

**Рекомендации по проведению  
георадиолокационных измерений для  
решения геологических задач**

**ООО «Логические системы»  
г. Раменское  
2008г.**

## Оглавление

Введение .....	3
1. Физические основы метода георадиолокации.....	3
2. Выбор типа антенного блока. ....	7
3. Аппаратурные настройки. ....	8
4. Обработка результатов измерений (работа в модуле обработки файлов программы GeoScan32) .....	15
4.1 Определение границы раздела слоев на радарограмме. ....	17
4.2 Обработка результатов полевых работ. ....	18
5. Интерпретация данных георадиолокации.....	22
5.1. Построение геолого-геофизического разреза.....	22
Приложение №1.....	24
Приложение №2.....	25
Приложение №3.....	26

## Введение

*Метод георадиолокации* отличается универсальностью, позволяющая использовать георадары для решения задач в геологии, транспортном строительстве, промышленном и гражданском строительстве, экологии, археологии, оборонной промышленности и т.д. В геологии георадары применяются для решения следующих задач:

1. картирование геологических структур – восстановление геометрии относительно протяженных границ, поверхности коренных пород под рыхлыми осадками, уровня грунтовых вод, границ между слоями с различной степенью водонасыщения, поиск месторождений строительных материалов;
2. определение свойств различных отложений по скорости распространения электромагнитных волн, опираясь на связь этих свойств с диэлектрической проницаемостью пород;
3. определение толщины ледяного покрова;
4. определение мощности водяного слоя и картирование поддонных отложений;
5. определение мощности зоны сезонного промерзания или оттаивания, картирование границ мерзлых и талых пород.

В промышленном и гражданском строительстве георадары применяются для определения толщины стен и межэтажных перекрытий, характера армирования (частота и глубина заложения арматуры), однородности буронабивных свай, обнаружения электропроводки и труб, проложенных в строительных конструкциях, обнаружения дефектов в строительных конструкциях.

В транспортном строительстве (автомобильные и железные дороги, аэродромы) георадиолокация зарекомендовала себя как эффективный метод для определения толщины конструктивных слоёв дорожной одежды и качества уплотнения дорожно-строительных материалов, содержания влаги в грунте земляного полотна и подстилающих грунтовых основаниях, эрозии грунтов и т.д.

### 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 талыми 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  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  - 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. 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:

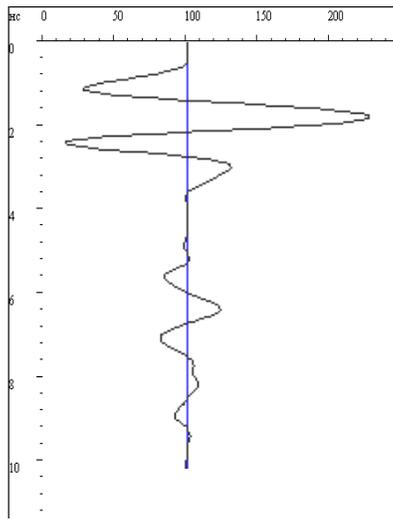
$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}},$$

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:

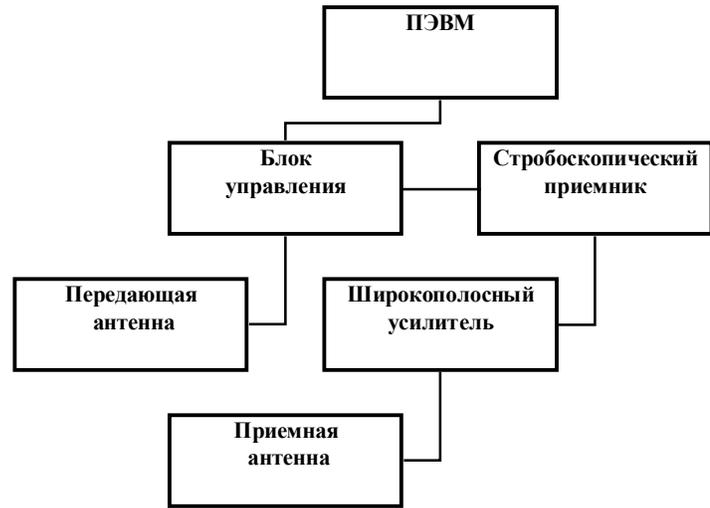
$$V = \frac{30}{\sqrt{\epsilon}} \left( \frac{\text{см}}{\text{нс}} \right).$$

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.

Георадиолокационное зондирование проводится с использованием аппаратных и программных средств, специальных приборов – георадаров. Для зондирования среды используются георадары непрерывного и импульсного действия. Блок-схема георадара импульсного типа приведена на рис. 1.2.



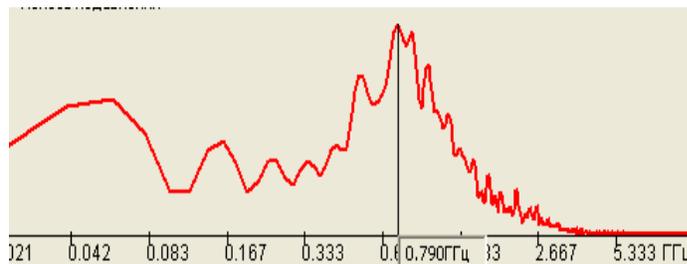
**Рис.1.1** Электромагнитный импульс



**Рис.1.2** Блок-схема георадара импульсного типа

Излучаемые в исследуемую среду короткие электромагнитные импульсы имеют 1,0—2,0 периода квазигармонического сигнала (рис. 1.1). Импульсы отражаются от находящихся в исследуемой среде предметов, элементов инженерных конструкций, границ раздела грунтов разного литологического состава, контактов сухого и влагонасыщенного грунта, мерзлого и талого грунта и т.п.

Малая временная длительность излучаемого импульса приводит к возникновению достаточно широкого частотного спектра излучения (рис.1.3). Центральная частота сигнала определяется свойствами антенн. Отраженные импульсы регистрируются приемной антенной и усиливаются в широкополосном усилителе (рис. 1.1). В процессе аппаратной обработки методом стробирования определяется время распространения



**Рис.1.3** Частотный спектр импульса представленного на Рис.2.1

в зондируемых средах сигнала, зарегистрированного приемной антенной. Фаза и величина напряжения, наведенного на входных цепях приемной антенны при регистрации сигнала, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и фиксируется в памяти компьютера в виде функции от времени, которая называется трассой (рис. 1.4А). Совокупность трасс вдоль профиля съемки образует волновую картину или радарограмму (Рис.1.4.Б).

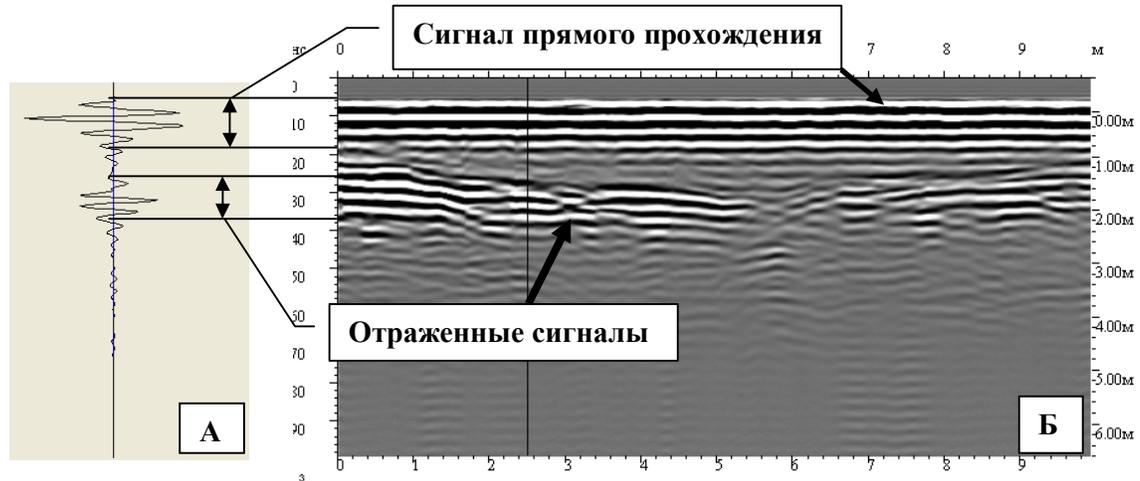
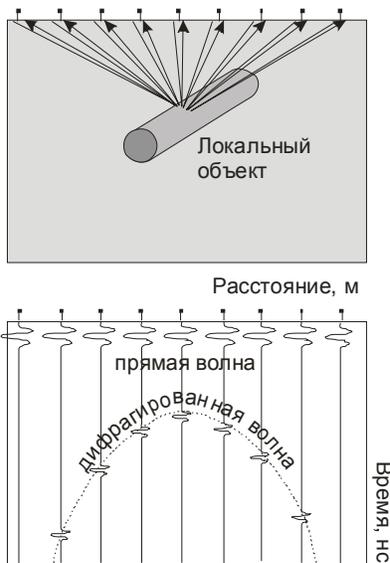


Рис. 1.4 Трасса (А) и волновая картинка (радарограмма) (Б)

Первое отражение на радарограмме называют **прямой волной** (сигналом прямого прохождения). Прямая волна в большинстве случаев одинаковая для всех трасс профиля. Она определяется конструкцией антенны и поверхностью профиля.

Прочие волны на радарограмме являются **отраженными** от каких либо слоев или локальных объектов в грунте (или другой среде исследования).



**Дифрагированная волна** образуется в результате явления дифракции.

.....  
 случае, если размер препятствия сравним или меньше длины волны в данной среде.

.....  
 пересекает в поперечном направлении вытянутые объекты, например, трубы, кабели, арматуру и т.д.

Дифракция на радарограмме проявляется в виде характерной гиперболы дифракции. Объект, от которого возникла дифрагированная волна, находится в точке, отвечающей вершине гиперболы (Рис.1.5)

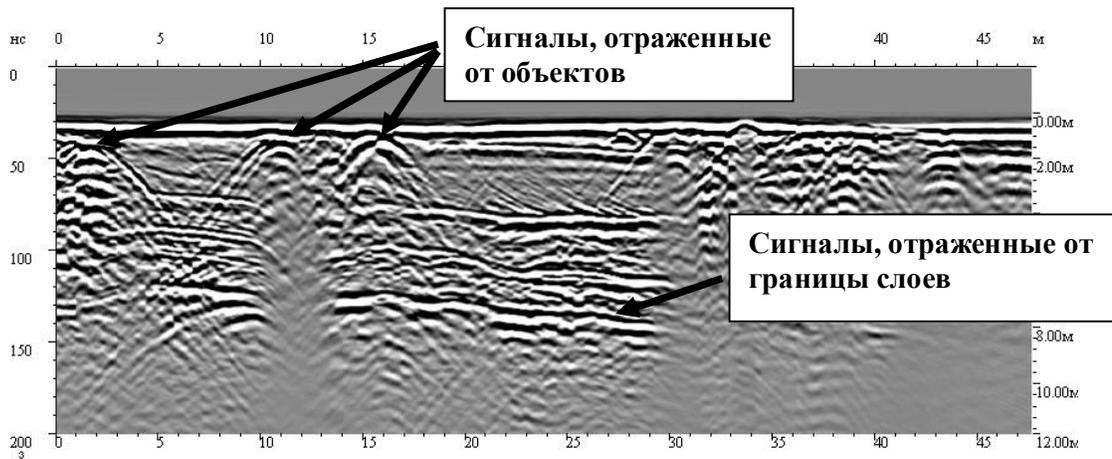


Рис.1.5 Радарограмма зондирования антенным блоком АБ-150

## 2. Выбор типа антенного блока.

ООО «Логические системы» производит 10 типов антенных блоков в составе георадаров «Око-2». Антенные блоки отличаются друг от друга излучаемой центральной несущей частотой, что определяет глубину зондирования и конструкцию антенного блока. Выпускаемые антенные блоки обеспечивают глубину зондирования от 1,5м (разрешении 3см) до ~20м (разрешение 50см). Значение разрешения антенных блоков указывается для максимальной глубины зондирования антенного блока. Исходя из необходимой глубины зондирования и задач, решаемых с помощью георадаров «Око-2», можно выделить три группы антенн для решения геологических задач:

1. антенные блоки с глубиной зондирования 16 - 20метров – АБД, АБДЛ «Тритон», АБ-90. Эти антенные блоки позволяют решить геологические задачи, связанные с уточнением границ пород различного литологического состава, выделением границ между материнскими и осадочными породами, определением уровня грунтовых вод. Выбор одного из этих антенных блоков иногда зависит от условий местности и рельефа, где будет производиться георадиолокационное обследование. Учитывая габариты антенных блоков АБД и АБ-90, данные антенные блоки удобно применять на открытых участках, на которых отсутствуют природные объекты, затрудняющие перемещение этих антенных блоков. Для обследования заболоченных, труднодоступных участков с густо растущими кустарниками и деревьями применяется антенный блок АБДЛ «Тритон». Гибкая конструкция и герметичность «Тритона» позволяют проводить георадарную съемку при переходе с суши на пресноводные водоемы, а так же допустимо обследование водоемов, как с поверхности воды, так и в заглубленном положении этого антенного блока.
2. антенные блоки с глубиной зондирования 10 - 15 метров – АБ-150. Применение этого антенного блока позволяет решить задачи связанные с определением толщины ледяного покрова, определением мощности водяного слоя и картированием поддонных отложений, определением

мощности зоны сезонного промерзания или оттаивания, картированием границ мерзлых и талых пород, картированием геологических структур. Разборная конструкция АБ-150 позволяет проводить зондирование в режиме годографа, что обеспечивает в полевых условиях расчет диэлектрической проницаемости для выделенного слоя. Разборная конструкция так же позволяет устанавливать антенный блок на дне надувных резиновых лодок при обследовании георадарным методом пресноводных водоемов.

3. антенные блоки с глубиной зондирования 5 - 10 метров – АБ-400, АБ-250. Применение этих антенных блоков позволяет определить мощность верхнего почвенного слоя, выделить границы техногенных слоев, обнаруживать зоны трещенатости в горных выработках, определять толщины ледяного покрова. Разборная конструкция АБ-250 позволяет проводить зондирование в режиме годографа, что обеспечивает в полевых условиях расчет диэлектрической проницаемости для выделенного слоя.

### **3. Аппаратурные настройки.**

Программа GeoScan32 осуществляет управление работой георадаров «Око-2», а также предназначена для последующей математической обработки и наглядной визуализации получаемой в процессе зондирования информации. Файл помощи и всплывающие подсказки облегчают работу с программой GeoScan32. Программа GeoScan32 предоставляет возможность сохранять на диске и внедрять в документы MS Word получаемые пользователем изображения разреза исследуемой среды. Программа GeoScan32 записывает сопроводительную информацию, делая возможным составление обширных архивов данных подповерхностного зондирования. Программа GeoScan32 состоит из четырех модулей, обеспечивающих режим сканирования георадаров, режим обработки полученной информации, режим послойной обработки радарограмм с полуавтоматической прокладкой границ слоев исследуемой среды, режим построения 3D модели исследуемых объектов.

Под аппаратурными настройками антенных блоков подразумевается правильность установки параметров записи в измерительном модуле программы GeoScan32. Значения этих параметров изменяются в окне «Параметры измерений» (Рис.3.1), открываемом одноименной кнопкой или клавишей <P>. Некоторые из параметров продублированы в окне модуля измерений. Подробное описание этих параметров см. в п. 3.4 «Руководства пользователя программой GeoScan32». Ниже приведено краткое описание и разъяснения по каждому параметру, а так же в Приложении №2 представлена таблица, в которой указаны параметры, рекомендуемые специалистами предприятия-изготовителя, для персонала, испытывающего затруднения в начале эксплуатации георадаров семейства «Око-2».

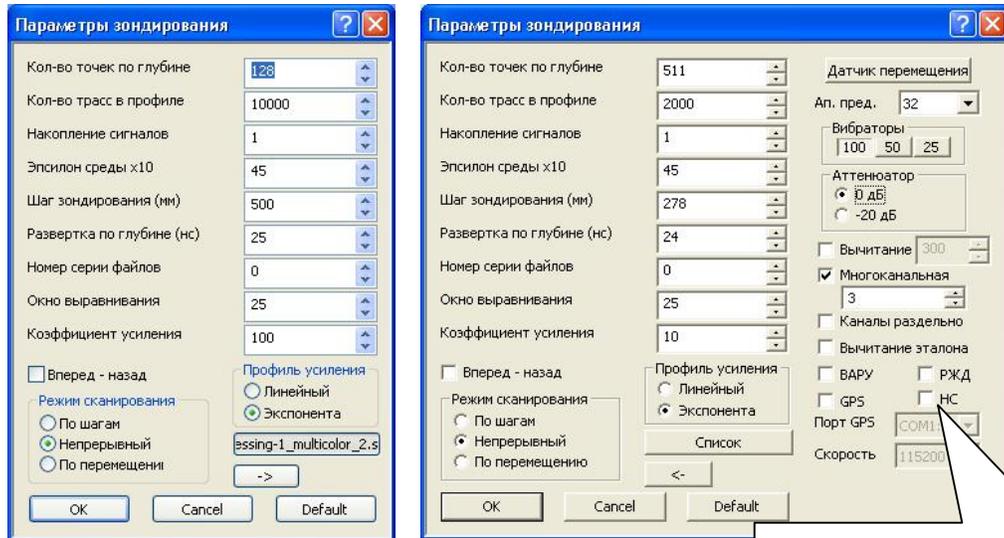


Рисунок 3.1 Параметры измерений

Окно активизации непрерывного режима сохранения файлов

Пояснения значения и выбора параметров зондирования антенными блоками георадаров «Око-2»:

1. «Количество точек по глубине»

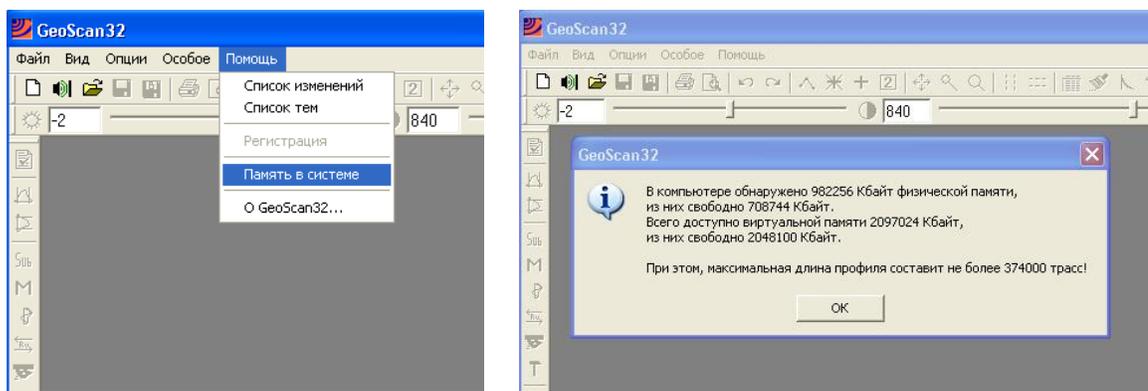
§ 512 точек - максимальное значение параметра, которое практически выставляется во всех режимах зондирования;

§ 256 точек по глубине выставляется обычно на первой временной развертке антенного блока при решении задач связанных с подробным зондированием геологического разреза среды в верхней его части;

2. «Шаг вдоль по трассе, мм». Данный параметр устанавливает шаг между точками зондирования вдоль по профилю. Оптимальный шаг между точками зондирования для каждого антенного блока приведен в таблице в Приложении №2. Значение этого параметра можно произвольно увеличивать для повышения скорости сканирования, при превышении более чем в два раза относительно рекомендуемых значений появляется возможность пропусков локальных объектов между двумя точками зондирования.

3.«Количество трасс в профиле». Значение этого параметра определяет количество трасс в профиле. Как правило, выбор количества трасс в профиле определяется протяженностью зондируемого участка и выбранным шагом между трассами. Такой подход характерен при выборе этого параметра для обследуемых участков протяженностью от 10м до нескольких десятков метров. В случае зондирования участков протяженностью от нескольких десятков метров до нескольких сотен необходимо в меню «Параметры зондирования» активизировать опцию «НС» (непрерывное сохранение). При такой настройке сохранение файлов будет происходить автоматически, при этом количество трасс в каждом файле сохраняемой серии, необходимо подобрать таким, чтобы

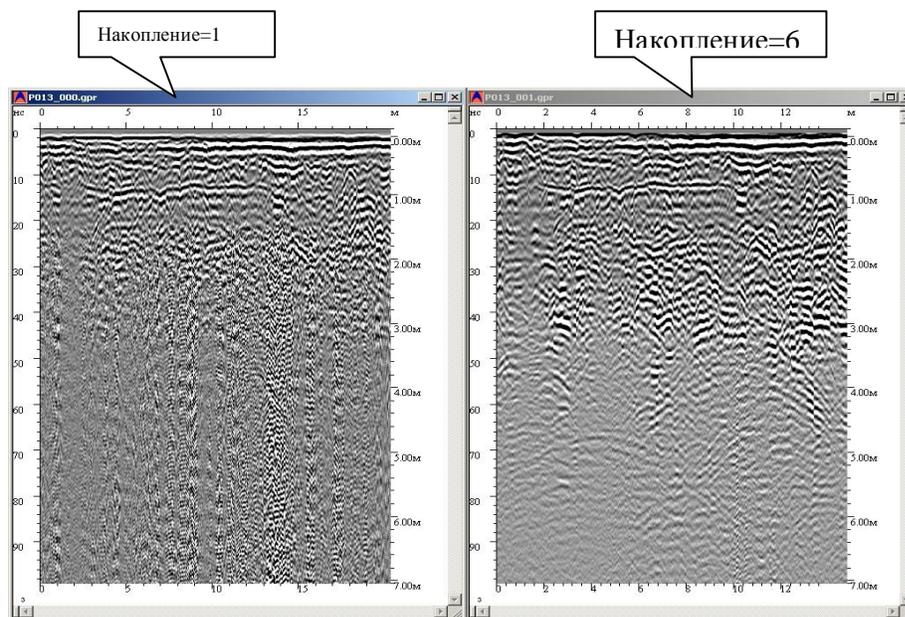
каждый файл был удобен для дальнейшей обработки. Так, например, без режима непрерывного сохранения, при шаге между трассами равном 10см и протяженности сканируемого участка 1000м, будет получен файл, содержащий 10000 трасс. Дальнейшая обработка этого файла весьма трудоемка и неудобна при визуализации на экране монитора. При выборе режима непрерывного сохранения, задав, например 2000 трасс в каждом файле, будет получена группа из 5 файлов и дальнейшая работа с каждым файлом будет более удобной. В случае необходимости, применив опцию «Собрать» из меню «Правка», файлы из сохраненной серии можно сгруппировать либо в один, либо несколько файлов. Чтобы определить максимально допустимое количество трасс в создаваемом файле на Вашем компьютере, необходимо в главном меню программы GeoScan32 активизировать меню «Помощь» и выбрать опцию «Память в системе». На экране отобразится окно, содержащее информацию о состоянии физической, виртуальной памяти и допустимой максимальной длине файла в трассах в программе GeoScan32 (Рис. 3.2)



**Рис3.2. Опция «Память в системе» в меню «Помощь»**

4.«Накопление». Определяет количество повторного приема каждой трассы с последующим их суммированием. Увеличение данного параметра позволяет выявлять более слабые сигналы, увеличивает реальную глубину зондирования и улучшает качество изображения, но при этом замедляется рекомендуемая скорость перемещения антенного блока во время записи профиля.

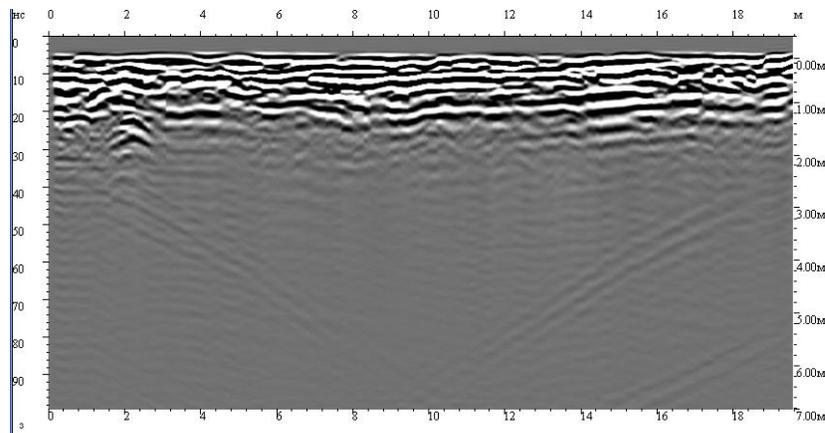
На рисунке ниже представлены радарограммы, записанные георадаром «ОКО» с АБ-700. На радарограмме слева, вследствие малого накопления сигнала, заметна «рябь», маскирующая полезные сигналы небольшой амплитуды. На радарограмме справа подобный эффект отсутствует вследствие увеличенного значения накопления. Видно также заметное увеличение реальной глубины зондирования.



**Рисунок 3.3 Сравнение радарограмм, отсканированных с различными накоплениями.**

5. «Эпсилон среды  $\times 10$ ». При записи профиля устанавливается приближенное значение диэлектрической проницаемости, исходя из априорной информации о составе зондируемой среды (в постобработке данный параметр определяется более точно). Таблица с основными электрическими параметрами пород и почв приведена в Приложении №1.

6. «Развёртка по глубине». Данный параметр устанавливает временной диапазон записи трасс зондируемого профиля по глубине и изменяется ступенчато (первая ступень развёртки является самой малой). Для выбора развёртки следует сделать пробный проход по профилю и просмотреть записанную радарограмму. Если в нижней части радарограммы отсутствует область шумов (часть полезных сигналов осталась вне диапазона записи по глубине), следует перейти к большей ступени развёртки (см. Рис.3.4).



**Рис. 3.4** Радарограмма сканирования АБ-400 на временной развертке 100нс. Полезные отраженные сигналы расположены в области до 30нс. Сканирование необходимо было проводить на развертке 50нс

7. «Коэффициент усиления». Выбрать профиль усиления (линейный или экспонента). Значение этого параметра характеризует коэффициент усиления к концу принимаемого временного интервала и сказывается только на отображении информации (на записанную информацию никакого влияния не оказывает). При нажатой кнопке «Усиление», располагающейся в окне модуля измерений, программа использует заданный пользователем под кнопкой коэффициент усиления. При отжатой кнопке или при коэффициенте усиления равном нулю используется режим автоматического выравнивания амплитуд, позволяющий радикально увеличить контрастность изображения вплоть до больших глубин. Размер окна выравнивания амплитуд влияет на «скорость» регулировки и задается на панели «Параметры измерений». Выравнивание сигналов производится в скользящем окне заданного размера до максимальной амплитуды сигналов.

8. Режим ослабления сигналов (кнопки группы «Аттенюатор»). Данный режим работает только с АБД, АБДЛ, АБ-90, АБ-150 и АБ-250. По умолчанию нажата кнопка «0 дБ», так как в подавляющем большинстве случаев принимаемый сигнал ослаблять не нужно. Если принимаемые сигналы искажаются вследствие больших амплитуд (имеют не синусоидальный, а прямоугольный вид на осциллограмме в левой части окна модуля измерений), следует нажать кнопку «-20 дБ».

10. Режимы зондирования – по перемещению, непрерывный, по шагам.

Режим «По перемещению». Зондирование в режиме «по перемещению» проводится в тех случаях, когда возможно работать с датчиками перемещения. Если поверхность профиля достаточно ровная, то можно использовать датчик перемещения с колесом (ДП-32) или автомобильный датчик перемещения

(ДПА). Если поверхность профиля неровная, но длина профилей небольшая (до 50 м), то можно использовать измеритель пути (ИП). Датчики перемещения сконструированы для точной привязки результатов георадиолокации к местности, а также для увеличения производительности, обеспечения равномерности записи и комфорта работы.

Датчик перемещения измеряет пройденный путь. Результаты измерения он передает в антенный блок. Пока датчиком не зафиксировано движение, георадиолокационная запись не ведется. При работе с датчиком перемещения между соседними трассами сохраняется равное расстояние, заданное оператором. Это необходимо для последующей обработки данных. При использовании данного режима, следует выбрать датчик перемещения и его параметры, открыв окно «Параметры датчика перемещения» (Рисунок 3.5). В режиме «По перемещению» менее интересные участки можно проходить с большей скоростью, не превышая рекомендуемую, а на **интересных участках двигаться медленнее. При этом автоматически увеличивается накопление, что может увеличить глубину исследований.**

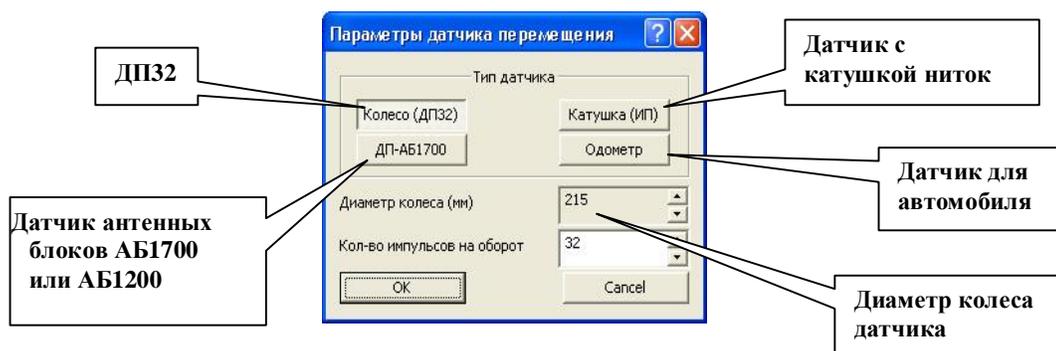


Рисунок 3.5 Окно выбора датчика перемещения

Режим «Непрерывный» выбирается для пробного зондирования профиля, или когда невозможно применение датчика перемещения. Использование режима непрерывной съемки георадарного профиля при наличии работающего датчика перемещений позволяет получить георадарный профиль с большими подробностями, так как темп записи поступающих от георадара трасс ограничивается только назначенным накоплением. Чтобы профиль, записанный в этом режиме, отображался, не искажая горизонтальных пропорций, необходимо установить после открытия файла в главном окне программы GeoScan32 опцию «Учет положения» в меню «Вид».

Режим «По шагам» следует выбирать либо для зондирования профиля с большими накоплениями, когда на обработку одной трассы требуется значительное время и работа с датчиком перемещения невозможна, либо при зондировании труднодоступных участков, когда перемещение антенного блока затруднено из-за сложного рельефа местности. При этом режиме на текущей точке профиля записывается одна трасса, затем антенный блок перемещается

на нужное расстояние, отмеряемое по рулетке или с помощью датчика перемещения с колесом, где записывается следующая трасса профиля и т.д.

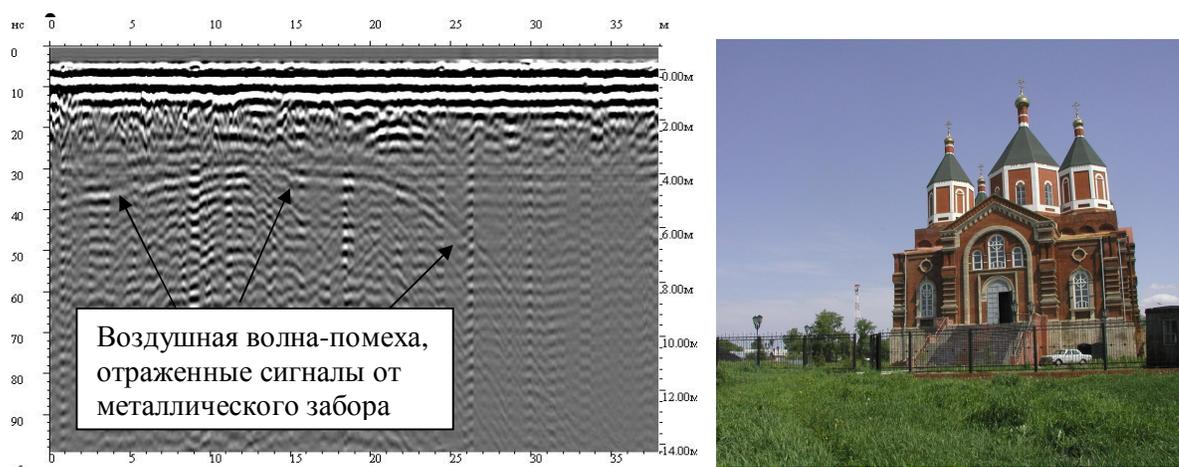
Режим «Вперед-назад». Для площадных съемок рекомендуется использовать режим серии профилей, когда устанавливается фиксированное расстояние между последующими профилями. При этом нажмите кнопку «Вперед-назад», чтобы можно было ходить «змейкой». Программа автоматически при сохранении на диске каждого четного профиля будет его зеркально отражать.

12. Аппаратный предел. Значение параметра Ап. пред. означает, что если в окне «Накопление измерений» установлено значение меньше, чем значение параметра Ап. пред., то накопление будет реализовано только на аппаратном уровне. Если значение в окне «Накопление измерений» больше, чем установлено в Ап. пред., то результирующим накоплением будет являться произведение аппаратного накопления на программное, причём программа сама выбирает оптимальное соотношение аппаратного и программного накопления.

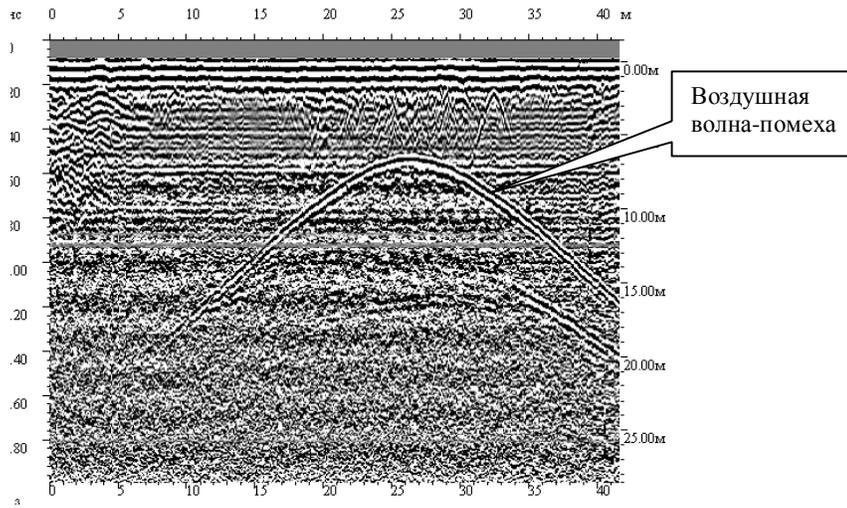
#### 4. Обработка результатов измерений (работа в модуле обработки файлов программы GeoScan32) .

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. Анализ радарограмм начинается с выделения осей синфазности отраженных волн, которые не связаны с наличием реальных границ в разрезе, а являются волнами-помехами. Волны-помехи можно разделить на два основных типа:

- **воздушные отражения**, образование которых связано с отражением от объектов, находящихся над поверхностью земли (деревья, столбы, линии электропередачи). В случае если такая помеха присутствует на радарограмме в виде гиперболы либо одной ветви гиперболы, то необходимо воспользоваться процедурой «Уклон» из меню «Опции». Для этого нужно навести курсор на верхнюю часть наклонной линии, нажать левую клавишу мыши и, не отпуская её, переместить курсор на нижнюю часть наклонной линии. В левом нижнем углу экрана появится значение скорости электромагнитной волны в данной среде. Если значение скорости превысит 30 см/нс, значит на радарограмме записалось отражение от объекта на поверхности земли. Если отраженная волна-помеха на радарограмме выглядит в виде протяженной оси синфазности, необходимо открыть окно «Свойства профиля» и в строке «Эпсилон» выставить значение диэлектрической проницаемости воздуха ( $\epsilon = 1,0$ ). На радарограмме по шкале глубин определить расстояние до отраженного сигнала-помехи, т. е. до предполагаемого источника отраженной волны-помехи. Если полученное значение совпадает с расстоянием до объекта на местности, где проводилась зондирование, то этот наземный объект можно рассматривать как источник воздушной волны-помехи.



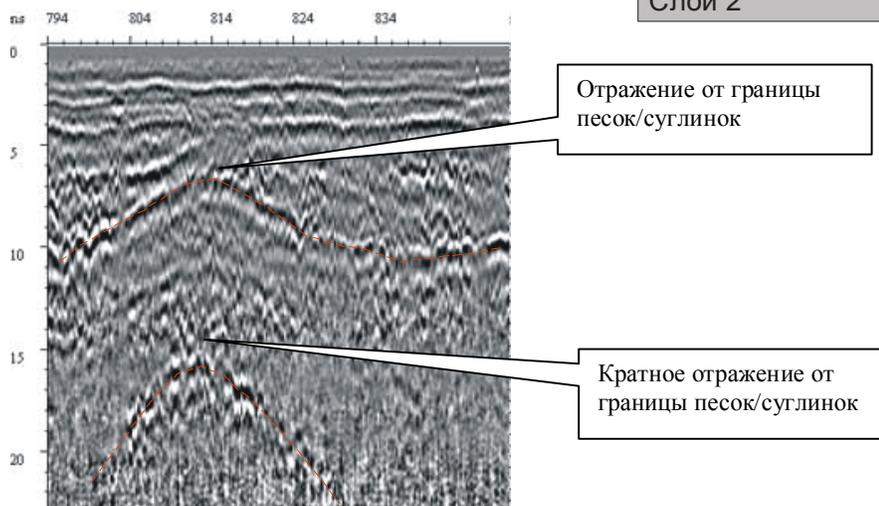
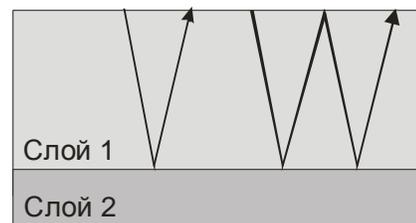
**Рис.4.1** Зондирование антенным блоком АБ-150 проводилось в открытом поле на расстоянии 4-5 метров от металлического забора, ограждающего храм. Оператор с антенным блоком перемещался сначала параллельно забору, а за тем удалялся от него.



**Рис.4.2** Радарограмма зондирование АБ-400  
**Отраженные сигналы-помехи от деревянного столба с проводами**

**кратные и неполнократные отражения.** Чаще всего волны-помехи такого типа возникают при зондировании георадарами пресных водоемов, когда на радарограммах присутствует «сильная» переотражающая граница. Наиболее часто границами, на которых образуются кратные и неполнократные волны при зондировании на суше, являются кровли коренных пород и уровень грунтовых вод. Кратные волны могут перекрывать полезные отражения, кроме того, сами кратные отражения можно принять за реальные отражающие границы.

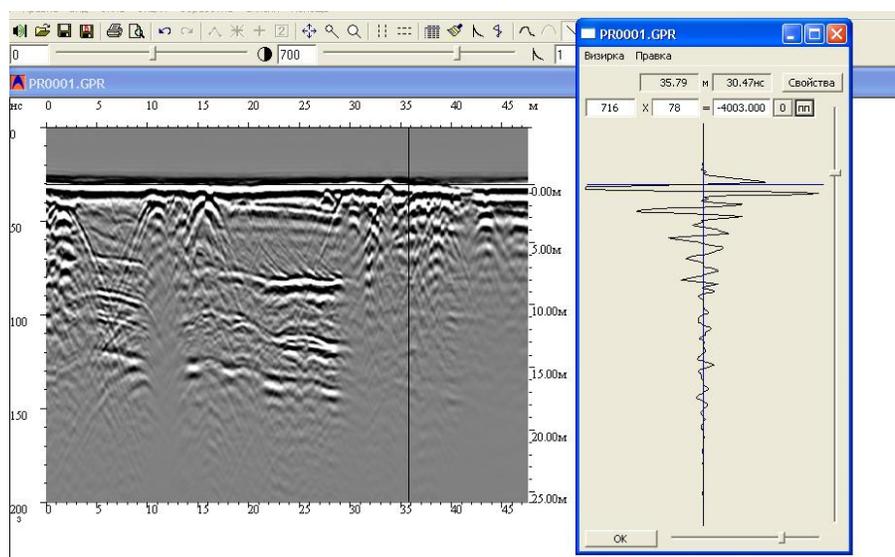
Одно- и двухкратное отражение



С помощью математических процедур при обработке сигналов по возможности ослабляются или удаляются с записи волны-помехи, а полезные подчеркиваются. Для каждого слоя георадиолокационного профиля определяются значения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и скорости распространения волн ( $V$ , см/нс). По этим параметрам осуществляется переход от временных разрезов к глубинным. На этом этапе привлекается вся имеющаяся априорная информация, а так же результаты контрольного бурения с описанием керна. После этого на радарограмме выделяются слои и объекты, строится геологическая модель исследуемого разреза.

#### 4.1 Определение границы раздела слоев на радарограмме.

На радарограмме границы раздела слоев 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.4.3). На первом этапе необходимо определить положение границы между воздухом и поверхностью земли, т.е. определить положение начала шкалы глубин обрабатываемой радарограммы.



**Рис.4.3. Определение начала шкалы глубин  
Радарограмма зондирования АБ-150**

Для определения положения нулевого значения шкалы глубин нужно в режиме обработки программы GeoScan32 вызвать окно “визирка” клавишей <пробел> или кнопкой . В окне “визирка” отобразится амплитудно-временная характеристика трассы. Ползком вертикальной прокрутки или

кнопками ▲▼ установить горизонтальную визирку на точку перехода отрицательной полуволны прямого сигнала в положительную полуволну (Рис.4.3). Эта точка и будет соответствовать положению нулевого значения шкалы глубин.

Для определения положения границ раздела сред нужно в режиме обработки программы GeoScan32 вызвать окно “визирка”, 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 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.

## 4.2 Обработка результатов полевых работ.

Целью обработки георадиолокационных данных является выделение полезных сигналов (отраженных сигналов от искомых объектов) на фоне других сигналов (сигнала прямого прохождения, сигналов-помех, шумов и т.д.).

Существует целый ряд процедур, позволяющих распознать, удалить или ослабить влияние «неполезных» волн. Эти процедуры используются в программе «GeoScan32» для обработки георадиолокационных данных. Все примеры, используемые в данной главе, обработаны в программе «GeoScan32».

1. **Усиление сигнала и подбор контрастности изображения.** В некоторых случаях на радарограмме недостаточно четко просматриваются отраженных сигналов от объектов, от границ слоев. Для улучшения визуального отображения отраженных сигналов на радарограмме в программе GeoScan32 предусмотрены две опции: изменение профиля усиления и подбор контрастности и яркости изображения. Подбор контрастности и яркости осуществляется перемещением движков контрастность и яркость в меню обработки радарограмм (см. Рис. 4.5.)

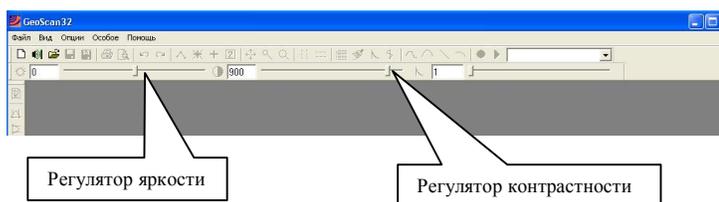


Рис. 4.5. Регуляторы яркости и контрастности

Иногда попытки добиться наглядного отображения отраженного сигнала регуляторами яркости и контрастности оказываются недостаточными. В этих случаях необходимо воспользоваться опцией «Изменение профиля усиления». Для этого необходимо нажать функциональную кнопку в меню обработки файлов программы GeoScan32, откроется окно «Изменение профиля усиления» (см. Рис.4.6)

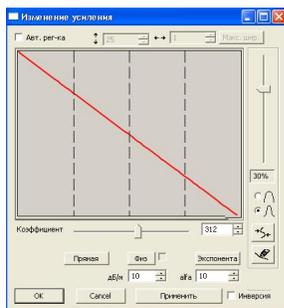
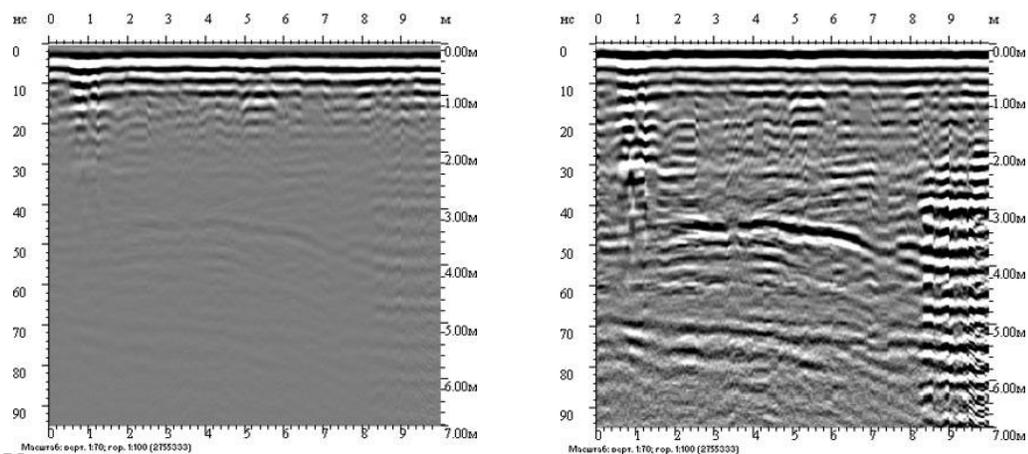


Рис. 4.6 Окно опции «Изменение профиля «усиления»

Пример применения функции усиления и подбора контрастности приведен на Рис.4.7. Съемка произведена антенным блоком АБ-400. Режим съемки – по шагам.



Усиление экспоненциальное ( $\kappa=1000$ ), контрастность – 300;300  
На радарограмме практически не выделяются отражающие границы

Усиление – АРУ( $\kappa=0$ ), контрастность 300;300. На радарограмме выделяются отражающие границы в нижней части разреза

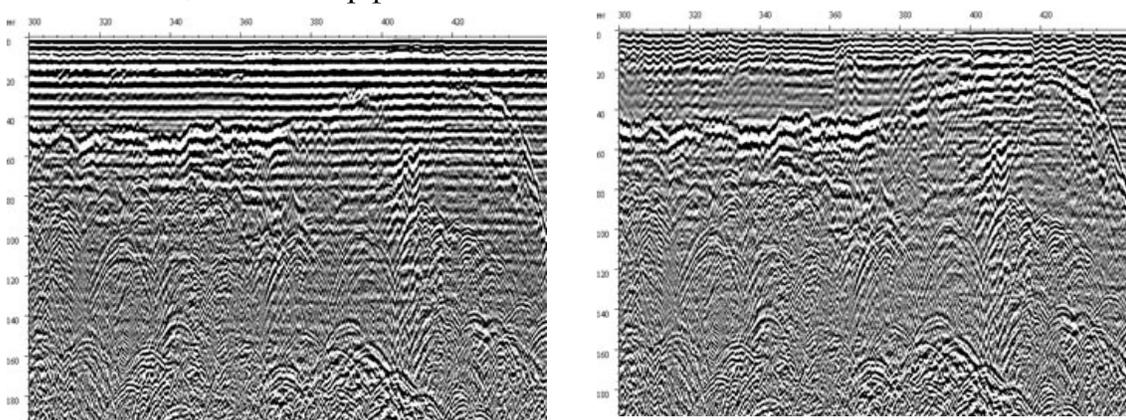
Рис. 4.7

**2. Вычитание среднего.** Применяется в тех случаях, когда искомые объекты находятся близко к поверхности или радарограмма осложнена постоянной горизонтальной помехой. Процедура вычитания среднего реализуется посредством вычитания из каждой трассы исходной радарограммы некоторой средней трассы (например, вычисленной среднеарифметической трассы).

Процедура применяется при отсутствии горизонтальных нижележащих границ. В противном случае отражения от полезных границ будут удалены с записи вместе с помехой.

Примеры правильного использования процедуры вычитания среднего представлен на Рис.4.8. Съемка произведена антенным блоком **АБ-250**. Режим съемки – по перемещению.

На исходной радарограмме в верхней части разреза присутствует постоянная горизонтальная помеха, которая затрудняет выделение отражающих границ. В результате применения процедуры вычитания среднего стало возможным проследить верхнюю границу мерзлых пород и нижележащий слой торфа.

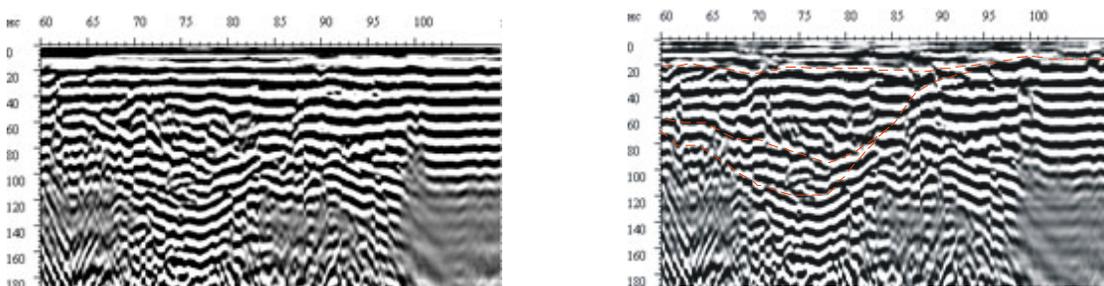


Радарограмма до вычитания среднего

Радарограмма после вычитания среднего

Рис. 4.8

На Рис.4.9 представлены результаты сканирования антенным блоком **АБ-90**. Режим съемки – по перемещению. На исходной радарограмме прямая волна частично перекрывает верхнюю отражающую границу пахотного слоя и часть наклонной границы линзы песка. В результате применения процедуры вычитания среднего стало возможным проследить все отражающие границы.



Радарограмма до вычитания среднего

Радарограмма после вычитания среднего

Рис. 4.9

На Рис 4.10 представлен пример неправильного использования процедуры вычитания среднего. Съемка произведена антенным блоком АБ-400. Режим съемки – по шагам.

Нижняя отражающая граница на исходной радарограмме по своей форме близка к горизонтальной. В результате применения процедуры вычитания среднего вместе с помехами с записи почти полностью удалена полезная отражающая граница (Рис. 4.10).

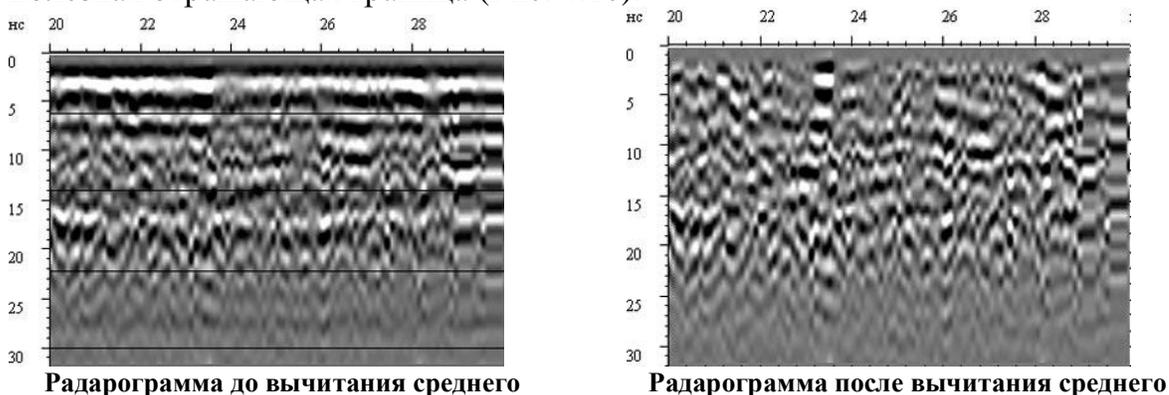


Рис. 4.10

**3.Частотная фильтрация.** Частотная фильтрация применяется при наличии на радарограммах высоко- или низкочастотных помех. Параметры фильтра выбираются исходя из спектра сигнала

Частотная фильтрация применяется в тех случаях, когда спектры «полезного» и помехи не перекрываются или перекрываются лишь частично. В этом случае частотная фильтрация позволяет ослабить помеху практически без искажения сигнала. Если же частотные диапазоны помехи и полезного сигнала перекрываются, процедура частотной фильтрации не приведет к какому либо видимому результату.

Пример использования процедуры частотной фильтрации представлен на Рис. 4.11. Съемка произведена антенным блоком АБ-400. Режим съемки – по шагам.

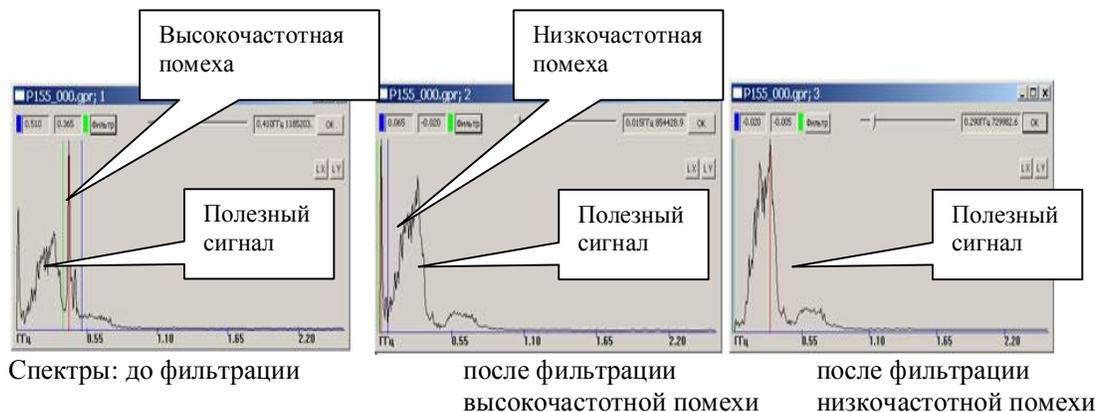
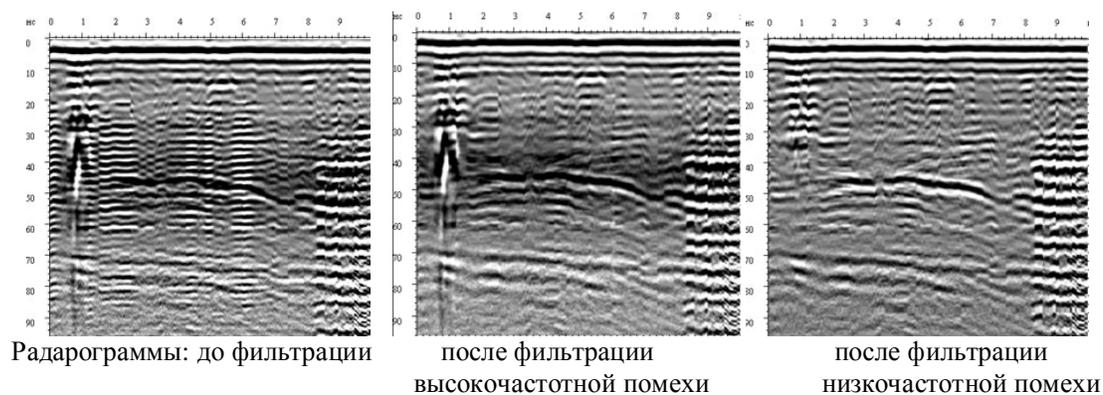


Рис.11



**Рис.12**

Исходная радарограмма содержит низкочастотную и высокочастотную помехи. Это ухудшает качество радарограммы и частично затрудняет выделение отражающих границ. В результате применения процедуры частотной фильтрации помехи убраны с записи.

## **5. Интерпретация данных георадиолокации.**

Цель интерпретации георадиолокационных данных – получение максимально полной информации о строении и свойствах объекта исследования, выраженная 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.

Дальнейшая интерпретация направлена на выделение конкретных объектов или прослеживание границ слоев. На основании всей предварительной информации об объекте определяется состав и электрические свойства слоев.

Заключительным этапом интерпретации является построение итоговых схем и разрезов с привязками в пространстве и по глубине.

### **5.1. Построение геолого-геофизического разреза.**

На радарограмме в режиме послойной обработки в программе GeoScan 32 проводятся границы, соответствующие слоям на профиле.

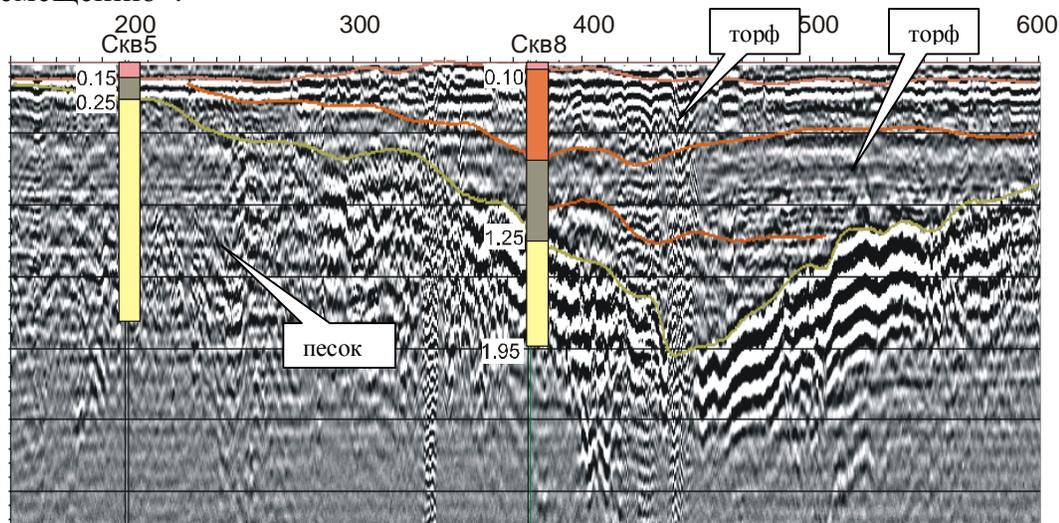
В соответствии с имеющимися скважинами рассчитывается скорость электромагнитной волны в точках профиля, отвечающих положению скважин. Расчет производится по формуле:

$$v = \frac{2 \cdot H}{t}$$
 где  $H$  – толщина слоя (см),  $t$  – время прихода отраженной волны (нс). Затем для каждого слоя рассчитывается значение диэлектрической

проницаемости слоя по формуле:  $\varepsilon = \left(\frac{30}{V}\right)^2$ , где  $V$  – скорость электромагнитной волны в слое. Полученные значения учитываются в послойной обработке в программе GeoScan 32, и автоматически производится пересчет временной шкалы в глубинную.

### **Пример построения геолого-геофизического разреза.**

Работы выполнены с целью выявления в геологическом разрезе торфосодержащих отложений с продуктивной мощностью слоя не менее 1м. Съемка произведена с антенным блоком АБ-250 в режиме «поперемещению».



Интерпретация основана на данных скважин. В результате интерпретации выделены следующие слои.

Первый слой (оранжевая граница) – почвенный (суглинок с корнями растений). Диэлектрическая проницаемость, рассчитанная в соответствии с вышесказанным, равна 7, что соответствует данным породам в зимнее время года.

Второй слой (красная граница) – торф. Диэлектрическая проницаемость, рассчитанная в соответствии с вышесказанным, равна 45. Внутри слоя выделена внутренняя граница.

Третий слой (желтая граница) – подстилающие породы, преимущественно песок и супесь. Диэлектрическая проницаемость 7-12, что вполне характерно для влажного песка и супеси.

## Приложение №1

Антенные блоки, применяемые при решении геологических задач георадиолокационным методом.

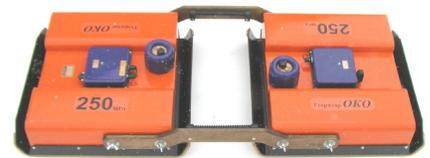
### Антенный блок АБ-400

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



### Антенный блок АБ-150

Экранированный разборный антенный блок.  
Центральная частота 150 МГц.  
Глубина зондирования 12 м.  
Разрешающая способность 0,35 м.  
Габариты (в собранном виде) 1600x620x170 (мм).  
Масса (в собранном виде) 18 кг.  
Потребляемая мощность 7,0 Вт.



### Антенный блок АБ-90

Экранированный разборный антенный блок.  
Центральная частота 90 МГц.  
Глубина зондирования 16 м.  
Разрешающая способность 0,5 м.  
Габариты (в собранном виде) 2220x1000x270 (мм).  
Масса (в собранном виде) 37 кг.  
Потребляемая мощность 8,0 Вт.



### Антенный блок АБД

Неэкранированный антенный блок.  
Центральная частота 50-100 МГц.  
Глубина зондирования до 20 м.  
Разрешающая способность от 0,5 м до 2,0 м.  
Сменные дипольные излучатели от 50 МГц до 100 МГц.  
Масса 6 кг.  
Потребляемая мощность 8,0 Вт.



### Антенный блок АБДЛ - Тритон

Неэкранированный антенный блок.  
Дипольные излучатели 50, 100 МГц,  
Глубина зондирования до 20 м.  
Разрешающая способность от 0,5 м до 2,0 м.  
Линейное, складное, герметичное исполнение.  
Возможность работы под водой и на  
пересеченной местности.  
Диаметр аппаратной части 95 мм.  
Масса от 6 до 8 кг.  
Общая длина от 3 до 7 м.  
Потребляемая мощность 8,0 Вт.



## Приложение №2

### Рекомендуемые значения параметров измерений

	АБД/АБДЛ	АБ-90	АБ-150	АБ-250	АБ-400
Шаг между трассами, мм	400		300	200	100
Развертка	200 – 400				100-200
Количество трасс	65000				
Количество точек	511				
Усиление	10-40				

### Приложение №3

#### Основные электрические характеристики почв и пород

Наиболее важными параметрами, характеризующими возможности применения метода георадиолокации в различных средах, являются удельное затухание ( $\Gamma$  [дб/м]) и скорость распространения электромагнитных волн в среде, которые определяются ее электрическими свойствами. Первый из них определяет глубинность 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,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды.

- коэффициент удельного затухания  $\Gamma$  [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.

Тип	Влажность %	$\epsilon$	Затухание Г [дБ/м]	Затухание [разы/м]	Скорость Vф [см/нс]	Задержка отраж. сигнала [нс/м]
Пески разно- зернистые	0	3.2	0,05	$\approx 1$	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°C)		3.3	0,01-0,5	1-1,07	17	18
Лёд морской (- 15°C)	Соленость 5	8,1	20,0	10	10	20
	12	7,7	20,3	10	10	20
Лёд морской (- 25°C)	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 %	$\epsilon$	Загухание Г [дб/м]	Загухание [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.