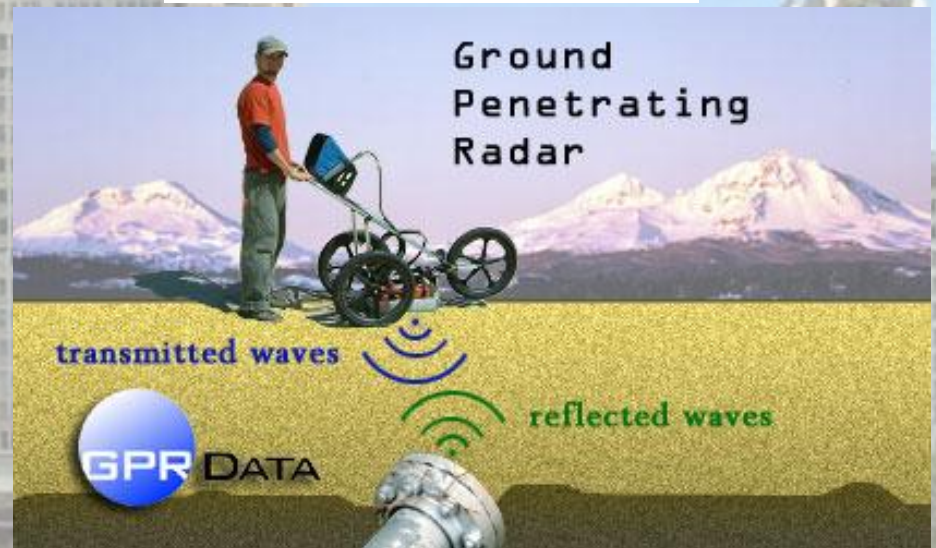
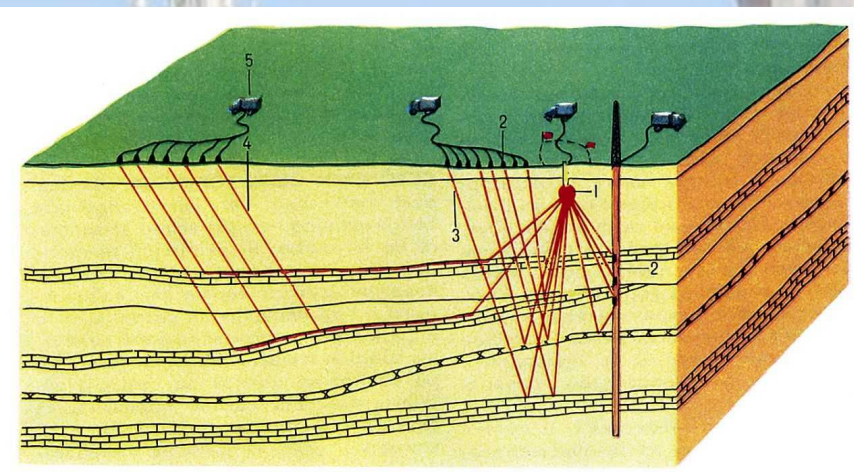
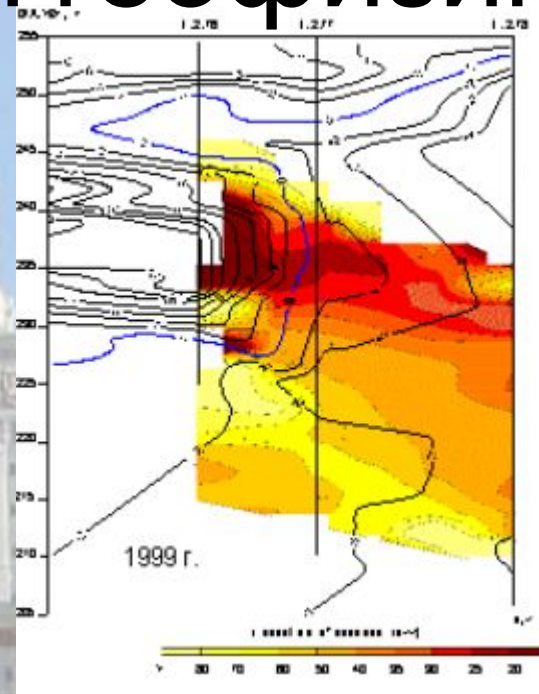


Волновые методы геофизики (георадиолокация и сейсморазведка)

Волновые методы геофизики

- Радиоволновое просвечивание
- Сейсморазведка
- Георадиолокация



Георадиолокация

- Метод георадиолокации относится к группе электромагнитных методов, то есть изучает отклик среды на излучаемое электромагнитное поле. Метод работает в диапазоне частот от 50 МГц до 3 000 МГц (3 ГГц).

□ СЕЙСМОРАЗВЕДКА

- упругие волны (уравнения движения)
- длина волны
- затухание
- разрешающая способность

□ ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯ

- электромагнитные волны (уравнения Максвелла)
- длина волны
- затухание
- разрешающая способность

- единство структуры данных
- единство кинематических моделей среды
- решение прямых задач – вычисление сверточной модели трассы
- единый подход в обработке

2 Модели

- Исследователь работает в рамках двух моделей – **модели реальной среды** и **модели способа распространения физического поля (теории)** в модели реальной среды.
- Наиболее ярким подтверждением высказанного тезиса служит книга Л.М. Бреховских «Волны в слоистых средах». Уже в названии содержится указание на две эти модели.
- Вопрос о степени соответствия или адекватности той и другой модели – реальности.
- Любой метод будет работать для ограниченного набора ситуаций – и при том с погрешностью!
- Бесконечно разнообразная и изменяющаяся реальная среда - набор типизированных ситуаций, то есть моделей.
- Ряд упрощений и допущений.
- При решении задач с помощью системы уравнений стараются с помощью записи граничных условий свести эту систему к решаемой тем или иным способом, например, к системе из n уравнений с n неизвестными.
- Даже самые сложные модели сред и самые сложные теории распространения физических полей в них являются существенными упрощениями реальности.



Надо: построить 2 модели и установить связи между ними.

- 1) решать прямую задачу
- 2) решать обратную задачу

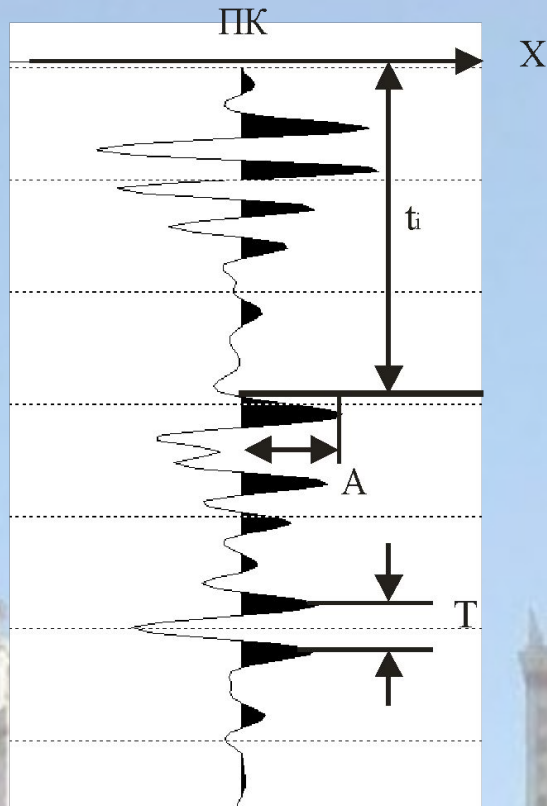
Обратные задачи геофизики **НЕкорректны** в смысле Адамара.

Условия Адамара: существование и единственность решения.

Вместе с тем хорошо известно о третьем условии корректности по Адамару в отношении **непрерывной зависимости решения от данных задачи.**

Какие условия не выполняются и как?

Колебания и волны

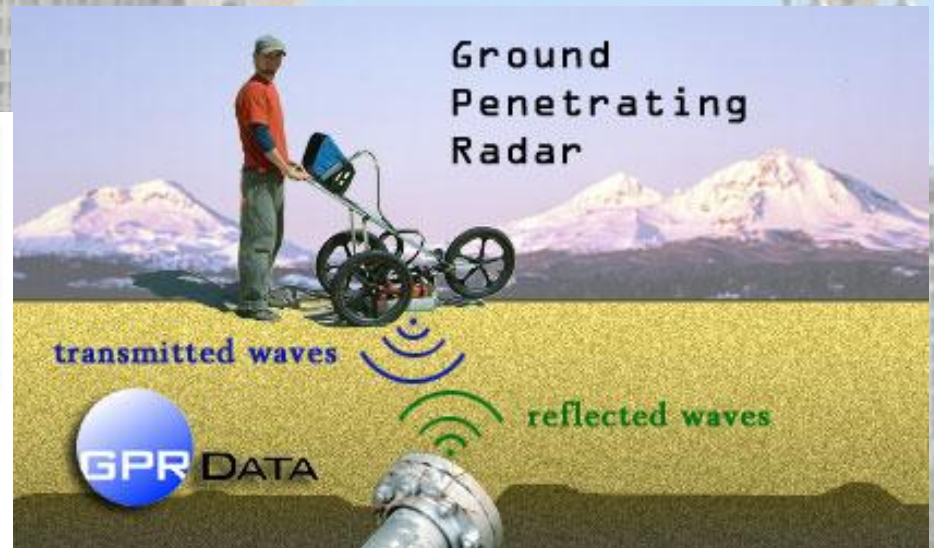
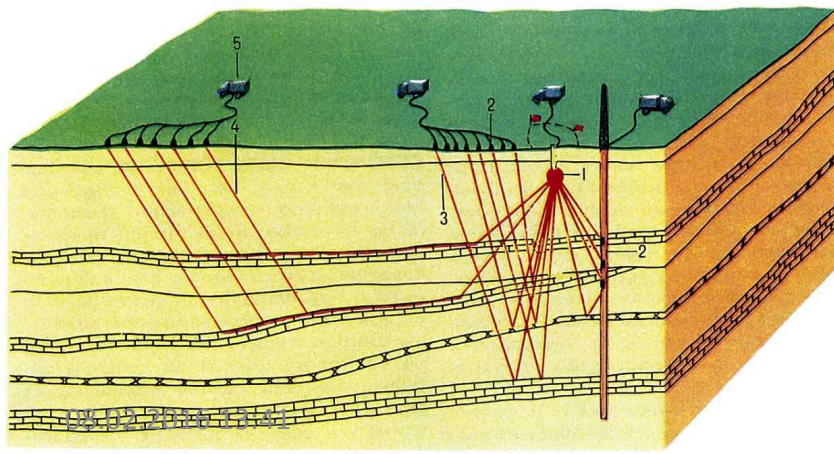


t_i - время прихода отраженного сигнала;

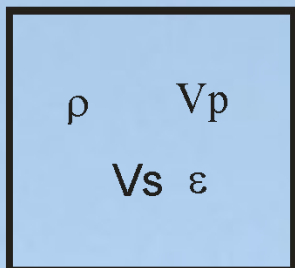
A- амплитуда отраженного сигнала;

T – видимый период сигнала, соответствующий $1/f$, где f – центральная частота спектра сигнала.

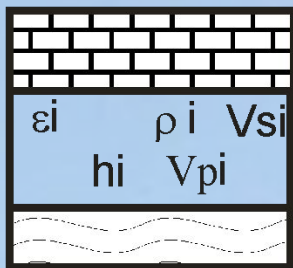
$A_i - A_{i-1}$ - затухание георадиолокационного сигнала в слое, где A_i и A_{i-1} сигналы, отраженные от кровли и подошвы i -того слоя.



Единство кинематических моделей среды.

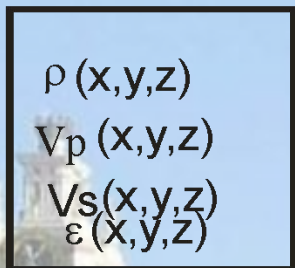


а

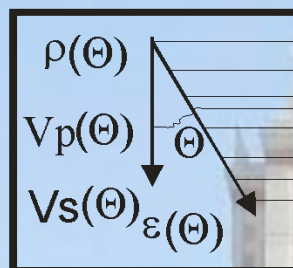


б

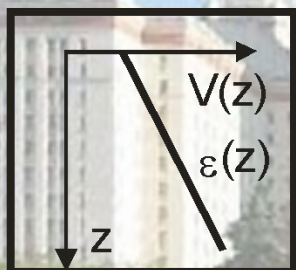
Какие это модели?



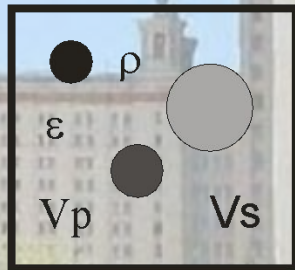
в



г

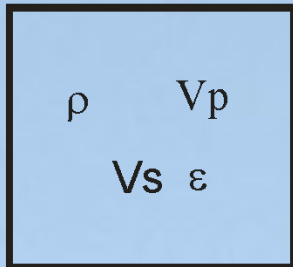


д

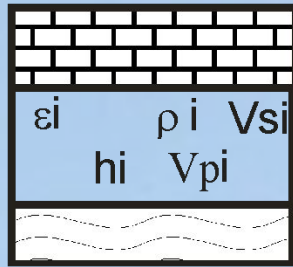


е

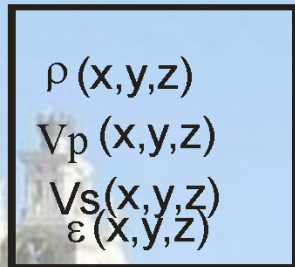
Единство кинематических моделей среды.



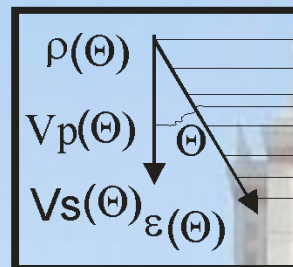
а



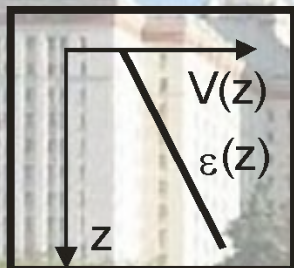
б



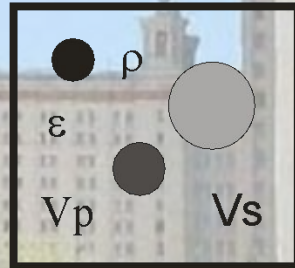
в



г



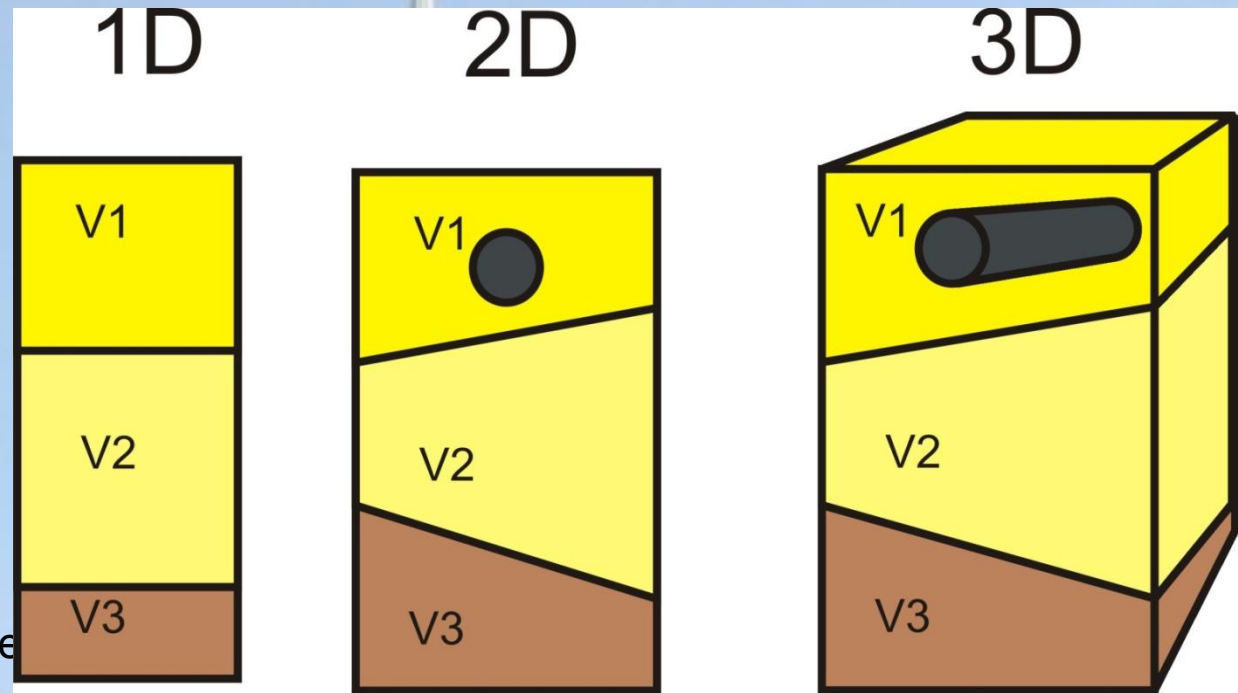
д



е

а-однородная среда;
б-однородно-слоистая среда;
в-непрерывная среда;
г-трансверсально-изотропная среда с мощностями слоев, меньшими преобладающей в зондирующем сигнале длины волны λ ;
д-пример часто используемой в сейсморазведке модели одномерно-неоднородной или градиентной среды;
е-однородная среда с локальными неоднородностями.

Электрофизическая модель среды.



Представляется в виде

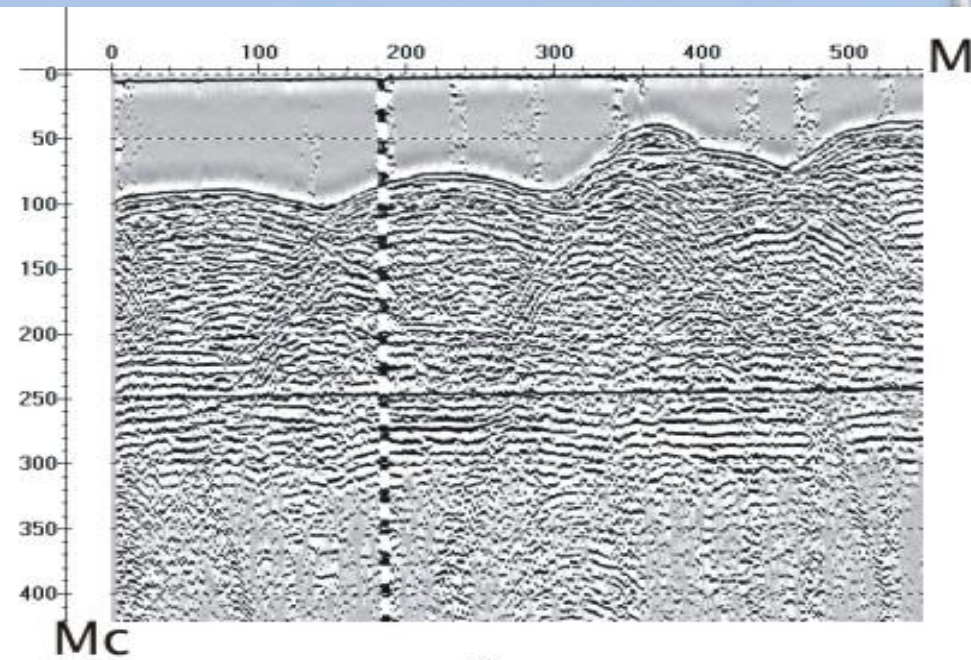
а) **слоистой толщи** с постоянными электрофизическими свойствами внутри каждого слоя.

При этом, границы между слоями могут иметь произвольную форму.

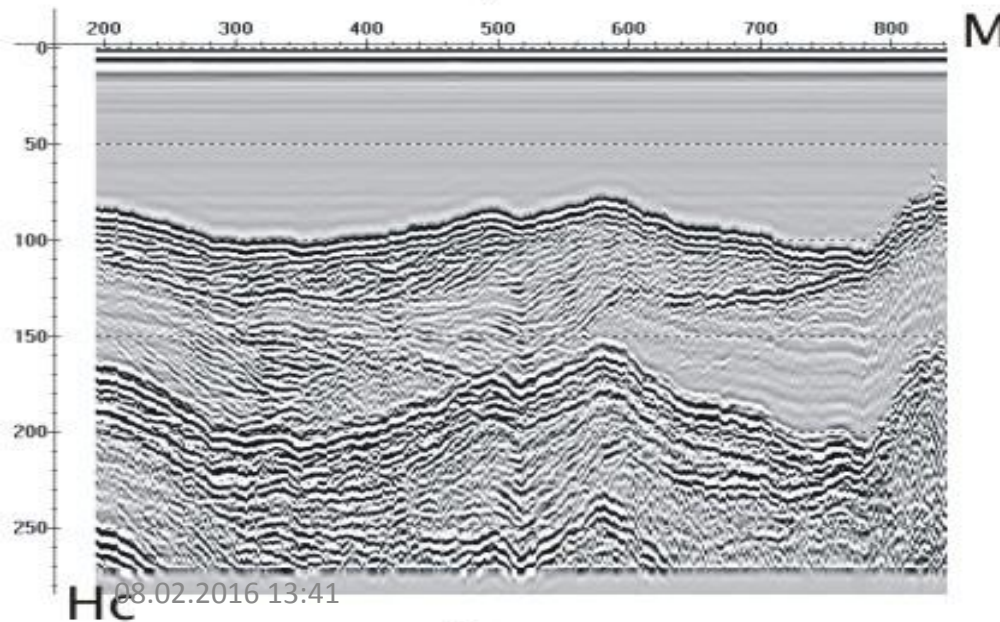
б) **локальных объектов**, отличающихся по электрофизическим свойствам от вмещающей однородной среды. **Мерой** размеров этих объектов служит длина электромагнитной волны. В зависимости от того, больше или меньше размеры объекта, чем длина волны, рассматриваются варианты образования волнового поля.

в) комбинация предыдущих моделей среды – **локальные объекты внутри однородно-слоистой толщи**.

Единство структуры данных

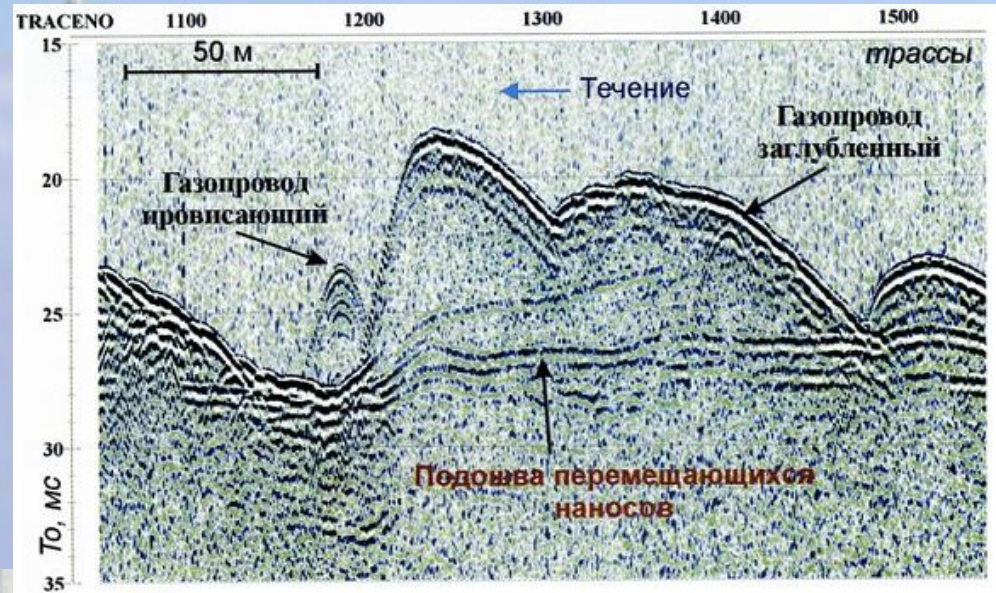


A)



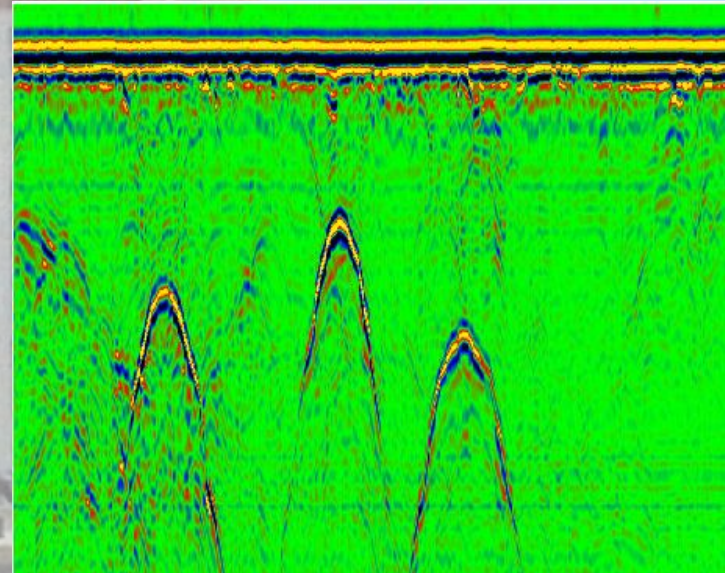
Б)

Результаты геофизических исследований с движущегося судна на акваториях:
А) методом сейсмоакустики на р. Волга;
Б) методом георадиолокации на р. Чикапа (Республика Конго).



Трубы (дифракция)

Где с/р где г/р?



Единый подход к решению прямых задач.

Уравнение Гамильтона: (1)

$$(\partial t / \partial x)^2 + (\partial t / \partial y)^2 + (\partial t / \partial z)^2 = 1 / v^2(x, y, z). \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad \nabla^2 \mathbf{E} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

$$\text{totр.} = 2 \Sigma (h_i / v_i);$$

(2)

$$A_h = A_0 K_j \text{отр.} (1 - K_j^2 \text{отр.}) e^{-m^2 h} / 2h, \quad (3)$$

где произведение $(1 - K_j^2 \text{отр.})$ учитывает потери интенсивности волны при прохождении границ, предшествующих находящейся на глубине h , экспоненциальный множитель $e^{-m^2 h}$ учитывает затухание в среде, а $1/2h$ – уменьшение амплитуды за счет сферического расхождения фронта волны.

Эти формулы действуют независимо от физической природы поля

$$K_{\text{отр.}} = (\epsilon_1^{1/2} - \epsilon_2^{1/2}) / (\epsilon_1^{1/2} + \epsilon_2^{1/2}), \quad (4)$$

где ϵ_1 и ϵ_2 – диэлектрические проницаемости сред выше и ниже границы соответственно, а в сейсмике

$$K_{\text{отр.}} = (\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1), \quad (5)$$

где произведения значений плотности на значение скорости распространения упругих волн $\rho_1 v_1$ и $\rho_2 v_2$ – акустические жесткости верхней и нижней среды соответственно.

Свёрточная модель трассы. Моделирование.

$$f(t) = f_0(t) * g(t), \quad (6)$$

где трассы $f(t)$ – результата единичного акта “посылка-прием”,

$f_0(t)$ – зондирующий сигнал, а $g(t)$ – импульсная характеристика среды.

Или в спектральной области:

$$S(j\omega) = S_0(j\omega)K(j\omega), \quad (7)$$

где $S(j\omega)$ - спектр трассы,

$S_0(j\omega)$ – спектр зондирующего сигнала, а $K(j\omega)$ – частотная характеристика среды.

При этом, $g(t)$ или $K(j\omega)$ рассчитываются по заданной модели среды.

Из этого следует одинаковая обработка данных

RADEXPLORER

Обрабатываемые процедуры:

Удаление постоянной

составляющей

Смещение нуля времени

Редакция трасс

Пространственная интерполяция

Подавление "звона" антенны

Двумерная фильтрация

Коррекция амплитуд

Предсказывающая деконволюция

Полосовая фильтрация

F-K Миграция Столта

Мгновенная амплитуда

(преобразование Гильберта)

Учет рельефа

GeoScan32.

Обработка		Списки	Помощь
I	Вычитание среднего		Ctrl+Shift+S
I	Медианный фильтр		Ctrl+Shift+M
I	Гор. мед.фильтр		
I	Удаление тренда		Ctrl+Shift+T
I	Коррекция инверсии		
I	Реверсировать		Ctrl+Shift+R
I	Выравнивание		
<hr/>			
II	Выделение огибающей		Ctrl+Shift+A
II	Горизонтальный фильтр		Ctrl+Shift+H
II	Полосовой фильтр		Ctrl+Shift+F
II	Поле спектров		Ctrl+Shift+E
II	Синтез апертуры		Ctrl+Shift+U
II	Обратный фильтр		Ctrl+Shift+O
II	Деконволюция		Ctrl+Shift+D
<hr/>			
III	Сглаживание		Ctrl+Shift+L
III	Выделить контура		Ctrl+Shift+K
<hr/>			
Доп. обработка			▶

Интерпретация результатов

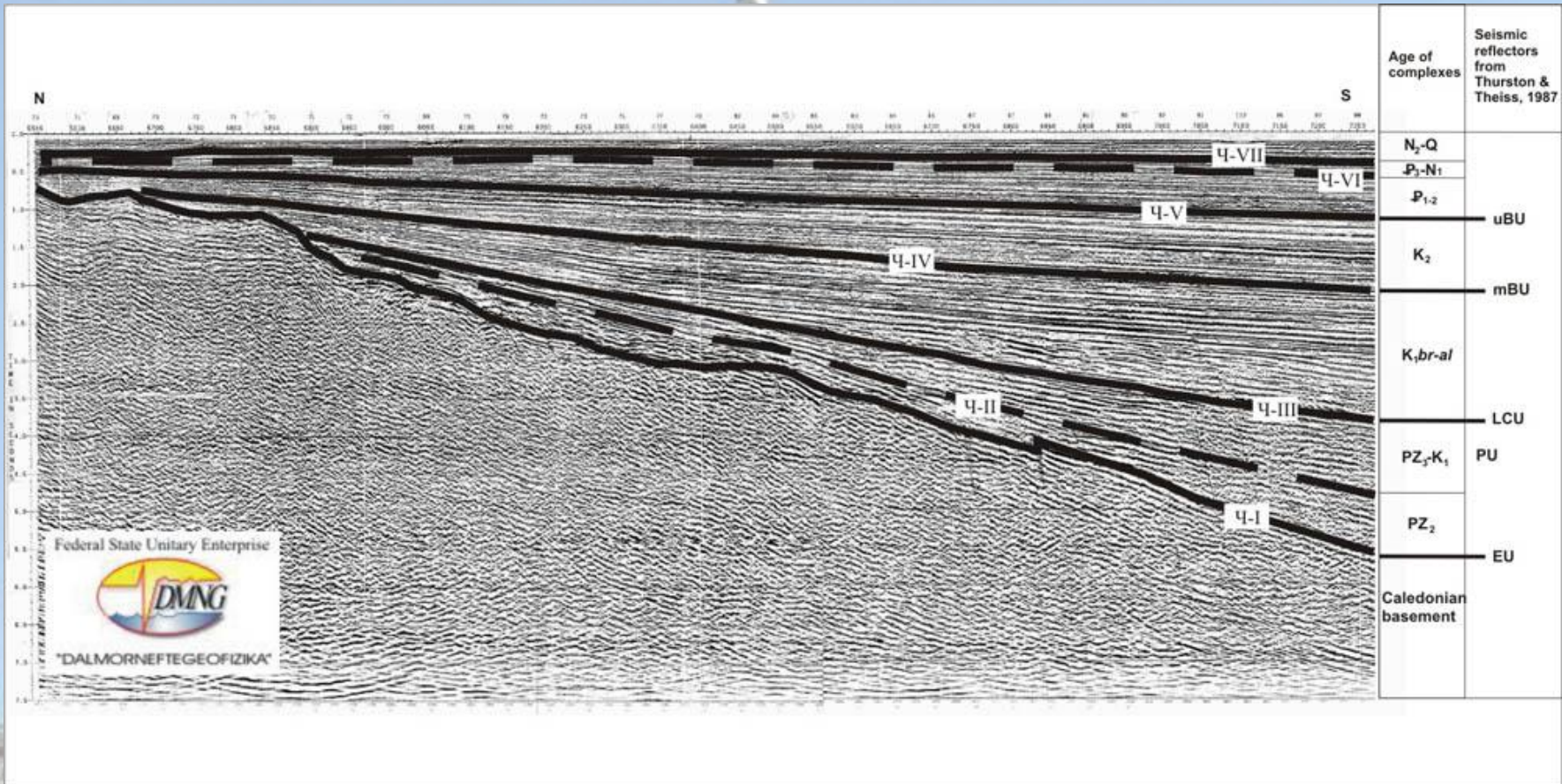
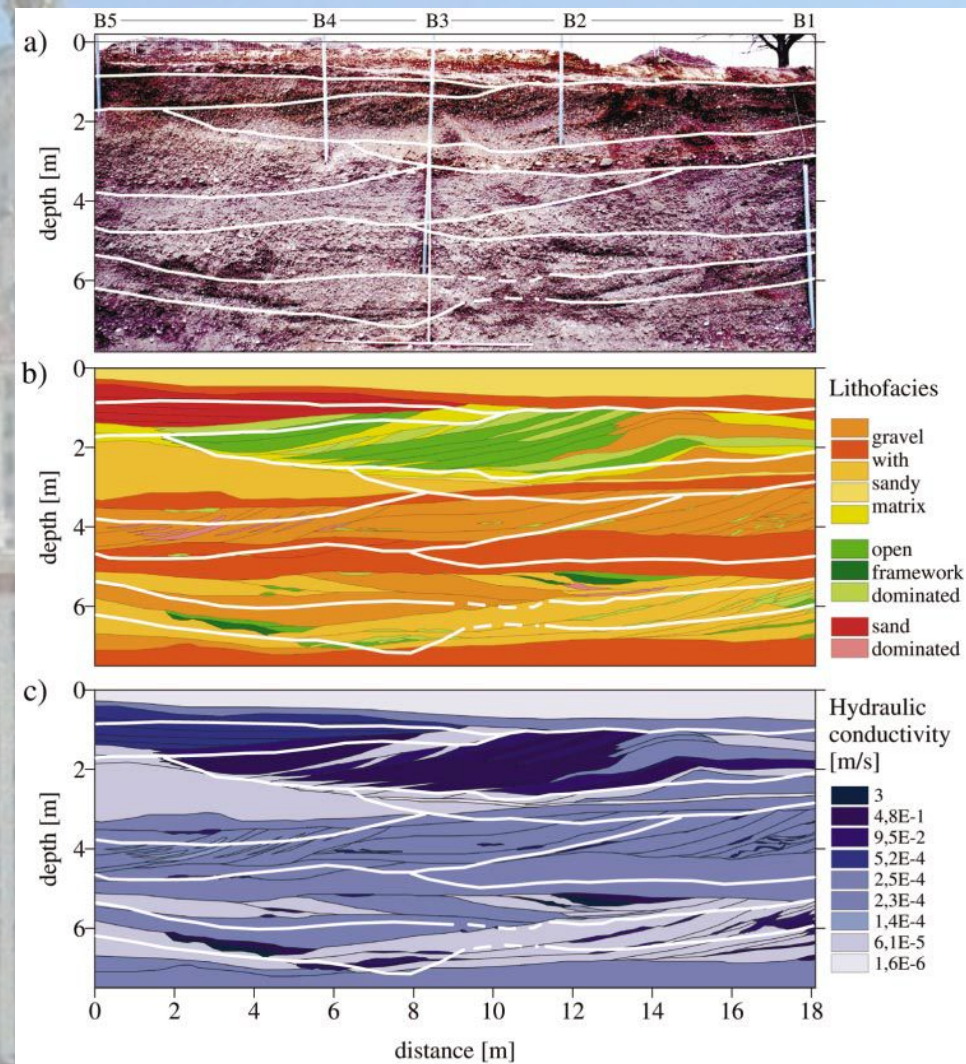
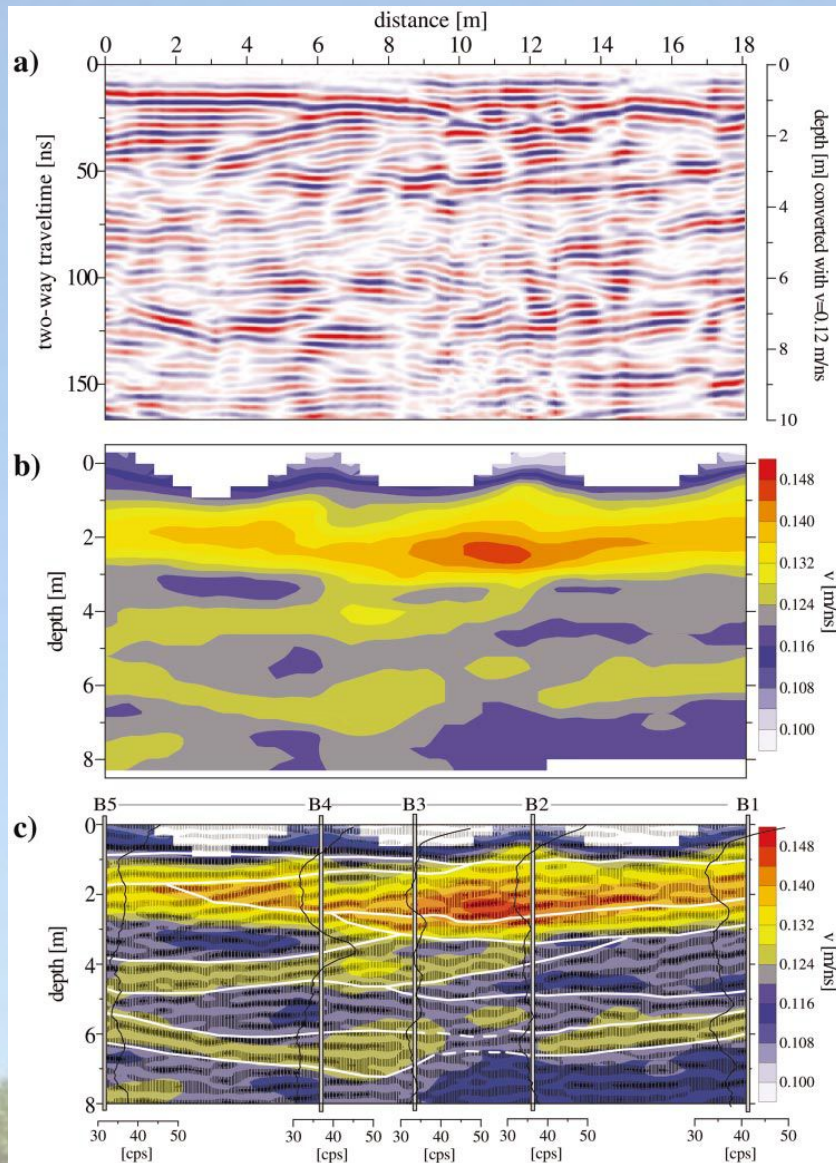


Рис. 3. Строение осадочного чехла в южном крыле Северо-Чукотского прогиба с выделенными отражающими горизонтами (ОГ): (Ч-I) - (Ч-VII). Фрагмент сейсмического профиля SC-90-01 треста "Дальморнефтегеофизика".

«Радаростратиграфия»



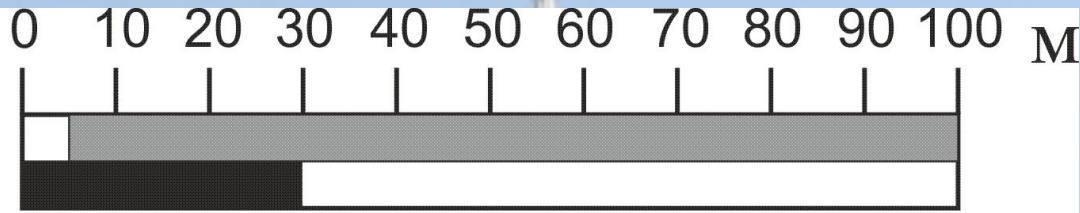
**Сейсморазведка и георадиолокация.
Сходства и различия в разведочных
ВОЗМОЖНОСТЯХ.**



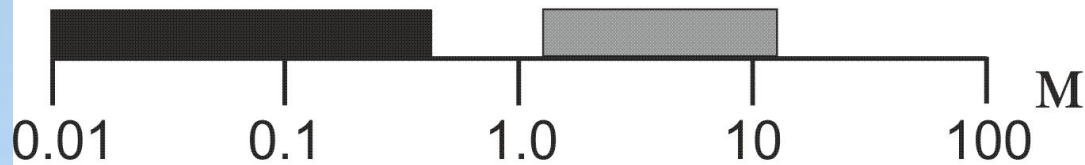
1. Глубинность и разрешающая способность

Различия в физической природе полей в георадиолокации и в сейсморазведке определяют различия в разведочных возможностях этих двух методов с точки зрения задач геологии, инженерной геологии и геотехники.

	Малоглубинная сейсморазведка	Георадиолокация
Длина волны	$N \cdot 1\text{м} - N \cdot 10\text{м}$	$N \cdot 0.01\text{м} - 2\text{м}$
Затухание	Геометрическое расхождение вязкоупругое поглощение До 0,5Дб/м - песчано-глинистый разрез	Геометрическое расхождение токи проводимости До 15Дб/м – песчано-глинистый разрез (1000мм)
Глубинность	$N \cdot 1\text{м} - 50 - 100\text{м}$	$N \cdot 0.1\text{м} - 10\text{м}$ условия московского разреза До 30м в мёрзлых грунтах
Разрешающая способность	$0.5 \lambda: 1-10\text{м}$	$0.5 \lambda: 1-100\text{см}$



Шкала глубинности



Шкала разрешающей способности

■ -область георадиолокации

■ -область сейсморазведки

По глубинности методы перекрываются в области примерно 3-15 метров,
По разрешающей способности георадиолокация стоит значительно выше.
 Поэтому можно решать многие задачи, недоступные сейсморазведке. Например, локализации мелких и замкнутых неоднородностей.

2. Скорость распространения волн.

$$\Delta \mathbf{E} = \frac{\epsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2}$$

Волновое уравнение
для диэлектрика

$$V = c/\epsilon_{1/2}$$

$$\mu_{абс} = \mu_0, \mu_{отн} = 1$$

Токов проводимости «нет», т.е. они не учитываются
Такое допущение возможно при малости потерь в среде
(которые зависят от токов проводимости)

Символ	Наименование	Численное значение	Единицы измерения СИ
c	Постоянная скорости света	299 792 458 (точно)	<u>м/с</u>
$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	Магнитная постоянная	$1,256\,637\,06 \dots \times 10^{-6}$	<u>Гн/м</u>
$\epsilon_0 = 1/(\mu_0 c^2)$	Электрическая постоянная	$8,854\,187\,82 \dots \times 10^{-12}$	<u>Ф/м</u>

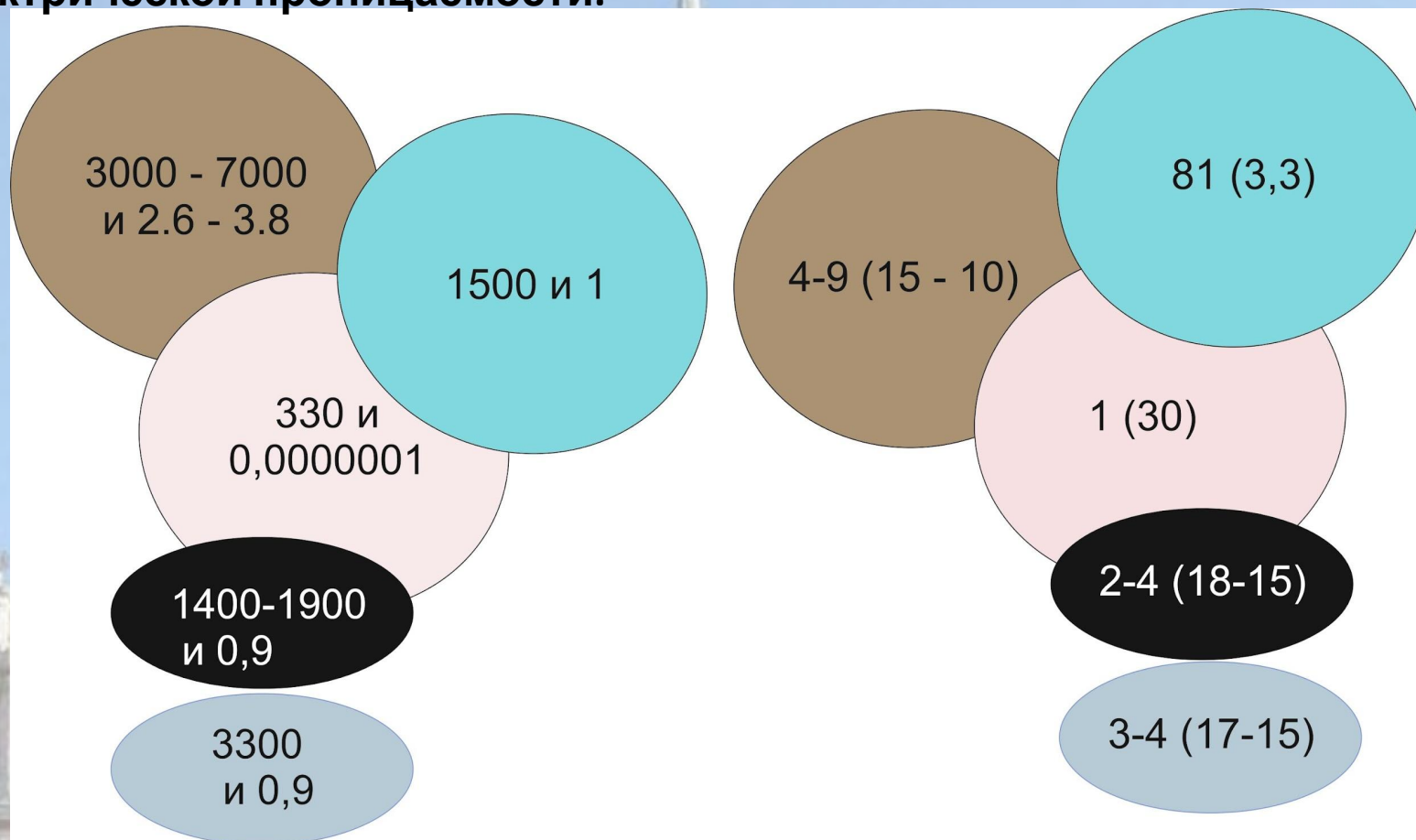
Материал	σ , См/м	Γ , дБ/м	ϵ'	v_{ϕ} , м/мкс
Воздух	0	0	1	300 ^{0.1см/нс}
Пресная вода	10^{-3}	0,18	81	33
Морская вода	4	330	81	33
Песчаная почва сухая	$1,5 \cdot 10^{-4}$	0,14	3	170
Песчаная почва влажная	$7 \cdot 10^{-3}$	2,3	25	60
Глинистая почва сухая	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,28	3	170
Глинистая почва влажная	$5 \cdot 10^{-2}$	20	15	78
Гранит сухой	10^{-8}	10^{-5}	5	130
Гранит влажный	10^{-3}	0,6	7	110
Базальт влажный	10^{-2}	5,6	8	110
Глинистый сланец влажный	10^{-1}	45	7	110
Песчаник влажный	$4 \cdot 10^{-2}$	24	6	120
Известняк влажный	$2,5 \cdot 10^{-2}$	14	8	110

В сейсморазведке скорость распространения волн определяется упругими модулями среды – плотностью- ρ , модулем Юнга- E и модулем сдвига - μ , отражательная способности границ определяются (в основном) контрастом акустической жесткости – $v \cdot \rho$.

Контраст акустической жесткости и линейные размеры поверхности локального объекта, отнесенные к длине волны, определяют его способность к образованию дифрагированных волн *

Сформулировать фразу * для георадиолокации

3. Причины наличия в среде контрастов акустической жесткости и диэлектрической проницаемости.



Значения основных параметров в среде определяются в большинстве случаев одними и теми же причинами – **Внутренним строением пород, их обводненностью, которые, в свою очередь, связаны с литологией, степенью нарушенности, пористостью (пустотностью) и другими причинами, имеющими природное или техногенное происхождение.**

4. Контрастность.

5. Различия в кинематических и динамических особенностях волновых полей.

	Малоглубинная сейсморазведка	Георадиолокация
Скорости	300 – 5000 м/с	5 – 15 см/нс
Поверхность земли	«свободная поверхность»	Одна из границ
Поверхностные волны	80% энергии (помеха или сигнал)	нет
Изменение скорости с глубиной	растёт	падает
Головные волны	Используются	Только 1 случай образования Не используются
Рефрагированные волны	Используются	нет
МОВ ОГТ	Наличие протяжённых границ, Возрастание скорости с глубиной	Сложная структура разреза, Инверсный скоростной закон
optimum offset, И+П – в одной точке	Редко, НСП	Почти всегда

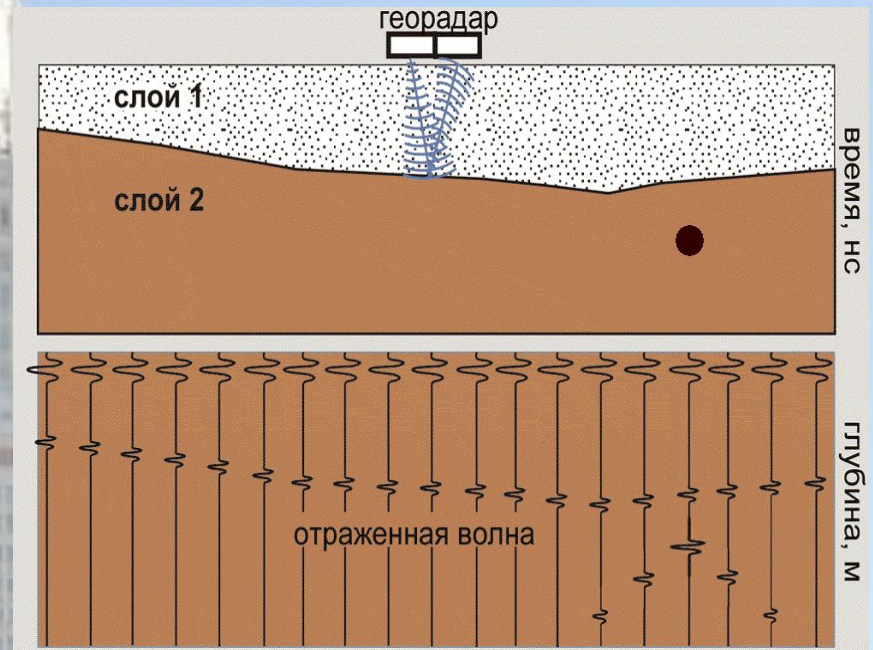
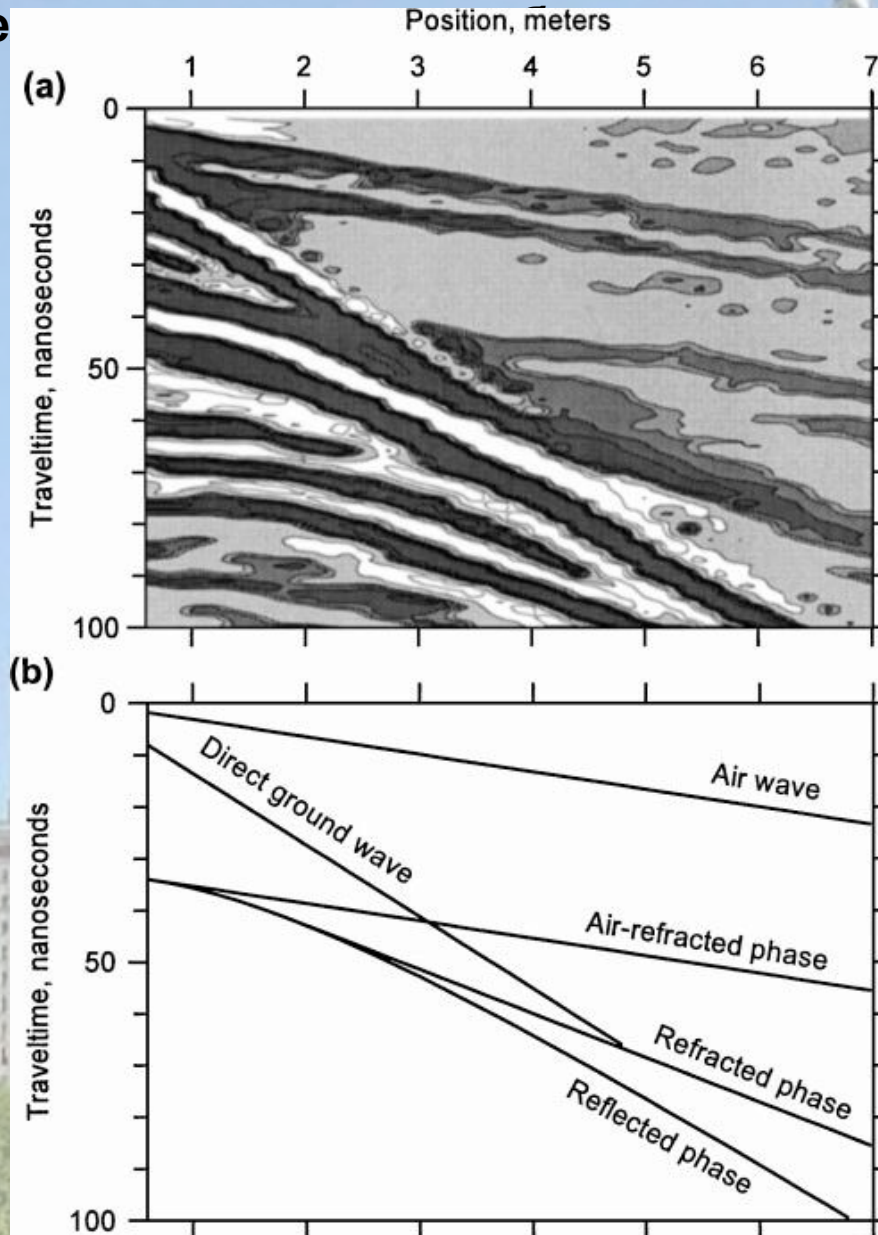
В с/р – различные типы и классы волн, разные методики, в гр – отражённые + ИП – в одной точке

6. Чувствительность волновых методов к одним и тем же изменениям свойств среды

Влажность и загрязнение уг

7. Те

методами.



§7. Технология полевых работ волновыми методами.

Измерения в режиме пешеходной съемки. Антенны в виде лыжи скользят по поверхности.

Частота посылки сигнала от единиц до тысяч раз в секунду.

Плотность наблюдений **от 1 до 100 трасс на 1 погонный метр профиля**

Производительность и объем информации **на 1-3 порядка выше**, чем при производстве сейсморазведочных работ.

С/р – необходим контакт источника с поверхностью.

Г/р – можно поднять антенну – обычно при скоростной съёмке.

Исключение – с/р на акваториях.

При картировании протяженной границы на глубине порядка 8-10 метров при сходных методиках наблюдения – совмещенные источник и приемник или находящиеся на фиксированном расстоянии друг от друга (методики « t_0 » или «optimum offset»).

За рабочую смену в 8 часов можно обработать 10-15 км георадиолокационного профиля или 500-600 метров сейсмического профиля.



Принципиально возможно проведение гр работ методом ОГТ, но это сильно уменьшит производительность, не увеличив количество получаемой информации.

Полевые работы

- **Георадиолокация:**
- Самый мобильный метод
- Простое проведение полевых работ
- Большая производительность
- **Сейсморазведка:**
- Требуется определённое состояние поверхности
- Минимум механических источников шума
- Самый трудоёмкий метод ГФ

8. Комплексование волновых методов и роль каждого из методов при комплексовании.

1. 2 метода - независимые сведения о строении массива
2. Разные свойства – ЭФ и ЭМ
3. СР и ГР почти не перекрываются по глубинности, самая «глубикая» ось синфазности ГР может быть привязана к самой «мелкой» на сейсмограмме.



9. Круг задач, решаемый с помощью георадиолокации .

9.1. Геологические, инженерно-геологические и гидрогеологические задачи

а) 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;

б) определение свойств различных отложений по скорости распространения электромагнитных волн, опираясь на связь этих свойств с диэлектрической проницаемостью пород;

в) определение толщины ледяного покрова;

г) определение мощности водного слоя и картирование поддонных отложений;

д) определение мощности зоны сезонного промерзания, оконтуривание областей вечной мерзлоты, таликов;

+ археологические и поисковые задачи

9.2. Поиск локальных объектов, обследование инженерных сооружений, нарушения штатной ситуации

а) трубопроводов;

б) кабелей;

в) участков разреза с нарушенным естественным залеганием грунта - рекультивированных земель, засыпанных выемок;

г) погребенных отходов и захоронений;

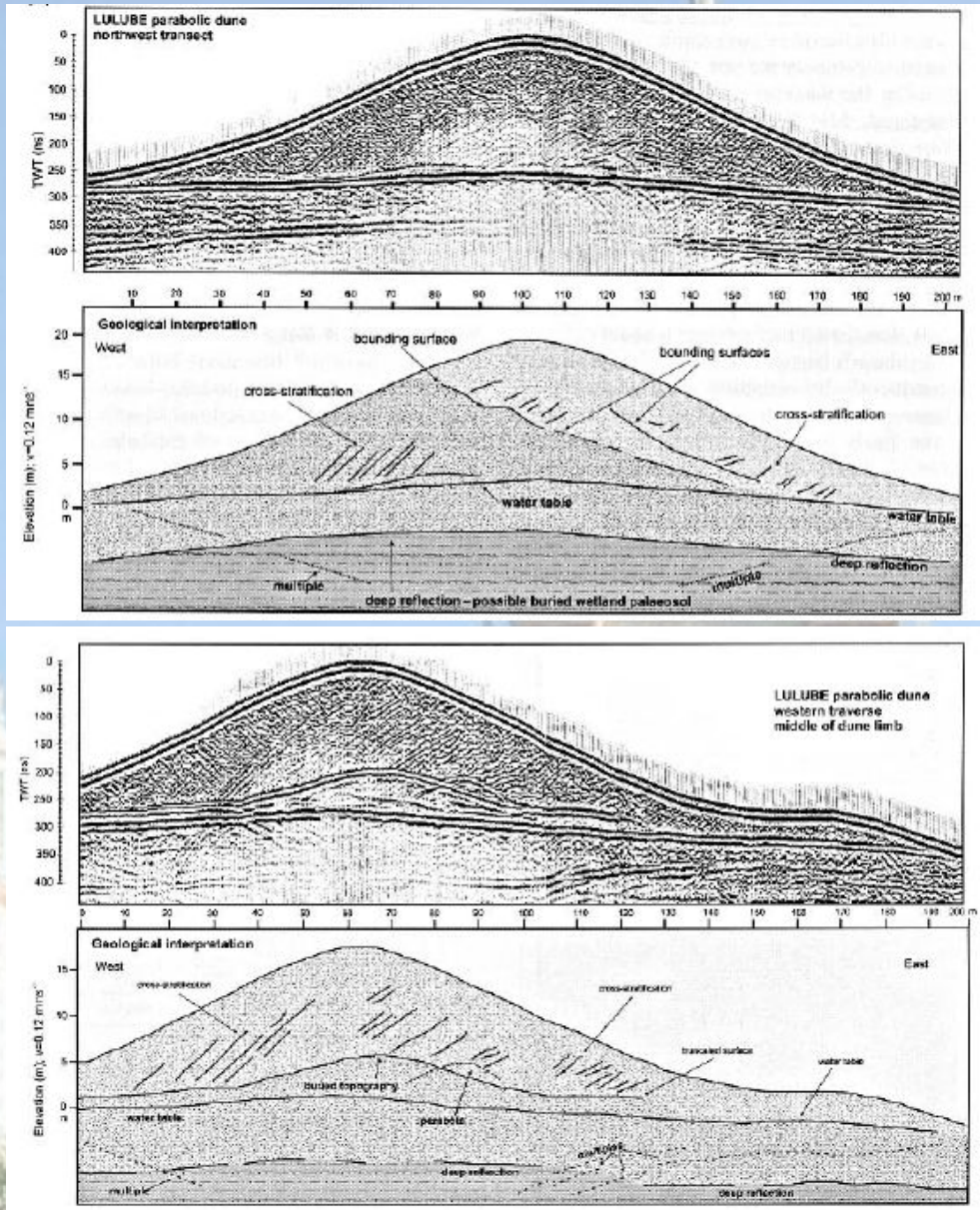
д) подземных выработок, подвалов, карстовых и суффозионных провалов;

е) границ распространения углеводородных загрязнений;

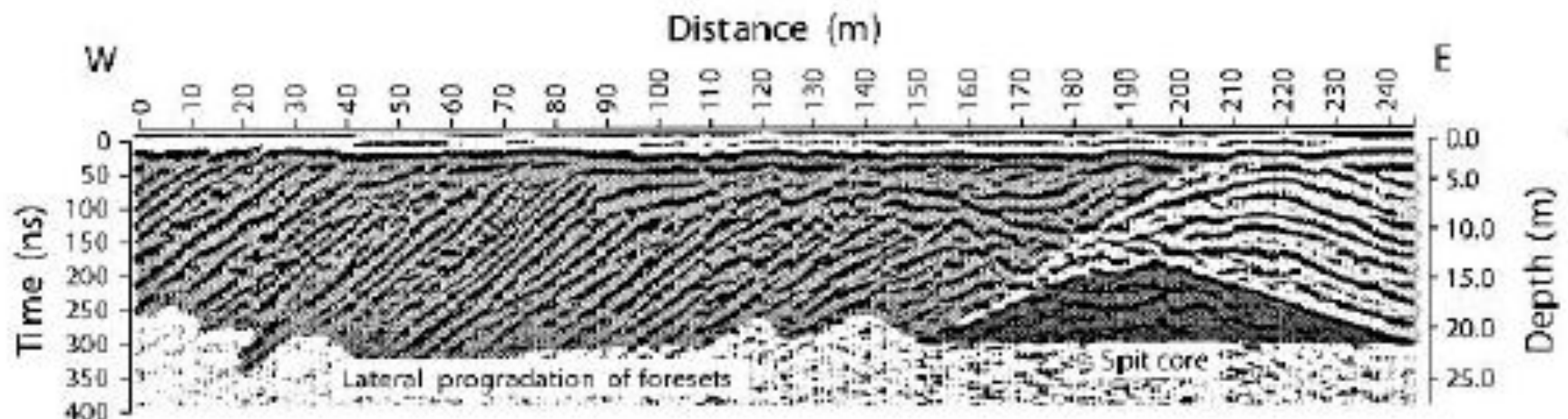
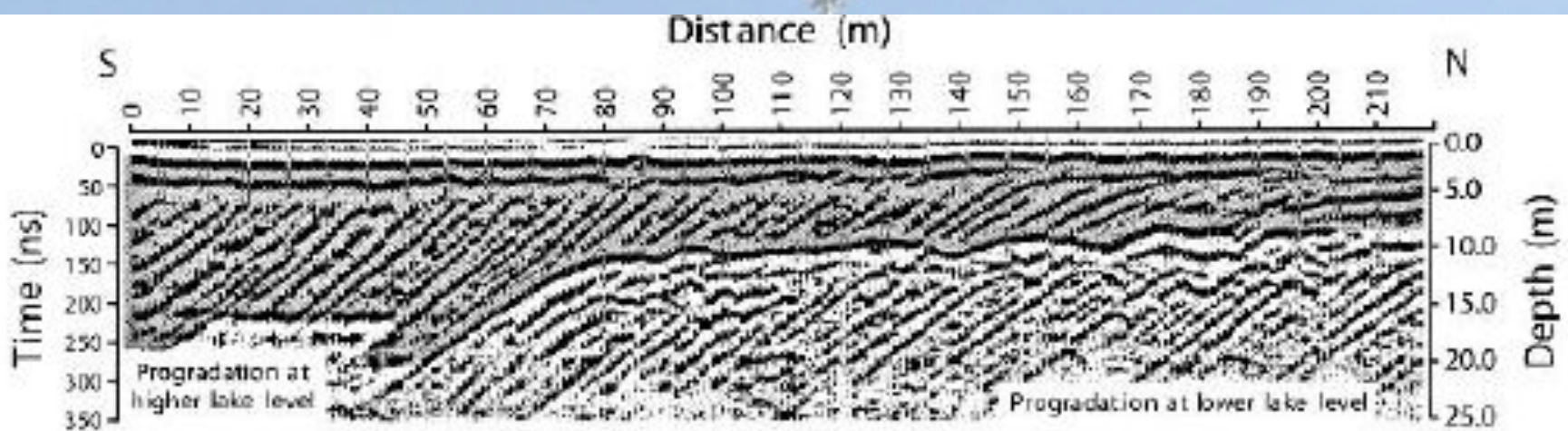
ж) поиск скрытых нарушений в стенах наземных сооружений, шахт, тоннелей, в опорах и перекрытиях;

з) поиск нарушений, возникших в процессе строительства или в процессе эксплуатации в конструкции автомобильных и железных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов и т.д.

10. Примеры волновых полей и результаты решения некоторых задач.

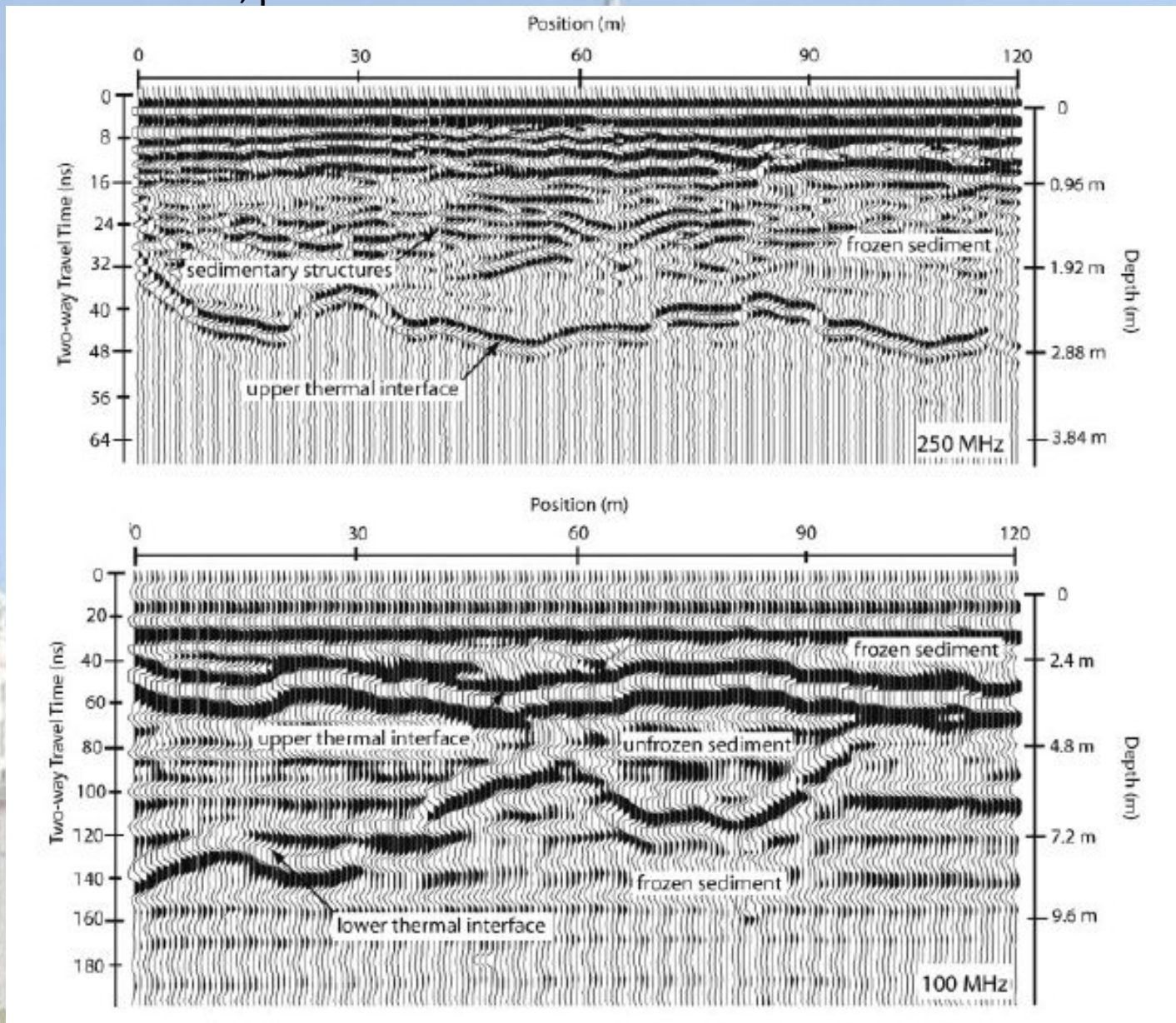


Георадар PulseEкko, 100 МГц. Профилирование дюн (а,б) в Южной Африке
Картиночные признаки УГВ.

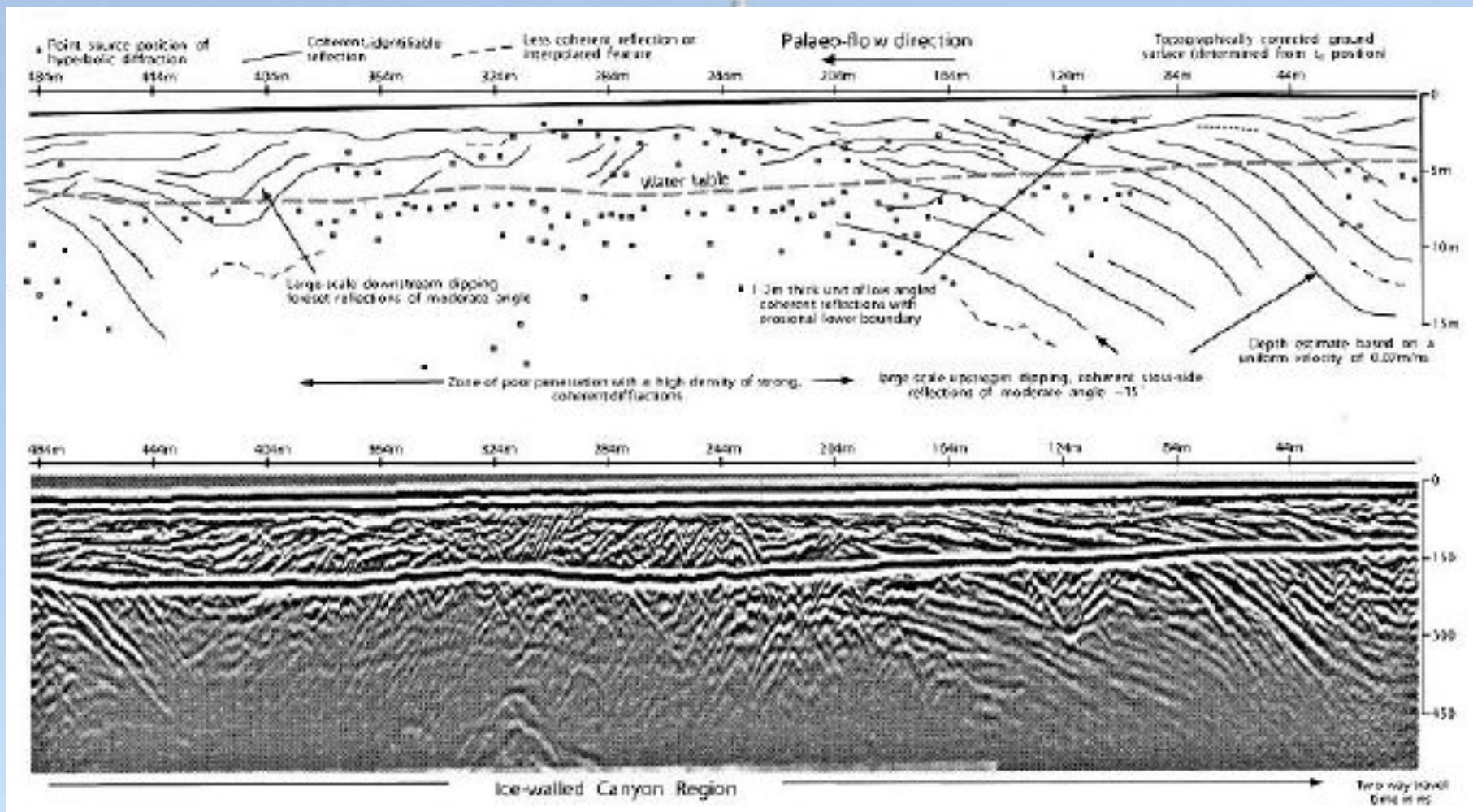


Георадарное картирование озерных отложений. Канада, PulseEкko-IV, 50 МГц

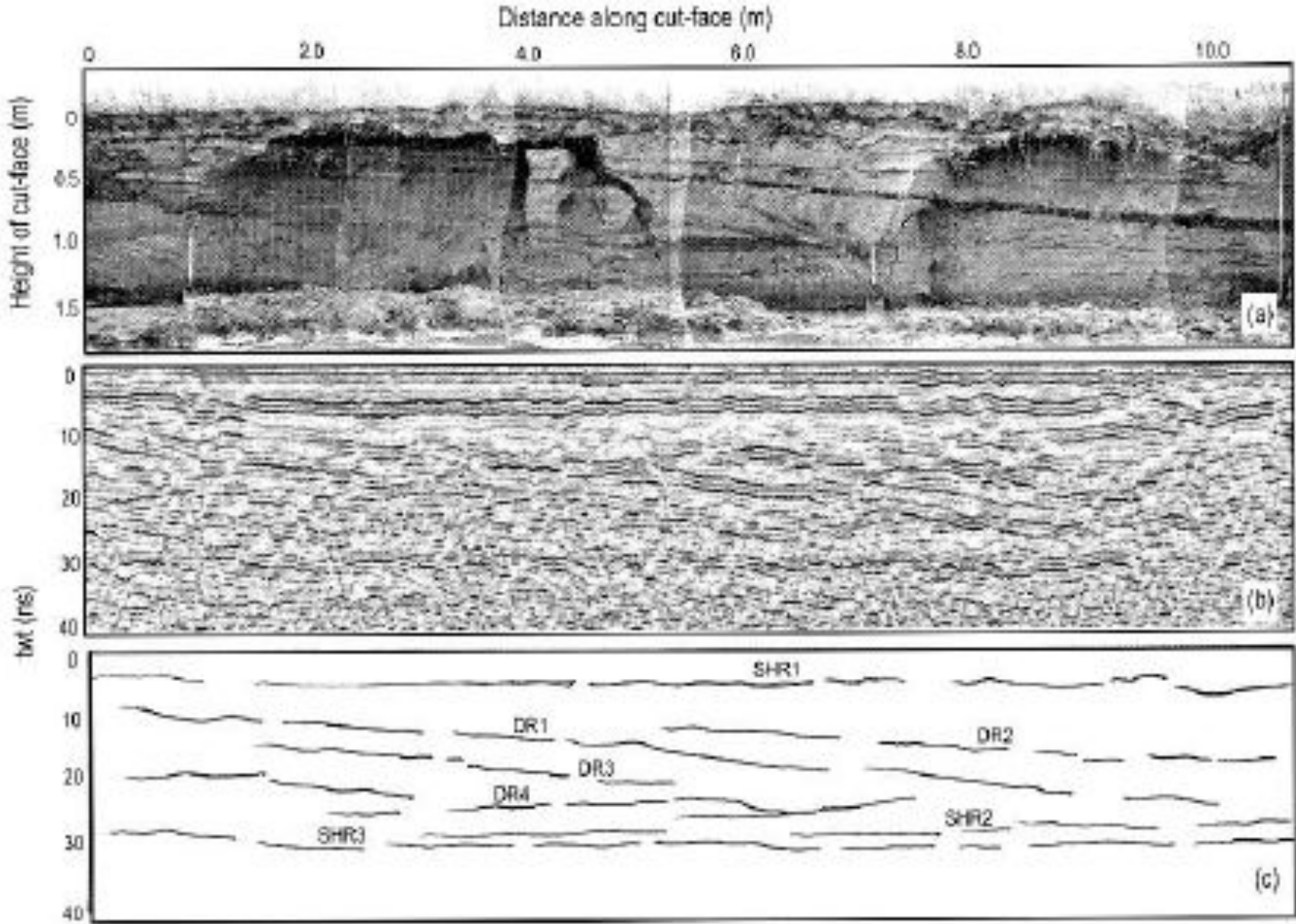
Мёрзлое и талое, разные частоты



Аллювиальные отложения, мелководье Маккензи



Георадарные профили и реконструкция разрезе моренных песчаных отложений с большим количеством валунов скальных пород – точек дифракции. Георадар PulseEcko-IV, антенна 200 МГц



Корреляция между фотографией обнажения (a), георадиолокационным временным разрезом (b) с привязкой «время-глубина» и реконструкцией границ раздела в слоистой толще

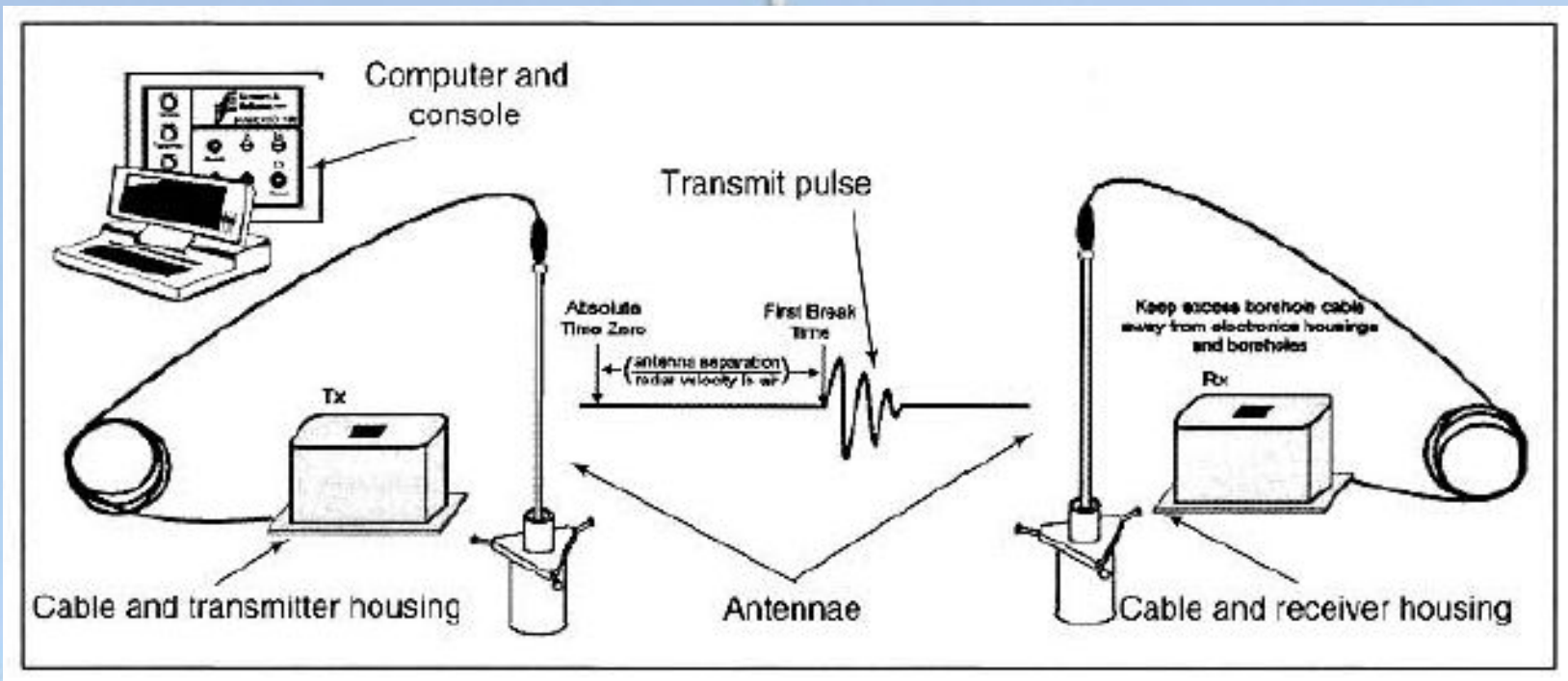
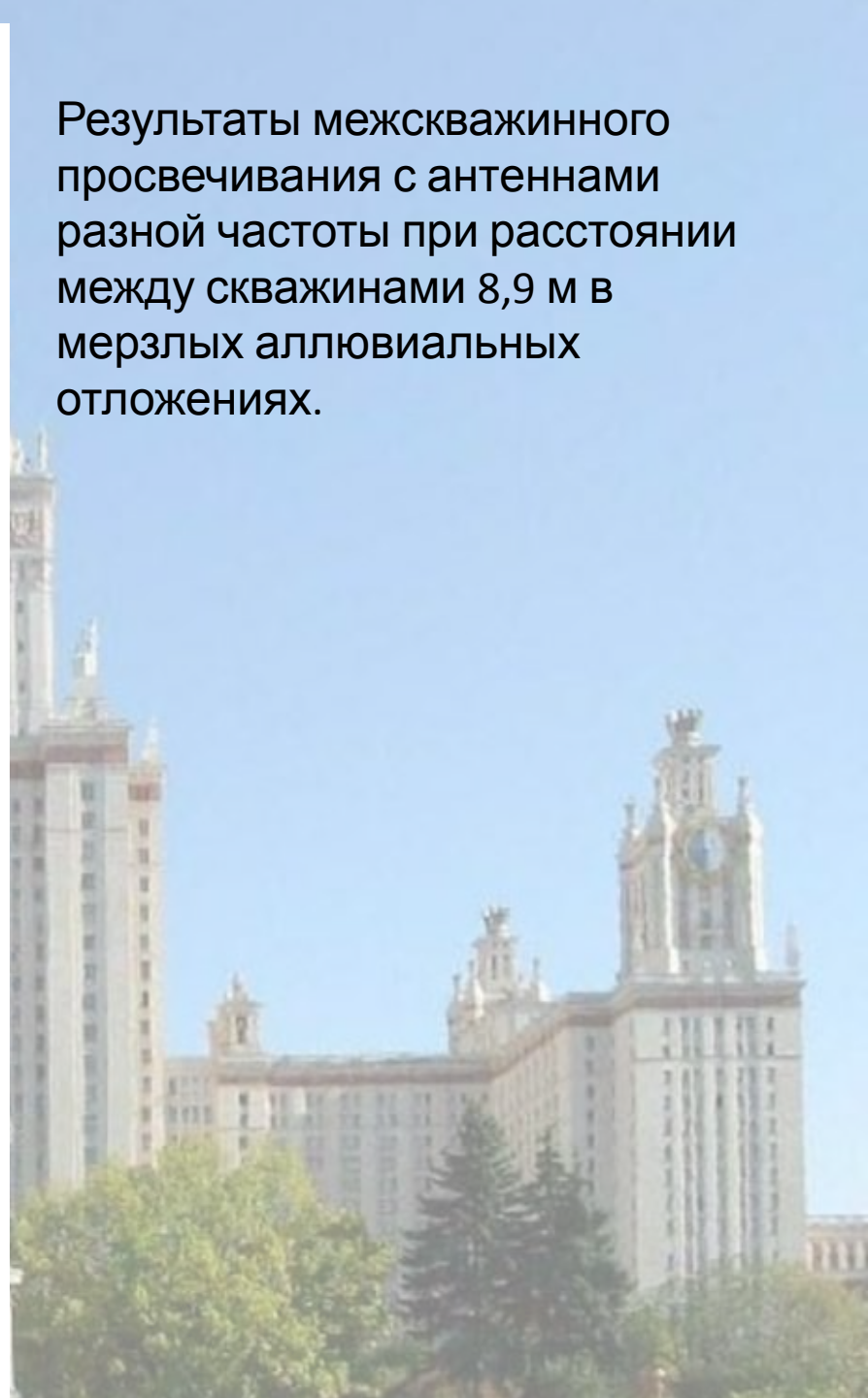
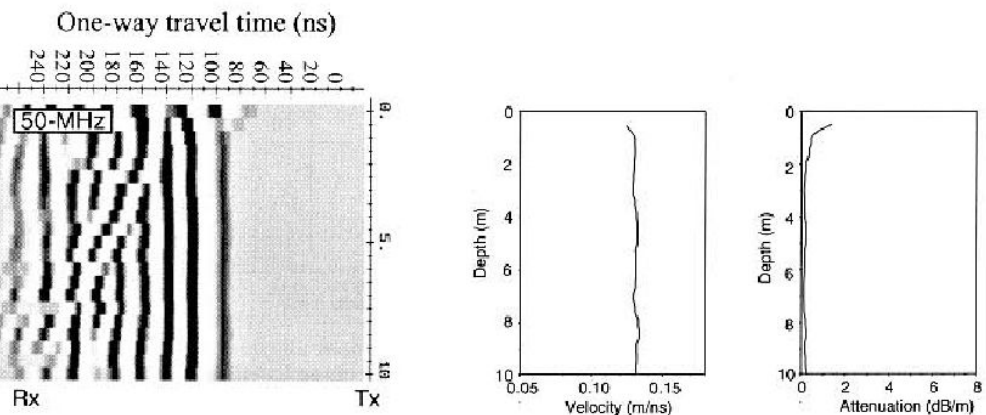
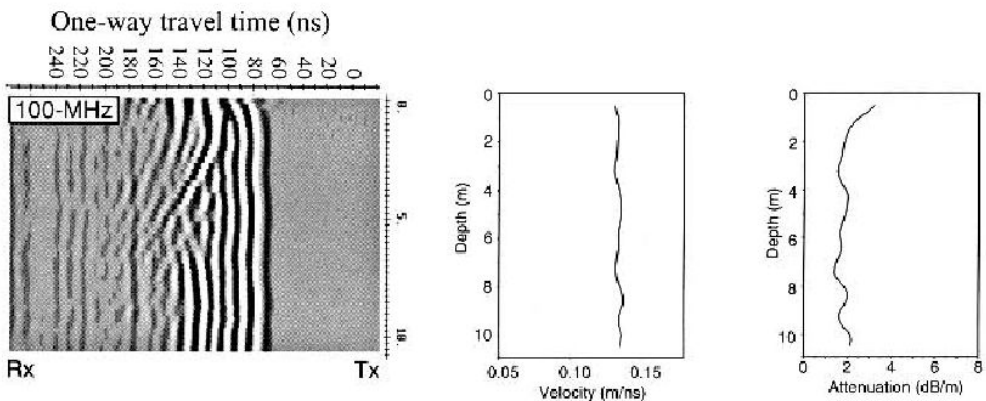
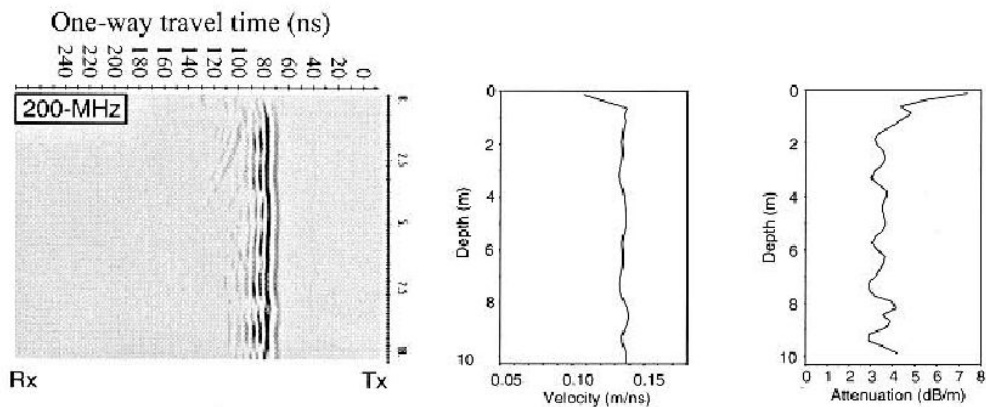
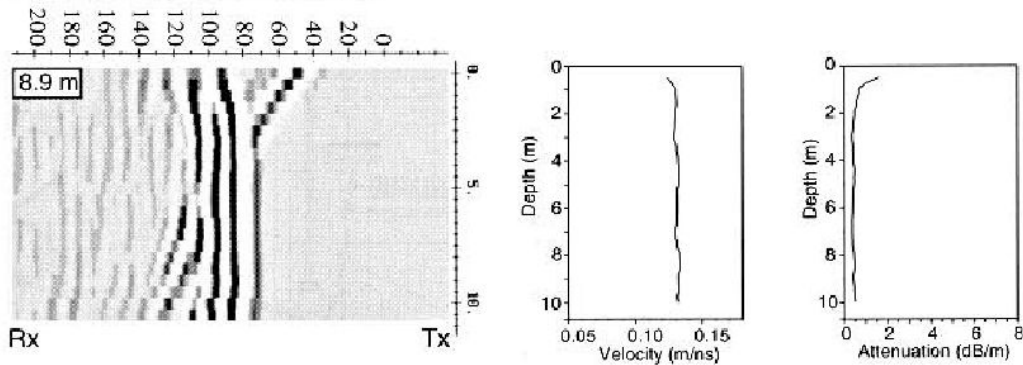


Схема проведения межскважинных георадиолокационных просвечиваний.

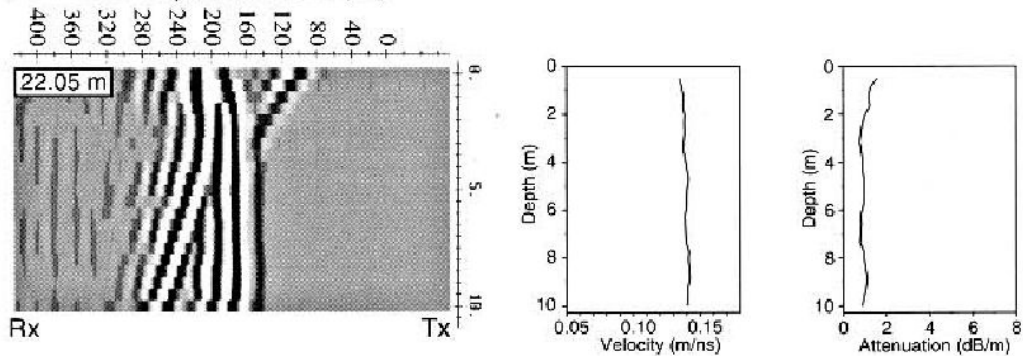
Результаты межскважинного
просвечивания с антеннами
разной частоты при расстоянии
между скважинами 8,9 м в
мерзлых аллювиальных
отложениях.



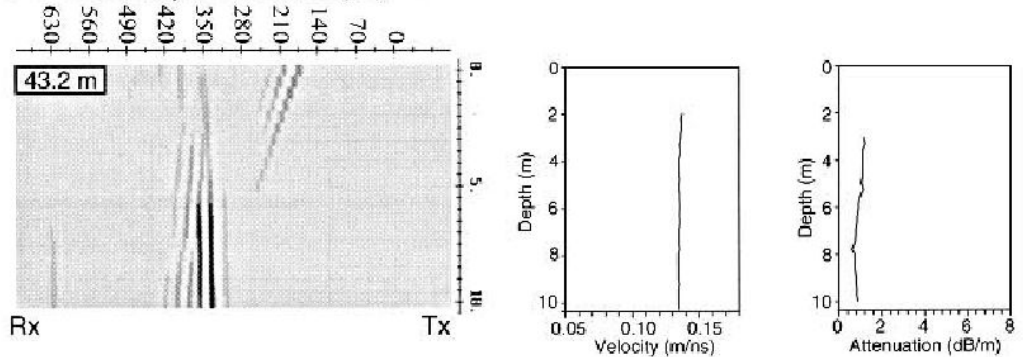
(a) One-way travel time (ns)



(b) One-way travel time (ns)



(c) One-way travel time (ns)

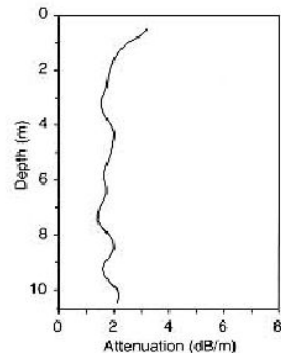
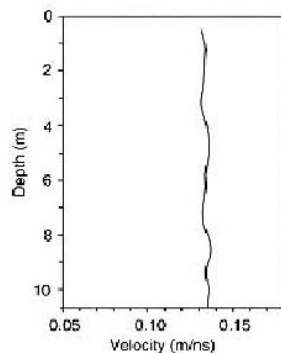
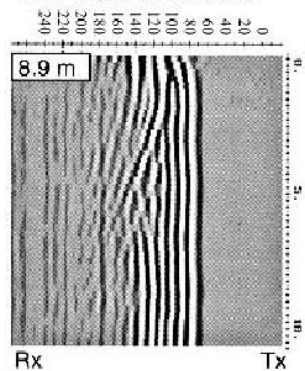


Результаты межскважинного просвечивания с антенной 50МГц при разных расстояниях между скважинами в мерзлых аллювиальных отложениях.



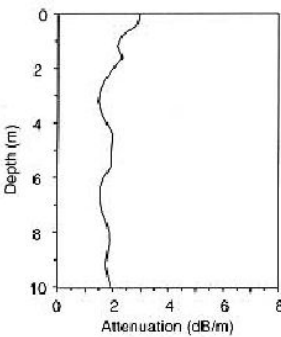
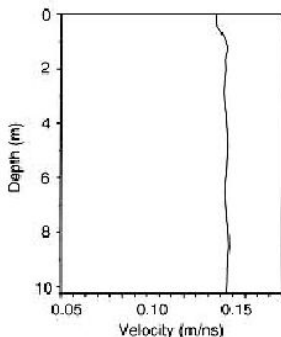
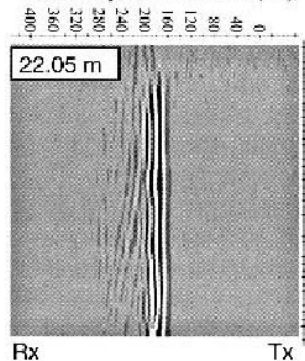
(a)

One-way travel time (ns)



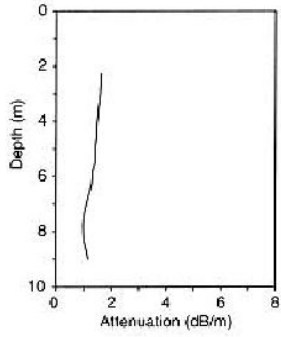
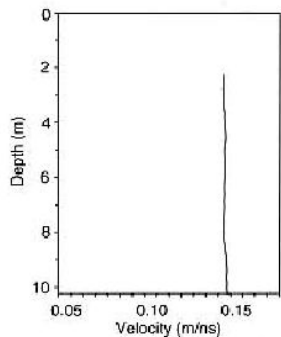
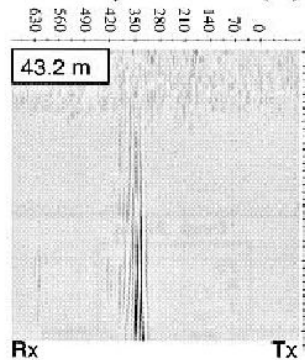
(b)

One-way travel time (ns)



(c)

One-way travel time (ns)



*Результаты межскважинного
просвечивания с антенной 100МГц
при разных расстояниях между
скважинами в мерзлых
аллювиальных отложениях*



Преломленная волна

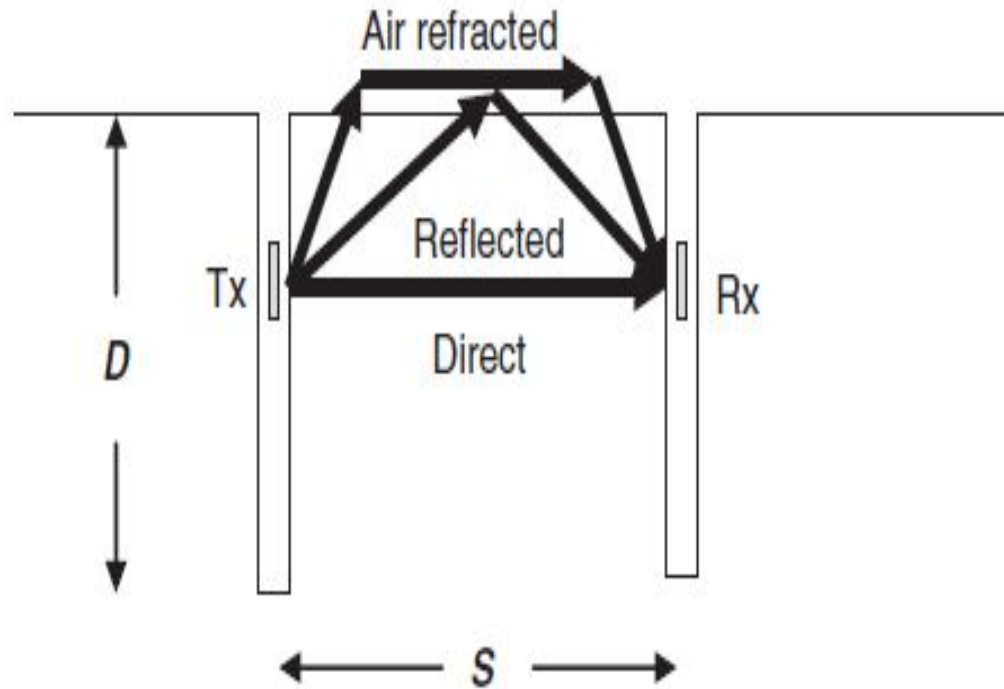
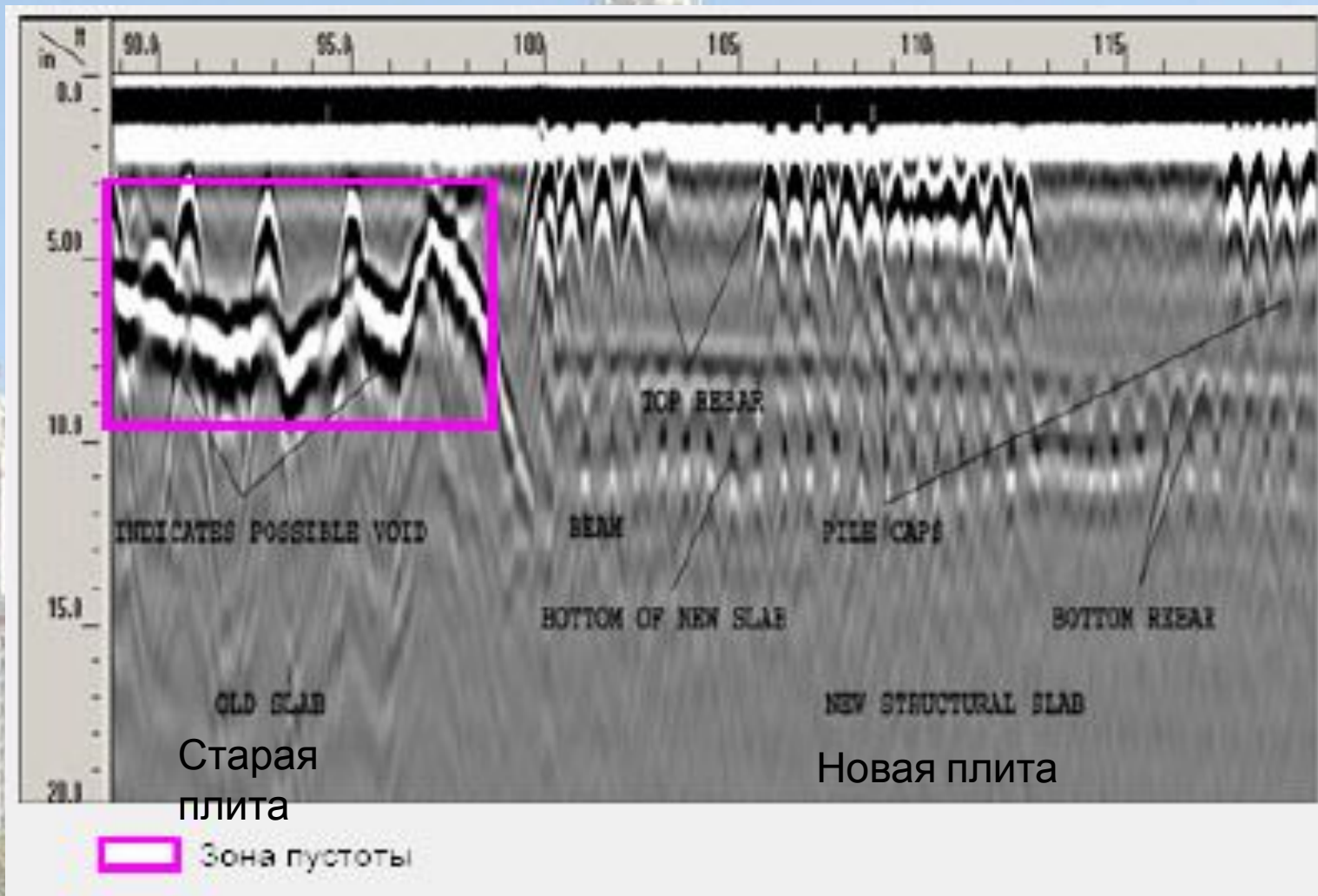


Figure 1.31 For borehole transillumination surveys, D/S should be kept as large as practical. Direct signals may be masked by faster refracted airwave arrivals.

Обследование бетонных конструкций



ВЫВОДЫ

- 1. Различия в глубинности и разр.способности.**
- 2. Скорость ЭМ волн. Факторы, её определяющие.**
- 3. Специфика методики полевых исследований ГР (класс волн).**
- 4. Решаемые задачи ГР и их аналоги для СР (если есть).**

и др.

