ПАРАМЕТРЫ СЪЁМКИ ГЕОРАДАРНОГО ПРОФИЛЯ	5
3.1 ВЫБОР ТИПА АНТЕННОГО БЛОКА	6
3.2 СПОСОБ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ	8
3.3. АППАРАТУРНЫЕ НАСТРОЙКИ	9
3.4. ОСОБЕННОСТИ АППАРАТУРНЫХ НАСТРОЕК ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ АНТЕННЫМИ БЛОКАМИ, ЗАКРЕПЛЕННЫМИ НА ПОДВЕСКЕ АВТОМОБИЛЯ	12
4. ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ	15
4.1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА СРЕД НА РАДАРОГРАММЕ.....	15
4.2 ИСКЛЮЧЕНИЕ МАСКИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА СИГНАЛА ПРЯМОГО ПРОХОЖДЕНИЯ НА ОТРАЖЕНИЯ ОТ ВЕРХНИХ СЛОЁВ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ ПРИ ЗОНДИРОВАНИИ АБ-1200, АБ-1700	18
4.3 УСТРАНЕНИЕ ВОЛНООБРАЗНОГО ВИДА ГРАНИЦЫ «ВОЗДУХ-ЗЕМЛЯ»	19
5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ	22
6. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЧВ И ПОРОД	26
7. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ВИДЕОПАСПОРТИЗАЦИИ ДОРОГ "СВПД"	29

1. Физические основы метода георадиолокации

Метод георадиолокации основан на явлении отражения электромагнитной волны от границ неоднородностей в изучаемой среде, на которых скачкообразно изменяются электрические свойства – электропроводность и диэлектрическая проницаемость. Излучаемые георадаром электромагнитные сверхширокополосные импульсы, распространяясь в обследуемой среде, отражаются от находящихся там объектов, слоев грунта принимаются антенной, усиливаются, преобразуются в цифровой вид, обрабатываются в ЭВМ, далее информация об обнаруженном объекте визуализируется на мониторе.

Основными величинами, измеряемыми при георадарных исследованиях, являются время пробега электромагнитной волны от источника до отражающей границы и обратно до приемника, а также амплитуда этого отражения. Такими границами раздела в исследуемых средах являются, например, контакт между сухими и влагонасыщенными грунтами (уровень грунтовых вод), контакты между породами различного литологического состава, между породой и материалом искусственного сооружения, между мерзлыми и тальми грунтами, между коренными и рыхлыми породами, между слоями нового и старого асфальта.

Амплитуда отраженного сигнала от границы между слоями пропорциональна величине $K_{отр.}$ (коэффициент отражения):

$$k_{отр} = \frac{(\sqrt{\epsilon_1} - \epsilon_2)}{(\sqrt{\epsilon_1} + \epsilon_2)},$$

где ϵ_1 и ϵ_2 - значения диэлектрической проницаемости первого и второго слоя.

Скорость распространения электромагнитной волны в разных материалах различна, поэтому, измеряя времена пробега волн, и зная основные физические свойства пород в изучаемой среде, можно судить о строении объекта.

Максимальный контраст в диэлектрических проницаемостях наблюдается между воздухом (1) и водой (81). Их соотношение в породе и будет, в основном, определять диэлектрическую проницаемость слоя. Сухие, монолитные, слабо трещиноватые породы имеют низкие значения диэлектрической проницаемости, а влагонасыщенные, проницаемые, пористые, трещиноватые породы, как правило, имеют высокие значения диэлектрической проницаемости и низкие значения скорости распространения электромагнитных волн.

2. Электрофизические свойства среды.

Применение метода георадиолокации для разделения различных пород между собой возможно благодаря их различию по электрическим свойствам. Основные свойства, которые мы рассмотрим – это удельное электрическое сопротивление r и диэлектрическая проницаемость e .

Удельное электрическое сопротивление определяет затухание электромагнитного поля в среде, а, следовательно, и глубину исследования. Чем меньше затухание, тем на большую глубину проникнет поле, то есть будет получен отклик от пород с большей глубины.

Практически все вещества, кроме чистого металла, могут быть отнесены к диэлектрикам с конечной проводимостью. В связи с этим введено понятие относительной диэлектрической проницаемости вещества.

Таблиц.1 Значения относительной диэлектрической проницаемости некоторых пород.

Тип породы	Значение диэлектрической проницаемости породы	
	Естественной влажности	Водонасыщенных
Пески разномерные	4-9	16-25
Супеси	6-16	16-25
Суглинки	9-25	16-30
Глины	16-30	20-36
Валунно-галечниковые отложения с песчаным наполнителем	4-9	10-20
Валунно-галечниковые отложения с глинистым наполнителем	6-16	10-25
Песчано-глинистые отложения с гравием, галькой и валунами	4-16	10-25
Известняки крепкие, плотные	4-7	-
Доломиты крепкие, плотные	5-7	-
Мергели	20-30	-
Глинистые сланцы	7-10	-

Скорость распространения электромагнитной волны в диэлектрике зависит от его диэлектрической и магнитной проницаемостей, однако, для большинства горных пород значение магнитной проницаемости близко к единице. Поэтому скорость распространения электромагнитной волны в среде равна:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}},$$

где c – скорость распространения электромагнитной волны в вакууме (скорость света). В георадиолокации принято измерять скорость в см/нс (сантиметры в наносекунду, $1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$). Таким образом, формула для расчета скорости выглядит следующим образом:

$$V = \frac{30}{\sqrt{\epsilon}} \left(\frac{\text{см}}{\text{нс}} \right).$$

Ниже в таблице.2 приведены некоторые значения диэлектрической проницаемости, скорости и длин волн (для частоты 100 МГц).

Таблица.2 Значения диэлектрической проницаемости, скорости и длин волн (для частоты 100 МГц).

	воздух	лед	песок (сухой)	глины	вода
ϵ	1	3	5	16	81
$V, \text{ см/нс}$	30	17	13	7,5	3,3
$l, \text{ м}$	3	1,7	1,3	0,75	0,3

Длина волны определяется отношением скорости электромагнитной волны к частоте излучения антенны:

$$l = \frac{V}{f} (\text{м}).$$

3. Параметры съёмки георадарного профиля.

Методика планируется на стадии проектирования работ на основании всей информации об объекте исследования. Сюда должна входить вся имеющаяся геологическая информация об объектах в виде скважин или геологических отчетов, информация об электрических свойствах пород. Если речь идет об обследовании технического сооружения, то необходима вся документация, собранная при строительстве. Обязательной составляющей частью методики является составление плана (чертежа) участка работ или точная привязка к уже имеющемуся плану, разбивка профилей и топографическая привязка.

Для проведения георадиолокационной съёмки на основании имеющейся информации и необходимой детальности, точности измерений определяются следующие параметры:

- тип антенны;
- способ перемещения антенны по профилю;
- аппаратные настройки: число накоплений сигнала, усиление и т.п.

3.1 Выбор типа антенного блока.

Для проведения работ по обследованию дорожной одежды применяются георадары «Око-2» с двумя типами антенных блоков. Первый тип - рупорные антенны (АБ-1700Р, АБ-400Р, АБ-1000Р), работающие с отрывом от поверхности дорожного покрытия, второй тип - антенные блоки (АБ-1700У, АБ-400, АБ-250), перемещаемые по поверхности дороги. Обследования дорожной одежды рупорными антеннами, закрепленными при помощи специальной подвески на автомобиле, позволяет значительно увеличить производительность георадарных исследований без потери качества. Поэтому рупорные антенны применяются для обследования дорог протяженностью в десятки, сотни километров.

Для измерения толщины верхних слоев дорожного покрытия (глубина исследований до 0,6м) используется георадар «ОКО-2» с антенными блоками АБ-1700У, АБ-1700Р. Выбор этих антенных блоков обусловлен их высоким разрешением по вертикали и по горизонтали – 3 - 5см.

Для измерения толщины дорожного полотна на глубинах до 3,0м применяются антенные блоки АБ-700, АБ-400Р, АБ-1000Р. В случаях тяжелых грунтов, а так же при необходимости получить информацию о геологическом строении под дорожным покрытием на глубинах более 3,0м могут быть применены антенные блоки АБ-400, АБ- 250.

Технические характеристики и внешний вид антенных блоков представлены ниже.

Антенный блок АБ-1700Р

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 1700 МГц.
Обуженная диаграмма направленности.
Работа с отрывом до 20 см,
Возможность детального изучения приповерхностных слоев.
Глубина зондирования 0,8 м.
Разрешающая способность 0,03 м.
Габариты 205x165x135 (мм).
Масса 0,8 кг.
Потребляемая мощность 5,0 Вт



Антенный блок АБ-400Р

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 400 МГц.
Обуженная диаграмма направленности.
Работа с отрывом 30 - 40 см,
Возможность детального изучения приповерхностных слоев.
Глубина зондирования 3,0 м.
Разрешающая способность 0,1 м.
Габариты 205x165x135 (мм).
Масса 8,0 кг.
Потребляемая мощность 6,0 Вт



Антенный блок АБ-1000Р

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 1000 МГц.
Обуженная диаграмма направленности.
Работа с отрывом 30-40 см,
Возможность детального изучения
приповерхностных слоев.
Глубина зондирования 1,5 м.
Разрешающая способность 0,04 м.
Габариты 590 x 210 x 440 (мм).
Масса 7,3 кг.
Потребляемая мощность 5,0 Вт



Антенный блок АБ-1700У (универсальный).

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 1700 МГц.
Съемная монолыжа.
Возможна работа как со встроенным,
так и с внешним датчиком перемещения.
Глубина зондирования 1 м.
Разрешающая способность 0,03 м.
Габариты (без монолыжи) 205x165x135 (мм).
Габариты (с монолыжей) 370x240x130 (мм).
Масса (без монолыжи) 0,8 кг.
Масса (с монолыжей) 2,3 кг.
Потребляемая мощность 5,0 Вт



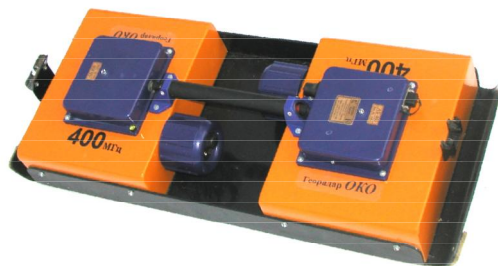
Антенный блок АБ-700.

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 700 МГц.
Глубина зондирования 3 м.
Разрешающая способность 0,1 м.
Габариты 470x160x170 (мм).
Масса 2,2 кг.
Потребляемая мощность 5,0 Вт



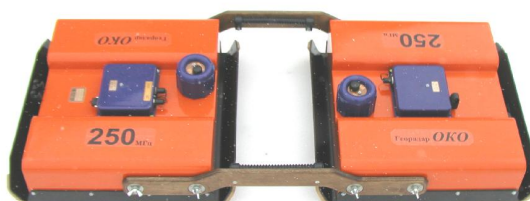
Антенный блок АБ-400.

Экранированный антенный блок.
Центральная частота 400 МГц.
Глубина зондирования 5 м.
Разрешающая способность 0,15 м.
Габариты 680x275x120 (мм).
Масса 4,2 кг.
Потребляемая мощность 6,0 Вт



Антенный блок АБ-250.

Экранированный разборный антенный блок.
Центральная частота 250 МГц.
Глубина зондирования 8 м.
Разрешающая способность 0,25 м.
Габариты (в собранном виде) 1100x430x130 (мм).
Масса (в собранном виде) 10 кг.
Потребляемая мощность 7,0 Вт.



3.2 Способ проведения георадиолокационной съемки.

Радиолокационные исследования небольших участков дорожного полотна проводятся оператором (Рис.3), который перемещает антенный блок при помощи штанги-ручки по поверхности дорожного покрытия, информация от антенного блока подается на регистрирующее устройство (ноутбук, блок обработки) закрепленное на специальной подвеске переносимой оператором.



Рис.3. Проведение измерений оператором

При проведении измерений больших участков антенные блоки могут быть закреплены на автомобиле с помощью специальной подвески (см. Рис.4) либо антенные блоки можно прикрепить через буксировочный трос или жёсткую штангу (Рис.5) к буксировочному устройству автомобиля, в котором находятся оператор георадара с ноутбуком и водитель. Съёмка георадарного профиля производится в режиме “по перемещению”, в качестве датчика перемещения используется датчик положения ДП-32 либо ДПА (для антенных блоков закрепленных на автомобиле).



Рис.4 Подвеска АБ-1700Р на автомобиле



Рис.5. Буксировка АБ - 700

Во время зондирования можно ставить метки на записываемую радарограмму клавишей <пробел> ноутбука, нумерация меток в программе GeoScan32 начинается с нуля. Рекомендуется пометить все крупные объекты, располагающиеся вдоль дорожного полотна – столбы, дорожные знаки и т.д. Это необходимо для дополнительной привязки георадарного профиля на местности и облегчения процесса интерпретации.

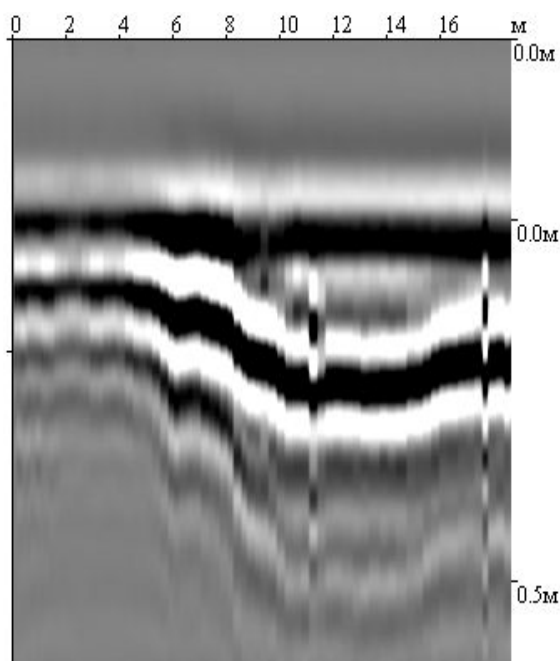
3.3. Аппаратурные настройки.

При зондировании профиля важно правильно установить параметры записи. Большинство этих параметров изменяются в окне «Параметры измерений», открываемом одноименной кнопкой или клавишей <P>. При георадиолокационных исследованиях, во время которых антенный блок перемещается при помощи автомобиля, важную роль играет определение скорости передвижения антенного блока. Скорость проведения измерений зависит от характера решаемых задач, а так же от необходимой точности и детальности измерений, которые, в свою очередь, определяются параметрами, устанавливаемыми в окне «Параметры» программы GeoScan32. Таковыми являются следующие параметры:

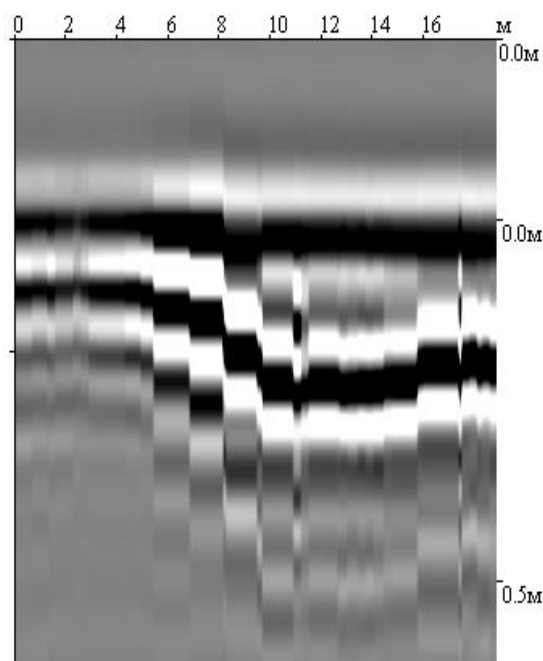
- значение количества точек по глубине;
- значение количества накоплений;
- значение ширины шага зондирования.

Скорость передвижения не должна превышать скорость обработки и записи трасс на регистрирующее устройство (ноутбук или блок обработки). В случае превышения скорости будет происходить потеря трасс, т.е. регистрирующее устройство, не успевая принять текущую трассу, получает от датчика

перемещения команду записать данные для последующей трассы и, вместо потерянных данных, копирует информацию из предыдущей трассы. Вследствие этого радарограмма принимает характерный «ступенчатый» вид (Рис.6).



Георадар “ОКО-2” с АБ-1700У.
Скорость перемещения антенного блока ниже скорости обработки трасс регистрирующим устройством.



Георадар “ОКО-2” с АБ-1700У.
Скорость перемещения антенного блока выше скорости обработки трасс регистрирующим устройством.

Рис.6.

В зависимости от решаемых задач, необходимой глубины зондирования и определения скорости перемещения антенного блока значение количества точек по глубине, задаваемое в программе Geoscan32, может быть следующим:

- § 255 точек — для задач требующих выделения различных по свойствам слоев грунта, асфальта, асфальтобетона на небольших глубинах до 40 – 50см;
- § 511 точек — для задач требующих максимального качества отображения информации или зондирования на большие глубины.

Значение количества накоплений в параметрах измерений выставляется исходя из необходимой детализации разреза дорожного покрытия и способа проведения измерений:

- § 1-4 — сканирование антенными блоками, закрепленными на подвеске автомобиля с целью повышения скорости зондирования и исследования верхних слоев дорожной одежды на небольших глубинах до 1,0м (определение границ между слоями асфальта либо асфальтобетоном и цементобетонном). При этих величинах накопления

скорость перемещения антенного блока может находиться в пределах 50-70 км/час, измерения проводятся в режиме «По перемещению» или в «Непрерывном»;

§ 6 - 10 — решение инженерно–геологических задач для условий, связанных с выделением слоев и нарушений дорожной одежды на глубинах до 3,0м в условиях легких грунтов. При таких значениях накопления максимальная скорость перемещения антенного блока не превышает 10км/час, режим измерений – «По перемещению» (как правило) либо «Непрерывный»;

§ 16 и больше — решение задач связанных с исследованием дорожной одежды и геологического строения грунта при измерениях в условиях тяжелых почв. Перемещение антенного блока осуществляется со скоростью меньше 5 км/час, либо в режиме сканирования «По шагам».

Выбор шага зондирования для режима сканирования «По перемещению» зависит:

- § от типа антенного блока, которым проводятся работы;
- § используемого датчика перемещений;
- § необходимой детализации результатов зондирования.

Ниже в таблице 3 приведены значения параметров и соответствующие этим параметрам скорости перемещения антенного блока АБ-1700Р, закрепленного на подвеске автомобиля. При значениях параметров представленных в таблице 3 разрешающая способность по глубине изменяется от 65см (при $\varepsilon = 3,0$) до 40см (при $\varepsilon = 9,0$), что позволяет определить, в зависимости от конструкции дорожной одежды, границы между слоями асфальта и подсыпкой либо границу между асфальтобетоном и цементобетоном, границу между асфальтобетоном, гравийной подсыпкой и песком.

Развертка, нс	Количество точек	Шаг, мм	Накопление	Скорость перемещения АБ, км/час
24	512	100	1	45
			2	34
			4	20
24	256	100	1	90
			2	65
			4	40

Таблица 3. Параметры аппаратных настроек для АБ-1700Р, АБ-1700У

На Рис.7 и Рис.8 представлены в качестве примера фрагменты радарограмм дорожных измерений антенными блоками АБ-1700Р и АБ-1700У в Татарии и Пензенской области.

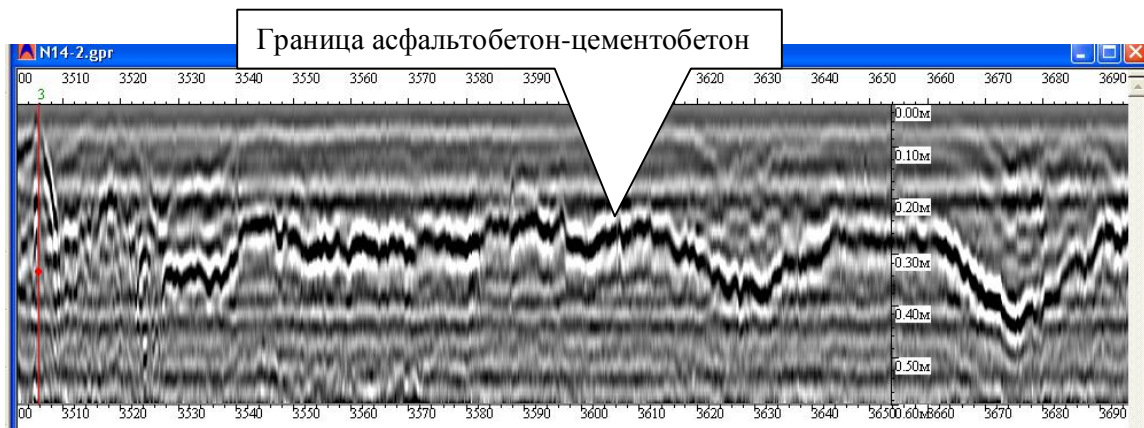


Рис.7 Фрагмент радарограммы обследования дорожной одежды антенным блоком АБ-1700Р. Значение диэлектрической проницаемости подобранное по калибровочной скважине равняется 3.

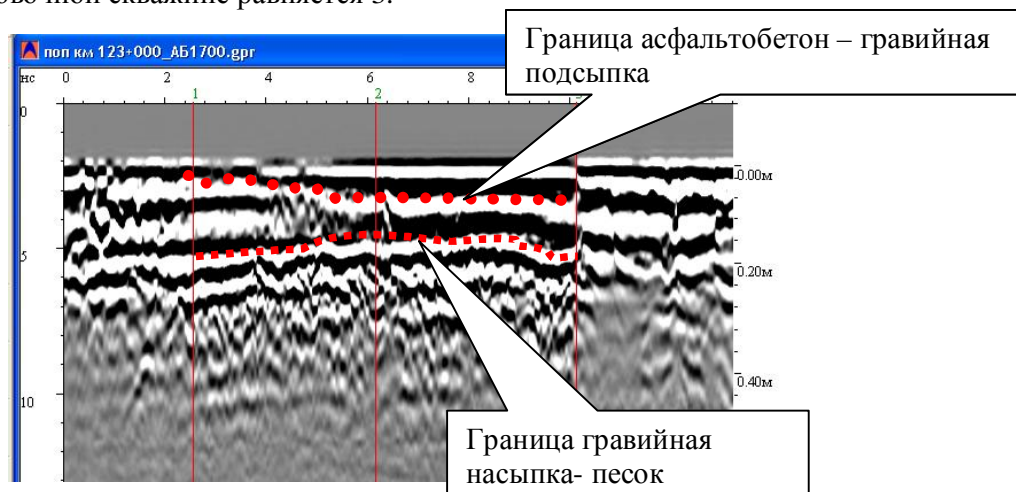


Рис.8 Радарограмма поперечника дорожной одежды, сканирование антенным блоком АБ-1700У

3.4. Особенности аппаратных настроек при измерениях антенными блоками, закрепленными на подвеске автомобиля.

Основной задачей применения рупорных антенных блоков закрепленных на подвеске автомобиля является увеличение производительности георадарной съемки за счет увеличения скорости перемещения автомобиля с антенным блоком без ощутимой потери качества радарограмм. Этого удалось добиться за счет модернизации программы Geoscan32. Чтобы вести зондирование на скорости 60 – 70км/час необходимо перед началом измерений в меню «Параметры» измерительного модуля программы Geoscan32 выставить следующие значения:

- количество точек по глубине – 511;

- количество трасс в профиле. Данный параметр зависит от протяженности обследуемого дорожного полотна. При установке количества трасс в профиле равным 15000 - 20000 трасс протяженность каждого файла в записываемой серии файлов будет составлять 1000 – 1500 метров при средней скорости перемещения 65км/час. Такой размер профиля позволяет при дальнейшей обработке довольно просто находить и интерпретировать результаты георадарных исследований. При обследовании протяженного участка (более 200км) получается большая серия файлов, но за счет создаваемого текстового файла во время сканирования, задача поиска интересующего участка значительно упрощается;
- накопление сигналов – 1;
- шаг зондирования – 200...250мм;
- активизировать режимы «РЖД», «НС».

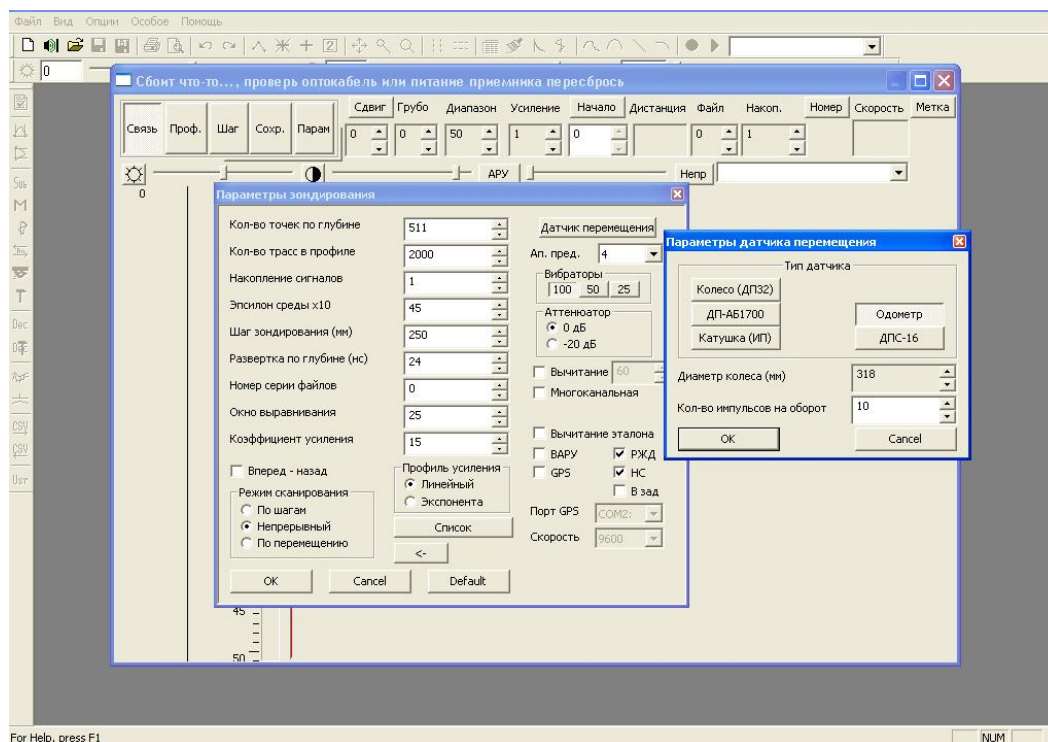


Рис.9 Окно «Параметры зондирования» с выставленными значениями для зондирования рупорными антенными блоками

- режим сканирования – «По перемещению» либо «Непрерывный». Режим «По перемещению» является удобным при обследовании дорожного покрытия в городских условиях, когда автомобиль с антенным блоком, проводя измерения, движется в потоке городского транспорта с переменной скоростью и остановками на светофорах и в автомобильных пробках. Режим непрерывного зондирования можно использовать при обследовании загородных участков автомобильных дорог. При этом в обоих режимах датчик перемещений должен быть

включен. В непрерывном режиме сканирования при подключенном датчике перемещений пишется информация, поступающая от датчика перемещений, что позволяет в постобработке «привязать» георадарный профиль к соответствующим километрам дорожного полотна, для этого при просмотре файла в главном окне программы GeoScan32 в меню «Вид» активизировать функцию «Учет положения» (см. Рис.10)

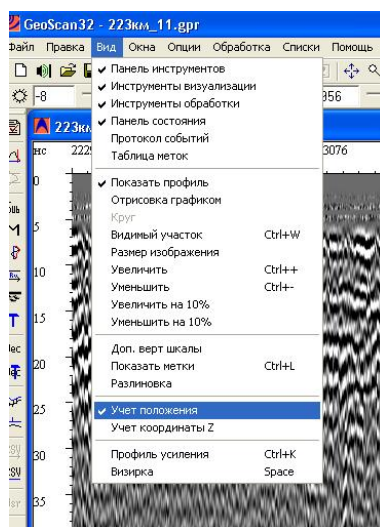


Рис.10 Меню «Вид», функция «Учет положения»

Особенностью режима сканирования при активизированной кнопке «НС» (непрерывное сохранение файлов) является новая опция сохранения файлов. После нажатия функциональной клавиши «Профиль» откроется окно, в котором будут сохранены файлы с результатами измерений (см. Рис.11). В этом же окне, для того, чтобы ввести начальную точку, соответствующую километровой столбе от которого начинается зондирование дорожного полотна, необходимо нажать кнопку «Свойства профиля» и в открывшемся окне «Свойства профиля» в графе «Положение начала профиля» «Линейное» набрать значение начального километра, выраженное в миллиметрах.

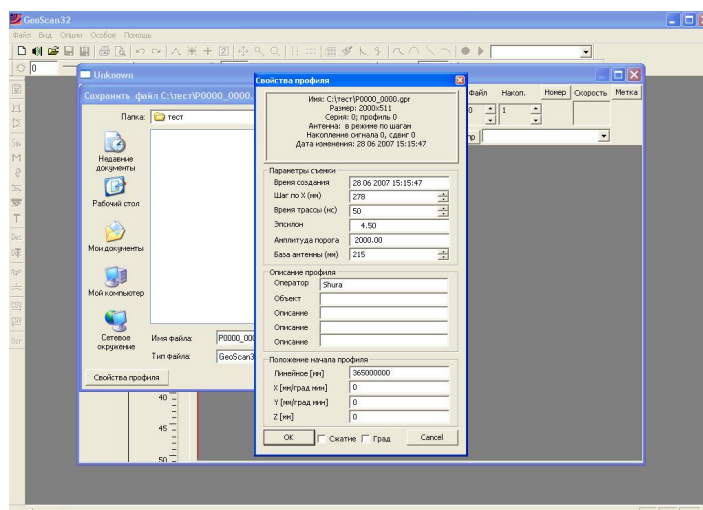


Рис.11 Окна сохранения результатов сканирования и внесения значения начальной точки сканирования.

4. Обработка полевых материалов.

Обработку полевых радарограмм выполняют в случае, если волны-помехи затрудняют выявление и прослеживание полезных волн. Целью обработки георадиолокационных данных является выделение полезных сигналов (отраженных сигналов от искомых объектов) на фоне прочих сигналов (сигнала прямого прохождения, сигналов-помех, шумов и т.д.).

Результатом георадиолокационной съемки являются временные разрезы, записанные методом переменной плотности, на которых по горизонтали указано расстояние в метрах, а по вертикали - время прихода отраженных сигналов в наносекундах. С помощью математических процедур при обработке сигналов по возможности ослабляются или удаляются с записи помехи, а полезные подчеркиваются. Для каждого слоя георадиолокационного профиля определяются значения диэлектрической проницаемости (ϵ) и скорости распространения волн (V , см/нс). По этим параметрам осуществляется переход от временных разрезов к глубинным. После этого на радарограмме выделяются слои и объекты, строится геологическая модель исследуемого разреза. На этом этапе привлекается вся имеющаяся априорная информация о строении дорожной одежды, об условиях съемки.

4.1 Определение границы раздела сред на радарограмме.

На радарограмме границы раздела сред отображаются не в виде тонких линий, а в виде достаточно протяжённых по глубине осей синфазности отражённого сигнала, обычно двух или трёх, белых и чёрных. Белым осям синфазности соответствуют отрицательные полуволны отражённого сигнала, чёрным - положительные полуволны отражённого сигнала (рис. 9).

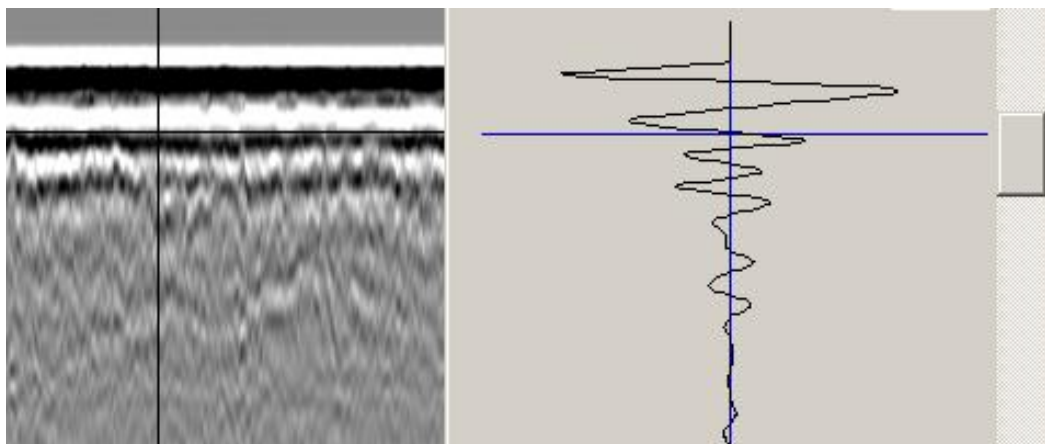





Рис.9. Выделение границы разделения сред.

Для определения границ раздела сред нужно в режиме обработки программы GeoScan32 вызвать окно “визирка” клавишей <пробел> или кнопкой , подвести курсор к выбранной трассе и щёлкнуть один раз левой кнопкой мыши. В окне “визирка” отобразится амплитудно-временная характеристика трассы. Ползком вертикальной прокрутки или кнопками   установить горизонтальную визирку на вторую точку перехода ноля положительной полуволны отражённого сигнала. Эта точка и будет являться истинной границей раздела сред на данной трассе.

Толщину слоя измеряют от верхней границы слоя, найденной по вышеуказанному методу, до нижней границы (при верном значении диэлектрической проницаемости). В случае с измерением толщины асфальтового покрытия – от второй точки перехода ноля положительной полуволны сигнала прямого прохождения (в случае сканирования без отрыва антенного блока от поверхности), которая является нулевой отметкой шкалы глубин для выбранной трассы (Рис. 10).

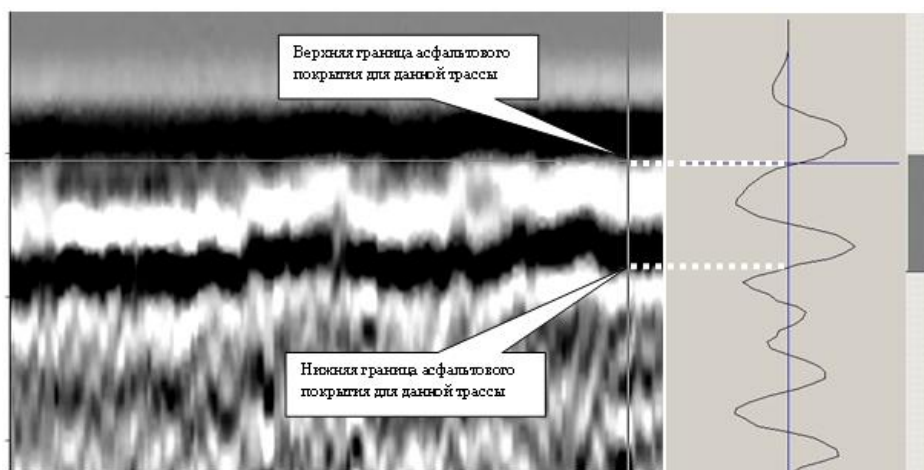




Рис.10. Определение границ асфальтового покрытия

В случае сканирования с отрывом антенного блока от поверхности, толщина покрытия измеряется от границы раздела сред “воздух – поверхность асфальта” и начало отсчёта шкалы глубин устанавливается именно на эту границу. Для установки начала отсчёта по глубине следует нажатием кнопки  на панели инструментов окна программы GeoScan 32 вызвать на экран окно “визирка”, горизонтальную визирку установить на требуемую величину и нажать на кнопку . Начало отсчёта передвинется на указанное визиркой место. На Рис.11 представлена радарограмма, полученная георадаром “ОКО-2” с АБ-1700Р при отрыве антенного блока над поверхностью асфальта на 25 см.

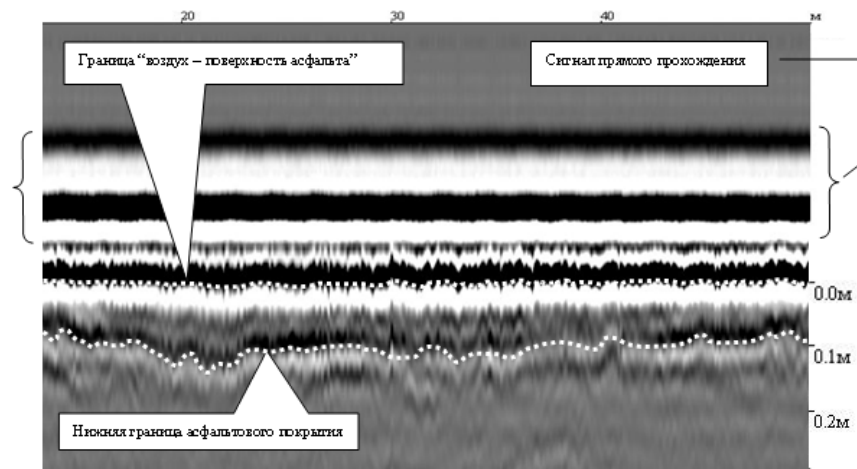


Рис.11. Определение границы «воздух-поверхность асфальта»

При обработке радарограмм, полученных антенным блоком АБ-1700Р, закрепленным на подвеске автомобиля, возникают затруднения в определении границы «воздух-поверхность». Определить эту границу возможно, проделав следующие операции: отсоединить механическое крепление антенного блока от подвески автомобиля;

1. установить антенный блок на поверхность дорожного покрытия;
2. войти в режим сканирования программы GeoScan 32 и в непрерывном режиме произвести сканирование;
3. во время сканирования антенный блок плавно поднять над поверхностью дорожного покрытия на уровень крепления антенного блока на автомобиле и, без паузы в верхней точке траектории, плавно опустить антенный блок на поверхность земли. Прodelать эти движения несколько раз, сохранить записанный файл;
4. в режиме обработки программы GeoScan 32 открыть сохраненный файл, который будет иметь вид, показанный на Рис.12. На этом же рисунке показано, как определить границу «воздух-земля».

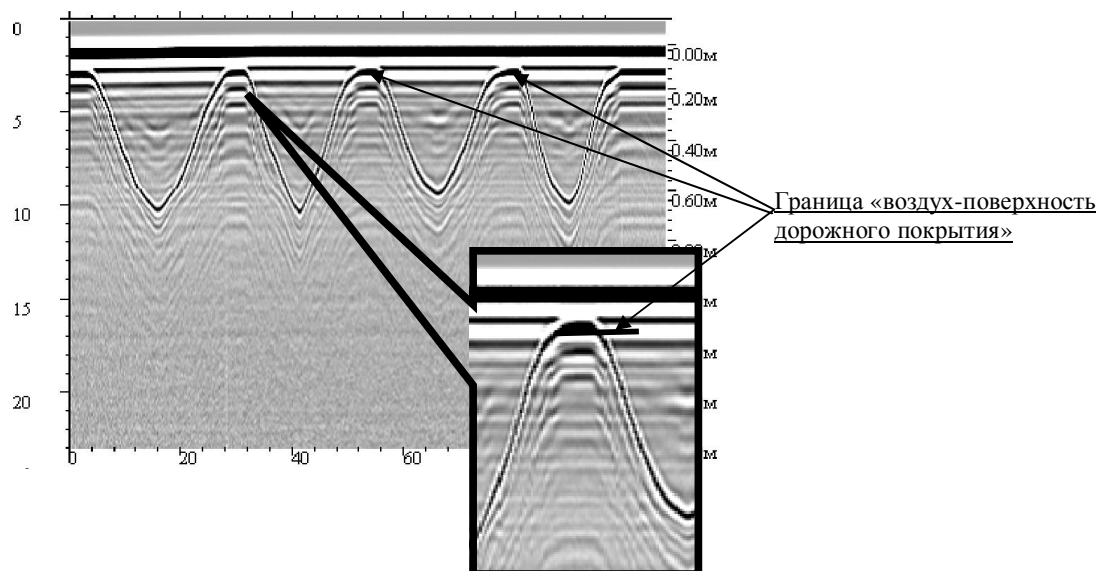
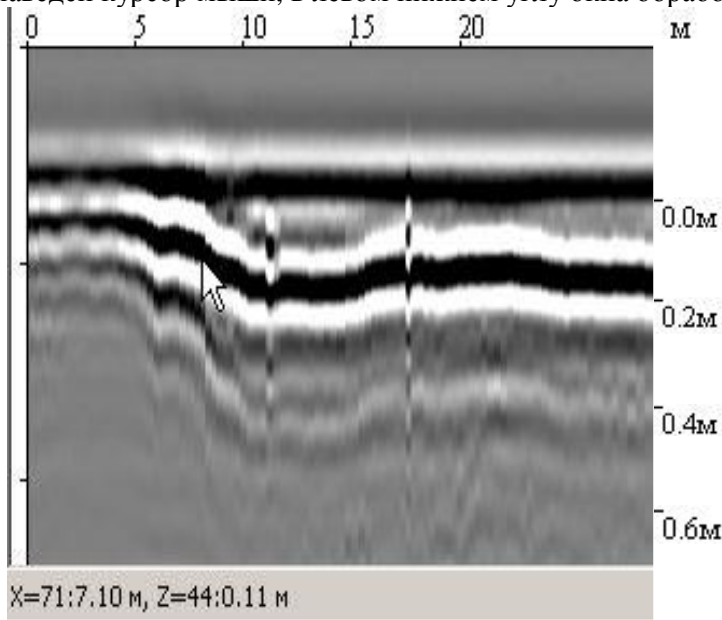


Рис.12. Определение границы «воздух-поверхность асфальта» для АБ-1700Р

Примечание:

Так как шкала глубин, находящаяся на радарограмме справа, бывает иногда не достаточно подробна, рекомендуется смотреть точные координаты точки, на которую наведён курсор мыши, в левом нижнем углу окна обработки программы Geoscan 32 (Рис13).



На примере Рис.13 координаты точки, на которую наведён курсор, читаются так: по оси X 71-я трасса, считая от нулевой, или 7.1м от начала сканирования по горизонтали. По оси Z 44-й отсчёт, считая от нулевого, или 0.11 м от ноля по шкале глубин.

Рис.13. Определеие координат X и Z на радарограмме

4.2 Исключение маскирующего эффекта сигнала прямого прохождения на отражения от верхних слоёв дорожного покрытия при зондировании АБ-1200, АБ-1700.

В том случае, когда дорожное покрытие состоит из нескольких слоёв (например, слой нового и слой старого асфальта), сигнал прямого прохождения, вследствие большей амплитуды, маскирует отражения от верхних слоёв (Рис.14).

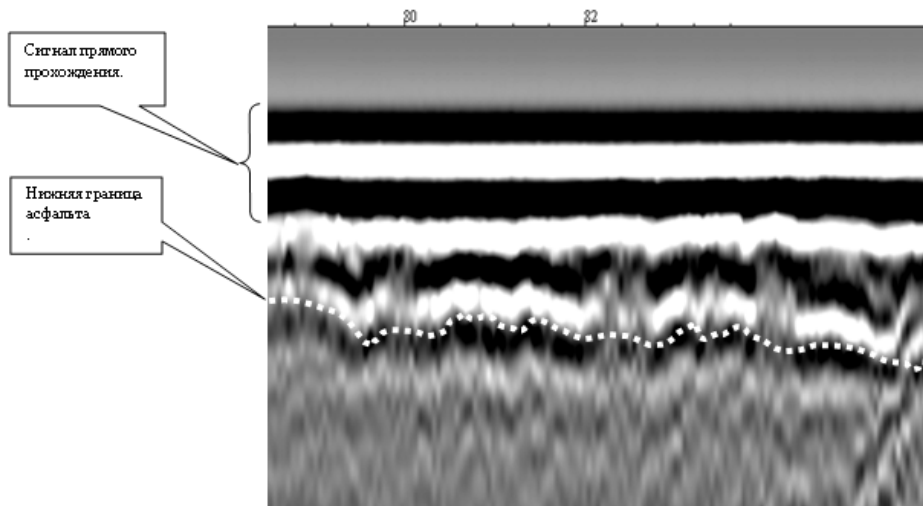


Рис.14. Маскирующий эффект сигнала прямого прохождения

Чтобы визуализировать отражения от верхних слоёв дорожного покрытия, в некоторых случаях рекомендуется произвести вычитание сигнала прямого прохождения. Для этого, в модуле обработки программы GeoScan 32, на панели инструментов, следует нажать кнопку «Опции» для открытия окна «Параметры обработки» и установить значение параметра «Окно вычитания» равное нулю. Далее, после нажатия кнопки «ОК» окна «Параметры обработки», следует нажать кнопку **5ш** на панели инструментов. Программа автоматически вычитает амплитуды сигнала прямого прохождения, и маскирующий эффект пропадёт (Рис.15).

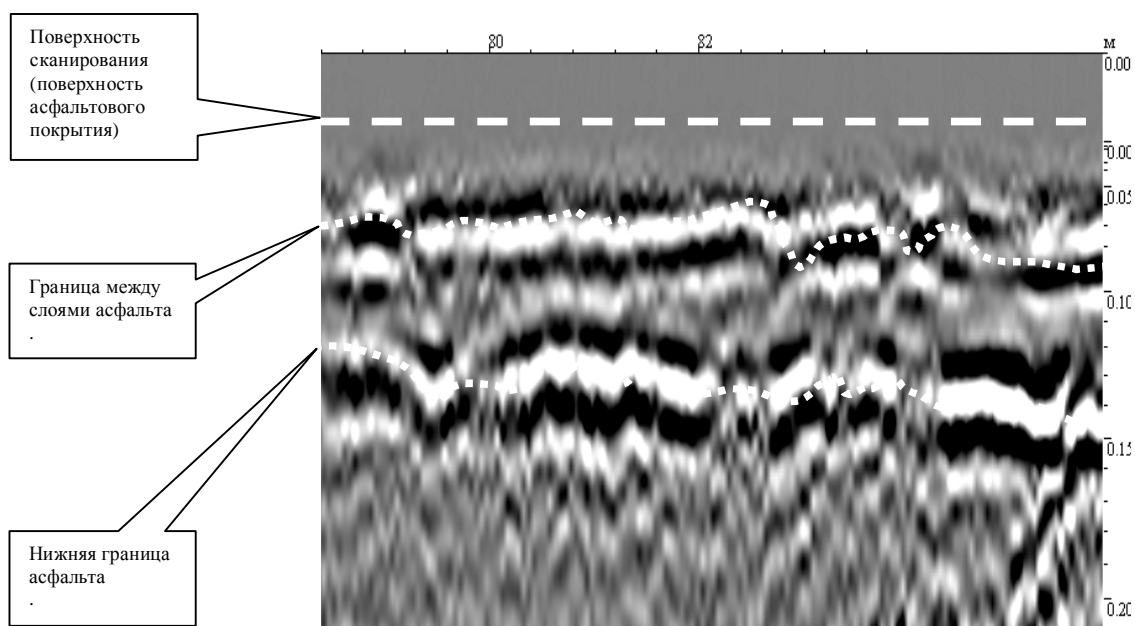


Рис.15. Результаты обработки «Вычитание среднего»

Пользоваться операцией вычитание сигнала прямого прохождения в случаях, когда поверхность дорожного покрытия близка идеально ровной не целесообразно, так как после применения этого вида обработки радарограммы может быть ликвидирована информация, позволяющая выделить слои дорожного покрытия в верхней части дорожного полотна.

4.3 Устранение волнообразного вида границы «воздух-земля».

После проведения сканирования дорожного покрытия антенным блоком АБ-1700Р закрепленным на подвеске автомобиля вследствие колебаний автомобиля при движении по исследуемому участку на радарограммах граница «воздух-земля» может иметь волнообразный вид (Рис.16.). Устранить волнообразный характер границы можно, применив функцию «Выравнивание» из списка обработок программы Geoscan 32.

Последовательность действий:

1. откройте обрабатываемый файл в модуле обработки программы GeoScan 32;
2. откройте список обработок, нажав функциональную клавишу «Обработка»;
3. выберите из открывшегося списка функцию «Выравнивание» (Рис.17.);
4. после активизации функции «Выравнивание» в модуле обработки программы GeoScan 32 откроется окно «Визирка» (Рис.18);

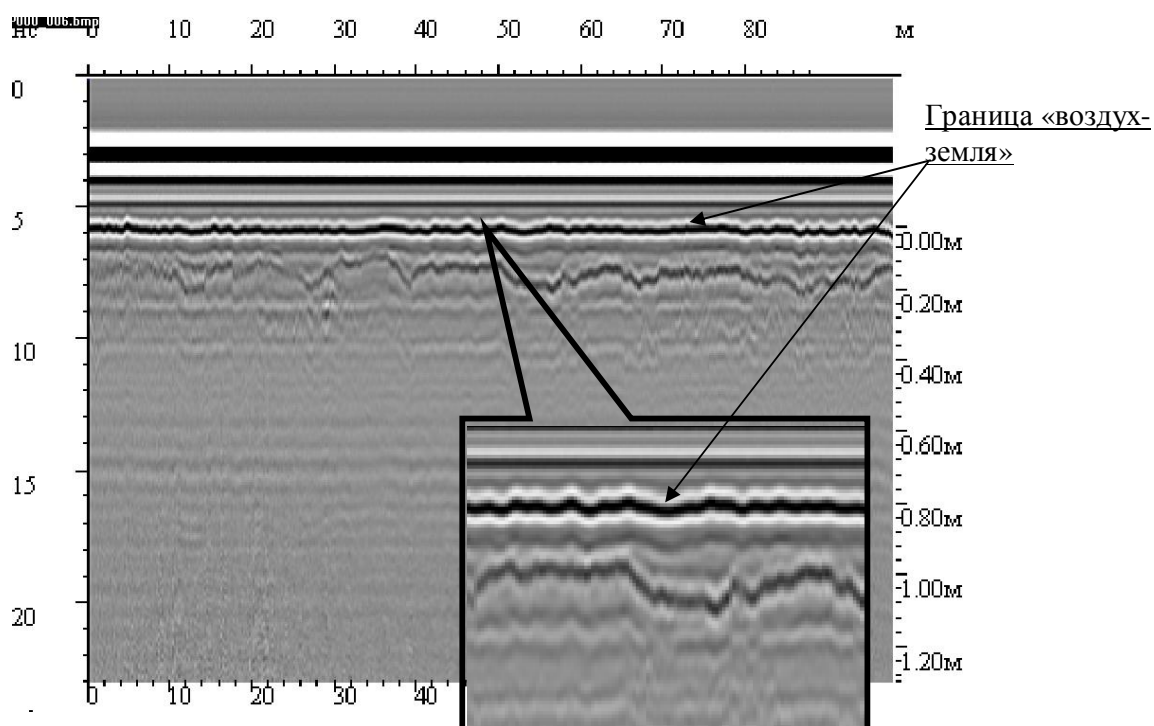


Рис.16 Волнообразный вид границы «воздух-поверхность дорожного покрытия».

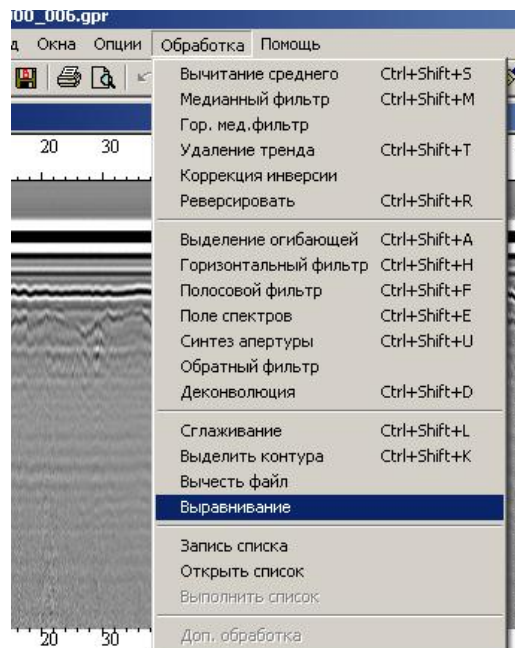


Рис.17 Окно выбора вида обработки

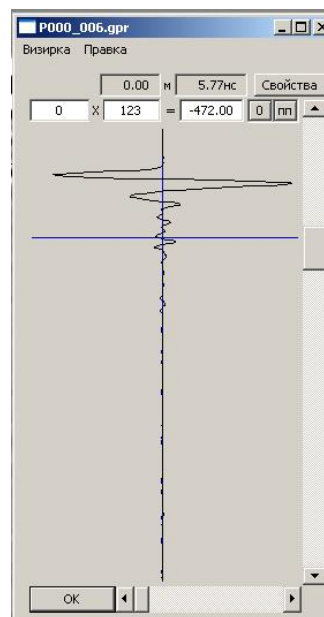


Рис.18 Окно «Визирка»

5. ползком вертикальной прокрутки или кнопками ▲▼ установить горизонтальную визирку в положение, как показано на Рис.19(в точку перехода отрицательной полуволны отраженного сигнала в положительную полуволну), нажать кнопку «ОК» в окне «Визирка». После этого произойдет выравнивание границы «воздух-дорожное покрытие» (Рис.20) и автоматически выставится начало шкалы глубин.

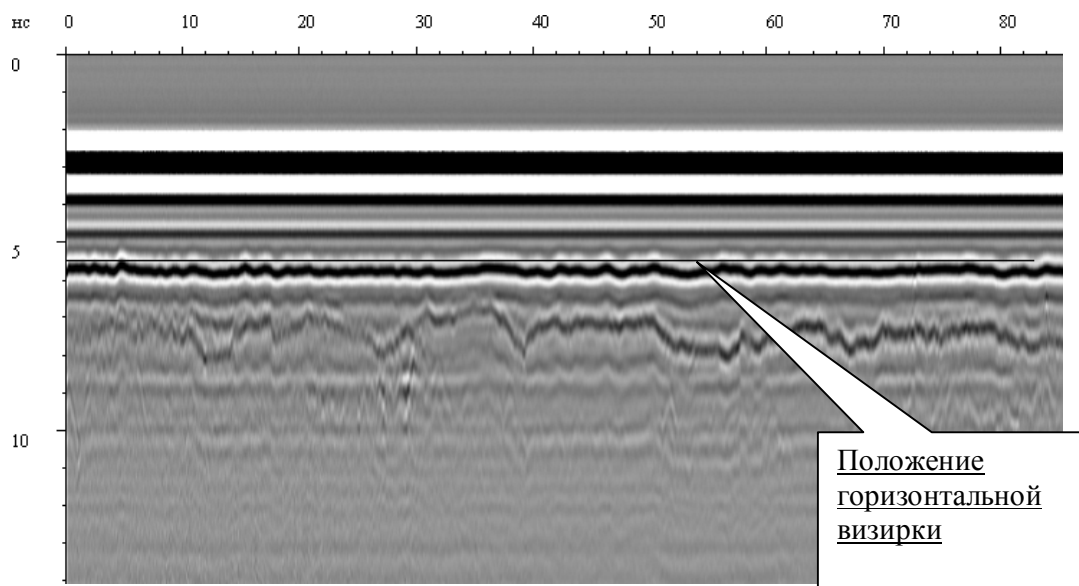


Рис.19 Положение горизонтальной визирки для проведения «Выравнивания»

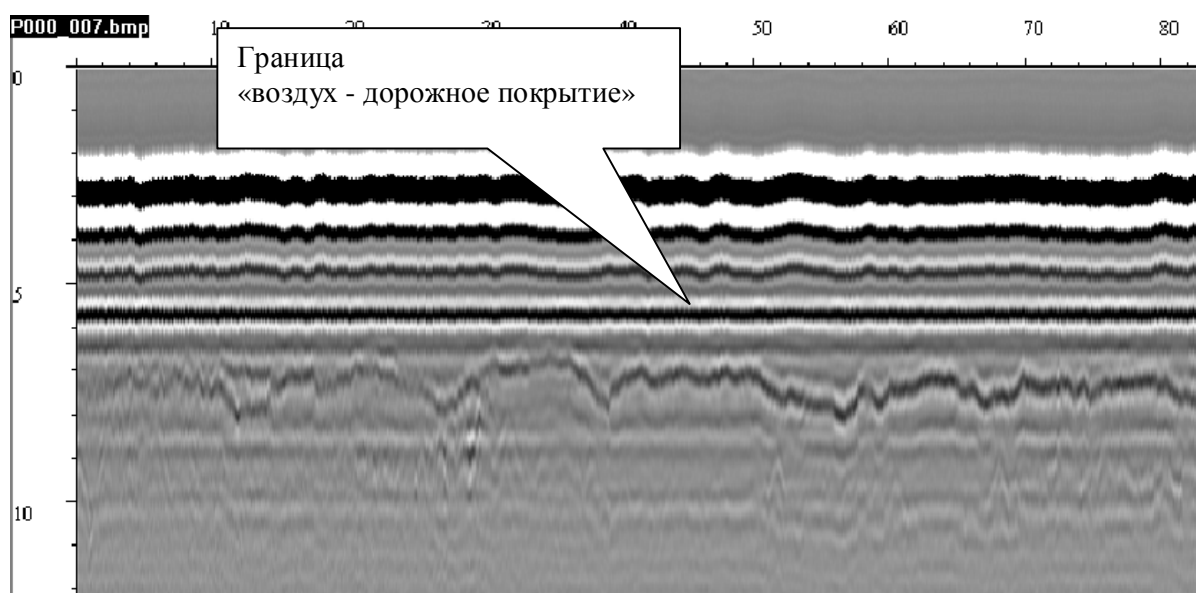


Рис.20 Радарограмма после применения обработки «Выравнивание»

5. Интерпретация.

Цель интерпретации георадиолокационных данных – получение максимально полной информации о строении дорожной одежды, выраженном в виде геологических разрезов или схем расположения и глубин залегания объектов. Интерпретация начинается с первичного анализа данных, во время которого идентифицируются полезные и «неполезные» волны. Обработка позволяет, с одной стороны, удалить или частично подавить влияние волн-помех. С другой стороны, процедурами обработки добивается усиление полезных волн. Дальнейшая интерпретация направлена на выделение конкретных объектов или прослеживание границ слоев. Конечным результатом интерпретации радиолокационных исследований дорожной одежды является:

- определение изменения границ и толщину слоев дорожных одежд;
- определение зоны увлажнения грунтов;
- определение пространственного очертания подошвы слоев;
- определение путей инфильтрации грунтовых вод;
- выявление дефектов, допущенных в процессе дорожных работ;
- выделение инородных включений в грунте.

Для измерения толщины дорожного покрытия необходимо знать диэлектрическую проницаемость данного покрытия в данных погодных условиях, для этого бурятся калибровочные скважины. Места бурения калибровочных скважин выбираются по результатам анализа полученных и предварительно обработанных радарограмм на исследуемом участке дорожного покрытия. Скважины желательно бурить в местах, где на радарограммах:

- ярко прослеживается нижняя граница дорожного покрытия;
- хорошо выделяются несколько слоев дорожной одежды;
- полностью отсутствуют границы между слоями.

Такой набор радарограмм и данных керн позволит облегчить процессы интерпретации и создания библиотеки данных соответствия строения дорожной одежды радиолокационным профилям.

В местах бурения калибровочных скважин измеряется толщина слоев покрытия и, по возможности, производится сканирование дорожной одежды в поперечном направлении в месте бурения скважины (для случая проведения основных измерений дорожной одежды вдоль дороги). Далее интерпретация результатов георадарных измерений, в зависимости от решаемой задачи, проводится с помощью одного из двух блоков программы GeoScan32.

1Вариант. Задача: определить толщину верхнего слоя (асфальта, асфальтобетона). Радарограмма обрабатывается в окне обработки файлов программы GeoScan32. Обычно это результаты сканирования антенными блоками АБ-1700Р, АБ-1700У, АБ-1000Р. Сопоставляя толщину верхнего слоя радарограммы основного измерения и поперечного замера в точке отбора керна с результатами анализа керна, следует подобрать значение диэлектрической проницаемости для радарограммы в точке калибровочного бурения. Для этого необходимо, изменяя значения диэлектрической проницаемости в программе GeoScan32 добиться совпадения нижней границы слоя дорожного покрытия на радарограмме с измеренной по калибровочной скважине. Значение диэлектрической проницаемости, при котором произошло совпадение и есть истинное значение этого параметра для данного покрытия при данных погодных условиях.

Изменение значения диэлектрической проницаемости происходит в строке “Эпсилон” окна “Свойства профиля”, которое вызывается кнопкой “Редактирование заголовка профиля” или одновременным нажатием клавиш <Ctrl> и <H> (см. Рис.21)

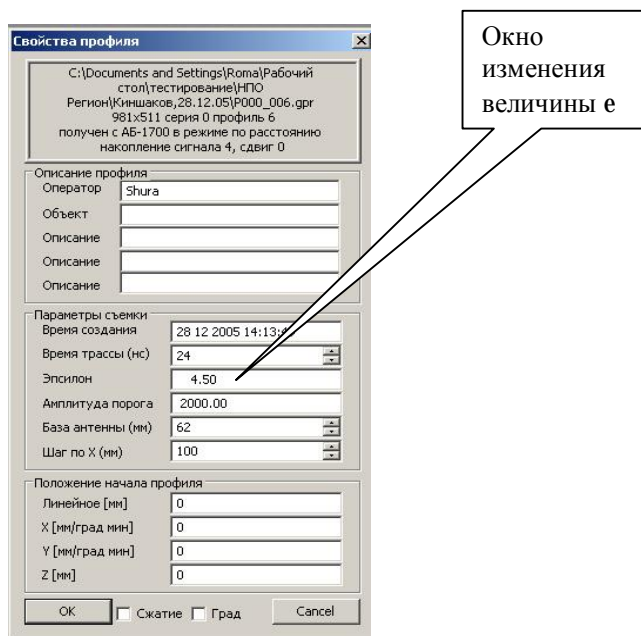


Рис.21 Окно «Свойства профиля»

Если на протяжении маршрута съёмки встречаются участки дорожного покрытия различного состава (например, старый и новый асфальт) или различной влажности, уточнение значения диэлектрической проницаемости необходимо производить на каждом из участков. Границы различных участков должны быть помечены метками в процессе съёмки профиля.

2Вариант. Радарограмма обрабатывается в модуле послойной обработки файлов программы GeoScan32 с целью построения многослойной конструкции дорожной одежды. В этом случае подбором величины диэлектрической проницаемости добиваются совпадения толщины каждого слоя на радарограмме с результатами измерений толщины слоев по керну, отобранному в калибровочной скважине. Последовательность действий по подбору величины диэлектрической проницаемости в модуле послойной обработки программы GeoScan32 следующая:

1. подвести курсор к верхней границе обрабатываемого слоя и щелкнуть правой кнопкой мыши, появится окно Рис.22, в котором необходимо активизировать опцию «Свойства»;
2. после активизации окна «Свойства слоя» Рис.23 в строке «Диэл. проницаемость» подбирается значение диэлектрической проницаемости для обрабатываемого слоя.

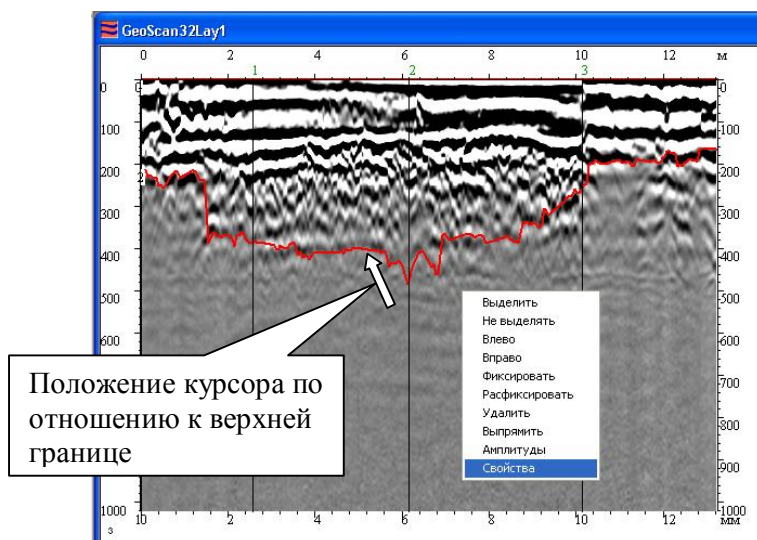


Рис.22 Окно активизации окна «Свойства»

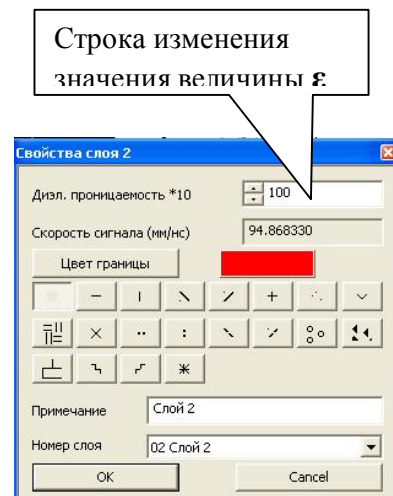
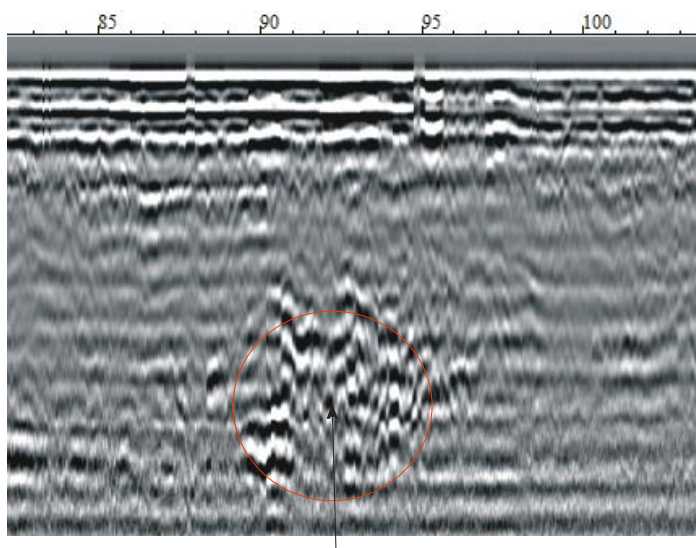


Рис.23 Окно «Свойства слоя»

Заключительным этапом интерпретации является построение итоговых схем и разрезов с геодезической привязкой.

На Рис. 24 показан фрагмент радарограммы с областью, выделенной и проинтерпретированной как зона разуплотненных пород.



Область разуплотнения

Рис.24 Фрагмент радарограммы с выделенной зоной разуплотнения грунта

Запись характеризуется интенсивными отражениями и нарушенными осями синфазности, как следствие неоднородного строения участка и возможным наличием пустот или промоин.

. На Рис. 25 выделены области низкочастотных отражений с интенсивными осями синфазности. Данные признаки характерны для водонасыщенных и обводненных пород.

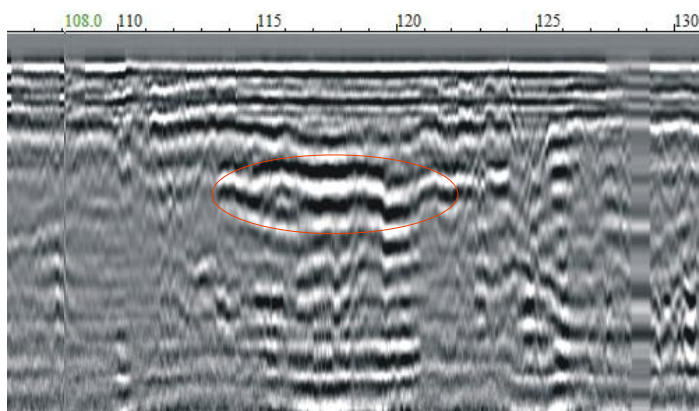


Рис.25. Фрагмент радарограммы с выделением обводненных пород.

Анализ и интерпретация данных, полученных при зондировании дорожного полотна в поперечном направлении (Рис.26) позволяют выделить четыре слоя. Дорожная одежда состоит: первый слой асфальтобетон мощностью 10-15 см., второй слой щебень мощностью 14-20 см., третий слой песок 15-30 см.,

четвертый слой суглинок мощностью 30-35 см., с глубины 0.85 м залегает глина.

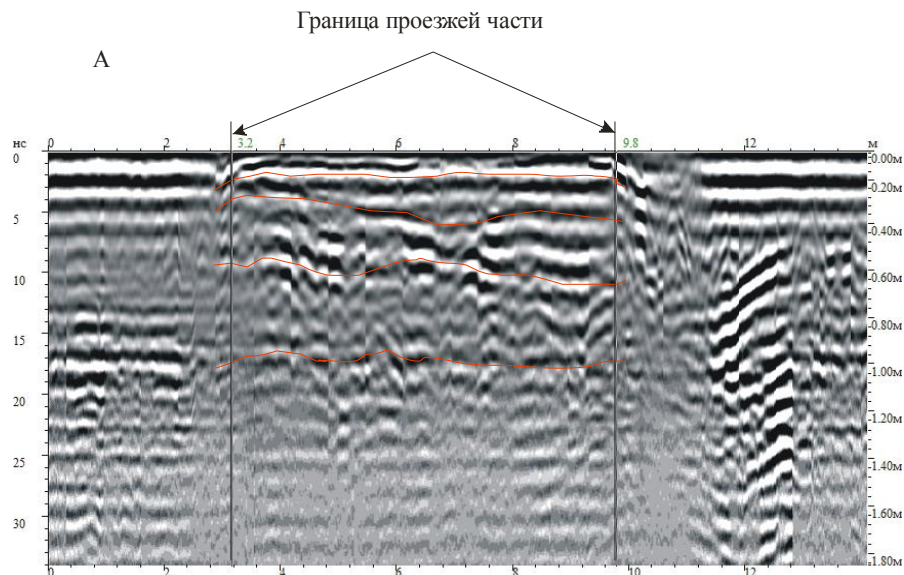


Рис.26. Радарограмма зондирования дорожного полотна в поперечном направлении.

6. Основные электрические характеристики почв и пород

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание (Γ [дБ/м]) и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Первый из них определяет глубину зондирования используемого георадара, знание второго параметра необходимо для пересчета временной задержки отраженного импульса в глубину до отражающей границы.

Основные электрические характеристики почв и пород приведены в таблице 1.

- Скорость распространения электромагнитной волны в среде равна:

$$V = \frac{C}{\sqrt{\epsilon}} = \frac{30}{\sqrt{\epsilon}} \text{ [см/нс]}$$

- , где C скорость распространения электромагнитной волны в среде, ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

- коэффициент удельного затухания Γ [дБ/м] определяет величину затухания сигнала при прохождении 1 метра среды.

Для наглядности потери также приведены и в разгах на 1 метр.

Потери в средах с затуханием довольно сильно зависят от влажности и от уровня минерализации (засоленности).

В таблице приведенные данные по потерям примерно соответствуют невысокому уровню минерализации (менее 1 гр/л).

Таблица составлена с использованием данных источников [1,2,3,4]. Также нужно понимать, что с ростом частоты сигналов также растут потери в среде. Так, например, для чернозёма с влажностью 5% при изменении частоты с 250 МГц до 1000 МГц потери растут с 17 дБ/м до 30 дБ/м.

Таблица1. Основных электрических характеристик почв и пород

Тип	Влажность %	ϵ	Затухание Γ [дБ/м]	Затухание [разы/м]	Скорость V_f [см/нс]	Задержка отраж. сигнала [нс/м]
Пески разно- зернистые	0	3.2	0,05	≈ 1	17	12
	4	5	1.8	1,2	13	15
	8	7	3.5	1,5	11	18
	12	11	5.3	1,8	9	22
	16	15	6.5	2,1	8	26
Суглинок серый	0	3,2	0.1	1,01	17	12
	5	4,8	9,9	3,1	14	15
	10	7,0	15,5	6,0	11	18
	20	14,7	26	20	8	26
Суглинок каштановый	0	3,2	0,1	1,01	17	12
	5	4,0	3,2	1,4	15	13
	10	6,5	4,6	1,7	12	17
	20	10	10,8	3,5	10	21
Глина	0	2,4	0,3	1,04	19	10
	4	5,4	23	14,1	13	16
	8	8	27	22,4	11	19
	12	12	40	100	9	23
	16	18,6	53	447	7	29
Мерзлый песок		4.5	0.8	1,1	14	14
Снег сухой		1,2-2,8	0,01	1	18-27	7-11
Снег мокрый		2-6			12-21	10-17

Лёд пресный (- 10°С)		3,3	0,01-0,5	1-1,07	17	18
Лёд морской (- 15°С)	Соленость 5	8,1	20,0	10	10	20
	12	7,7	20,3	10	10	20
Лёд морской (- 25°С)	Соленость 5	6,7	7,8	2,5	12	17
	12	4,4	12,2	4,1	14	17
Базальт влажный		8	5,6		11	18
Бетон (500Мгц)	0	3,7	4,5	1,7	16	13
	5	5,5	19,3	9,2	13	15
	10	7,0	84	16000	11	18
Вода пресная		81	0,18	1,02	3,3	61
Вода морская		81	330	3,6-1016	1,5	133
Мерзлый суглинок	-	16	0,9	1,1	8	27
Известняк	0	8	0,5	1,06	11	19
	Влажный	8	14	5	11	19
Доломит		6,7	0,6	1,07	12	17
Тип	Влажность %	ε	Затухание Г [дБ/м]	Затухание [разы/м]	Скорость Vф [см/нс]	Задержка отраж. сигнала [нс/м]
Чернозем (Юг Липецкой обл.)	0	3,7	7	2,2	16	13
	5	6,2	17	7,1	12	17
	10	10	27	22,4	9	22
	15	14	36	63	8	26
	20	22	60	1000	6	32
Каменный уголь		4-6	1-5	1,1-1,8	15-12	13-17
Торф мокрый		62-69	3-10	1,4-3,2	4	50
Гранит влажный		5	0,6		13	15

Лабораторный способ определения влажности грунта, вещества:

$$\text{Влажность} = \frac{M - M_c}{M} \times 100\% ;$$

где M – исходная масса образца грунта,

M_c - масса сухого образца грунта.

Для высушивания образца лучше использовать электрическую сушилку или духовку.

7. Программно-аппаратный комплекс видеопаспортизации дорог "СВПД"

ДВК-05 является передвижной лабораторией, предназначенной для сбора комплексной информации о геометрических параметрах автомобильных дорог. Оборудование лаборатории конструктивно реализовано в виде модулей, автономно монтируемых на базовом транспортном средстве, что позволяет осуществлять гибкое конфигурирование комплекса в зависимости от решаемых задач.

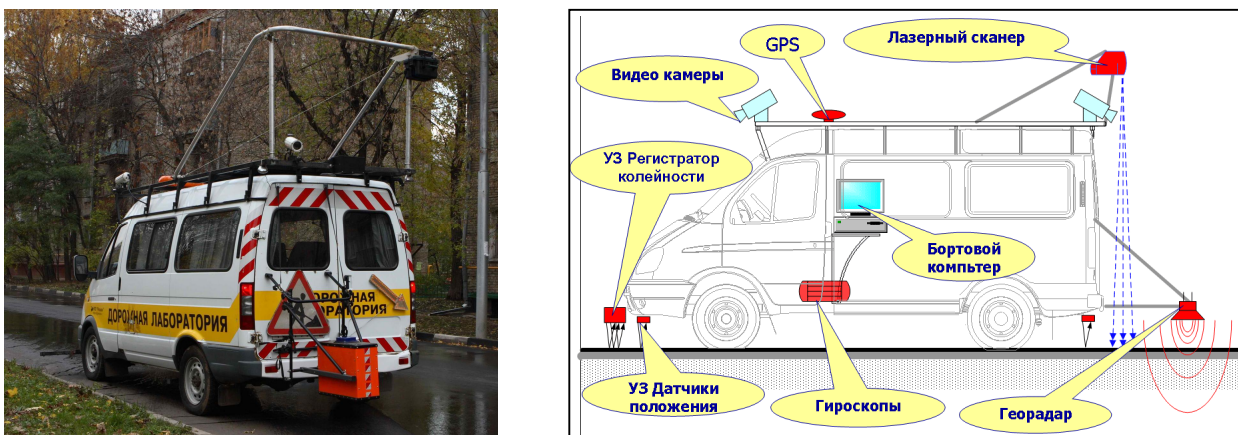
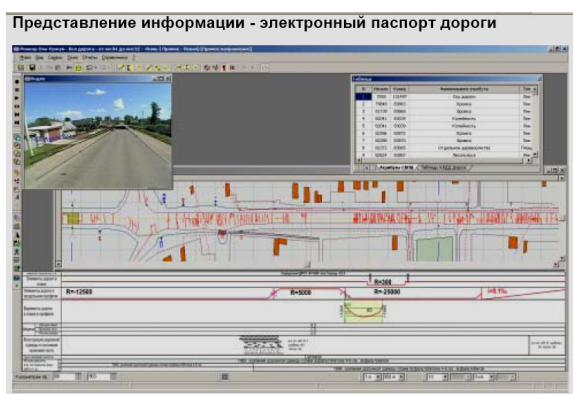
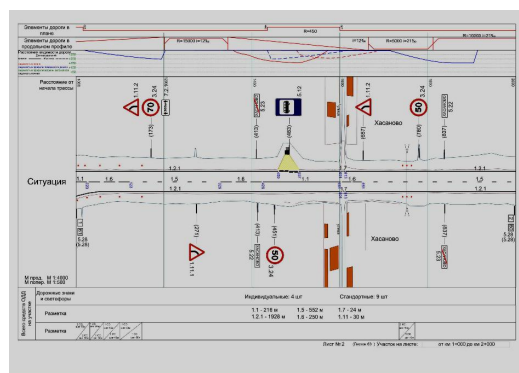


Рис.1 Программно – аппаратный комплекс видеопаспортизации дорог

Оборудование состоит из видео камер (до 4-х шт), безплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), приемника спутниковой системы навигации GPS, датчика пройденного пути, системы компенсации колебаний ТС на дороге, поперечного лазерного сканера и ультразвуковых датчиков регистрации поперечной и продольной ровности дороги.



Электронный паспорт дороги

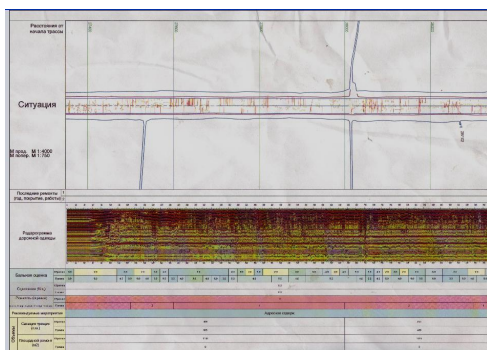


Окно с указанием элементов обустройства дорожного полотна

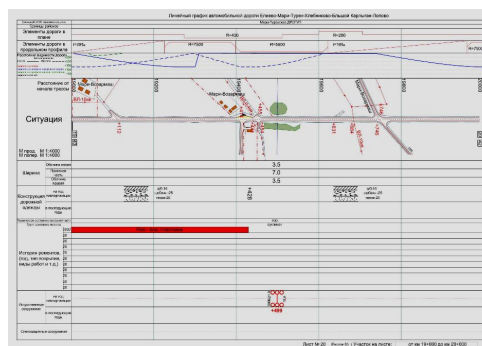
Регистрируемые параметры:

- цифровое видео (до 4-х синхронизированных каналов) формат MPEG - II (поток 1500-10000 Мбит/сек);
- пройденный путь;
- геометрия дороги, включая: радиусы кривых и углы поворота в плане, продольные и поперечные уклоны, радиусы выпуклых и вогнутых кривых;
- абсолютные координаты в мировой системе координат WGS -84, (средняя ошибка для кодового режима по широте + 5м, по долготе + 5м по высоте + 10-20м , для фазового дифференциального режима по широте + 0.1м, по долготе + 0.1м по высоте + 0.2м);
- колейность и поперечная ровность проезжей части;
- поперечные сечение полотна дороги;
- продольная ровность по методу продольного нивелирования на базе 5, 10 и 20м (ГОСТ 30412-96) или по шкале международного индекса ровности (IRI);
- строение дорожной одежды методом георадиолокационного сканирования (георадар «Око-2»).

Рабочая скорость лаборатории 40-80 км/ч. Обработка и получение результатов – возможна в реальном режиме времени.



Окно с указанием дефектов, деформации и разрушений дорожного полотна с отображением строения дорожной одежды по результатам георадарного сканирования



Окно с указанием дефектов, деформации и разрушений дорожного полотна

Обработка позволяет:

- Выполнять привязку объектов к существующему километражу, в том числе и в поперечном сечении дороги с точностью до 0.1 м;
- Визуально, с видеоматериала, осуществлять идентификацию дорожных объектов.
- Проводить высотную привязку дорожных объектов, в том числе определять габаритные размеры,

- Проводить измерения в системе мировых географических координат с возможностью экспорта в ГИС.
- Проводить измерения геометрических размеров любых дорожных объектов – точечных (дорожные знаки, рекламные щиты, опоры, сигнальные столбики и т.п.), линейных (трещины, дорожная разметка, ограждения, лесополосы и т.п.), плоскостных (выбоины, ямочный ремонт, проезжая часть, обочины, пешеходные дорожки и т.п.). Допускается произвольная ориентация дорожных объектов относительно точки видеосъемки.

В результате камеральной обработки формируется т.н. электронный паспорт дороги. Информация может быть представлена, как в стандартных формах (паспорта дорог, дислокации средств организации движения), так и в виде пользовательских ведомостей линейных схем, картограмм дефектов, электронных карт ГИС “Карта 2005”, ситуационных (топографических) планов дороги и придорожной полосы в масштабе 1:1000-1:500.

В процессе обработки видео информации автоматически формируется банк дорожных данных и заполняются таблицы дорожных объектов согласно требованиям нормативных документов, включая ОДН 218.0.006-2002. Кроме того, программное обеспечение, позволяет экспортировать данные в АБДД «Дорога».

Функциональные и точностные возможности лаборатории перекрывают требования к диагностике, паспортизации и инвентаризации дорог. Производительность, видео лаборатории составляет 8 – 10 тыс.км. в год, что на порядок превышает производительность существующих лабораторий и методов обследований дорог.

Являясь точным и высокопроизводительным измерительным инструментом, видео лаборатория позволяет вывести на новый качественный уровень практику обследований дорог, путем сопоставления результатов многолетних наблюдений, мониторинга дорог и дорожных объектов, анализа состояния дорог по методу «до и после», полного отказа от субъективных оценок.

Литература:

- 1) Владов М.Л., Старовойтов А.В. «Введение в георадиолокацию»
уч. Пособие, изд. МГУ, 2005
- 2) Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А.
«Радиолокация слоистых земных покровов», г. Москва «Сов. Радио» 1977г.
- 3) «Подповерхностная радиолокация» под редакцией М.И. Финкельштейна.
Москва «Радио и связь» 1994г.
- 4) Лещанский Ю.И., Лебедева Г.Н., Шумилин В.Д., Электрические параметры
песчаного и глинистого грунтов в диапазоне сантиметровых, дециметровых и
метровых волн. – «Изд. Вузов СССР. Сер. Радиофизика» 1971г., т.14, № 4, с.
562-569