



**Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
Государственный университет имени М.В.Ломоносова
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Направление 020700 ГЕОЛОГИЯ

Кафедра сейсмометрии и геоакустики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

**Анализ возможностей многоволновой сейсморазведки на
Вилуйской ГЭС в условиях многолетнемерзлых пород**

Студент Степанов Николай Андреевич

Заведующий кафедрой: д.ф.-м.н., профессор Владов М.Л.

Научный руководитель: к.г.-м.н., в.н.с. Ермаков А.П.

Официальный оппонент: н.с. Турчков А.М.

Москва

2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.	3
Глава 1. Сейсмогеологическое строение верхней части разреза	6
1.1. <i>Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1.</i>	6
1.2. <i>Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон МГУ.</i>	9
Глава 2. Сейсморазведочная аппаратура и методика полевых работ	13
2.1. <i>Источники.</i>	14
2.2. <i>Приемная аппаратура.</i>	17
2.3. <i>Методика полевых наблюдений.</i>	23
2.3.1. <i>Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1.</i>	23
2.3.2. <i>Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон.</i>	25
Глава 3. Характеристика волновой картины на сейсмических записях, скорости распространения регулярных сейсмических волн	27
3.1. <i>Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1</i>	27
3.2. <i>Промышленная помеха, связанная с работой ГЭС</i>	28
3.3. <i>Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон МГУ</i>	31
Глава 4. Построение разрезов в изолиниях скорости поперечных волн с помощью метода поверхностных волн	34
4.1. <i>Теория метода MASW.</i>	34
4.2. <i>Алгоритм работы программы обработки и инверсии данных MASW.</i>	37
4.3. <i>Схема построения разреза методом MASW.</i>	38
4.4. <i>Построение разреза в изолиниях скоростей поперечных волн в Мирнинском районе, п. Чернышевский, ГЭС-1.</i>	40
4.5. <i>Построение разреза в изолиниях скоростей поперечных волн в Калужской области, д. Александровка, на геофизическом полигоне.</i>	44
Глава 5. Обсуждение результатов.	47
Заключение	52
Список литературы	53

Введение.

В последнее время все большее развитие при решении разного рода сейсморазведочных задач получает многоволновой подход, как подход, дающий более точные сведения об исследуемом объекте. Современные подходы, позволяющие получить информацию о распределении в среде скорости распространения поперечных волн в малоглубинной сейсморазведке можно разделить на 3 группы:

1. Использование стандартной схемы регистрации Z-Z с дальнейшим извлечением информации о скоростях распространения поперечных волн, например, с использованием поверхностных и обменных волн.
2. Использование однонаправленного источника (источника с единственным направлением поляризации), и регистрации трех компонент сейсмической волны, с последующим получением информации о скоростях распространения поперечных волн – один из самых распространенных в данное время подходов.
3. Использование управляемого источника и трехкомпонентного приема – наиболее перспективный подход в инженерной сейсморазведке.

В этом направлении (получение информации о распределении в среде скорости распространения поперечных волн) последнее время активно развивается метод MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves – метод многоканального анализа поверхностных волн) – метод, основанный на использовании в качестве полезных волн поверхностных волн, в основном, волн Рэлея. Идеологически использование поверхностных волн для определения скоростей распространения поперечных волн было обосновано в середине прошлого века [9], но на практике применение методов, подобных MASW стало возможным только в эпоху развития компьютерных технологий, ввиду необходимости расчета дисперсионных изображений.

В работе проведен анализ данных, полученных в трех различных обстановках: в условиях повышенной зашумленности в районе ГЭС-1 (Мирнинский район, п. Чернышевский), в условиях лета и зимы в д. Александровка (Калужская обл.).

Создание водохранилищ и ГЭС нарушает сложившуюся картину геодинамических процессов, развитых ранее на площади, не только занимаемой самим водоемом и электростанцией, но и прилегающей к ним бортовым частям реки. Крупные гидротехнические сооружения относятся к особо ответственным объектам, разрушение которых может повлечь серьезные экологические и социально-экономические последствия.

В связи с этим *актуальной* является задача мониторинга, как состояния самой плотины, так и прилегающих площадей. Особое внимание должно уделяться гидротехническим сооружениям на территории распространения многолетнемерзлых пород. Одним из методов изучения и мониторинга таких территорий является сейсморазведка. Она относится к классу косвенных методов – т.е. в наблюдаемых физических полях ищется отражение природных объектов, явлений и т.д. Преимущество этих методов заключается в том, что они дают интегральную характеристику различных объемов (от первых м³ до км³) без нарушения целостности массива горных пород.

Содержание работы можно разделить по следующим пунктам:

- анализ данных, полученных на ГЭС-1 и выделение проблемных вопросов;
- получение разрезов в изолиниях скоростей поперечных волн методом MASW;
- теоретический анализ метода MASW.

При изучении опасностей на таких важных объектов как ГЭС, появляется огромное число задач. *Цель* настоящей работы - проанализировать возможности многоволновой сейсморазведки, в том числе метода MASW, в условиях распространения многолетнемерзлых пород и повышенной зашумленности на примере работ, проводимых на Вилуйской ГЭС. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- проведение полевых наблюдений;
- отбраковка сейсмограмм;
- обработка полевых материалов;
- выработать методику по увеличению соотношения сигнал/помеха в условиях работающей ГЭС;
- изучение литературы по методу поверхностных волн;
- построение сейсмических разрезов и теоретический анализ метода MASW.

Необходимость использования именно многоволновой сейсморазведки объясняется необходимостью получения значений упругих параметров среды, зависящих как от скорости продольных, так и от скорости поперечных волн (например, коэффициент Пуассона), для обнаружения и оценки рисков, связанных с трещинами, протечками и т.д.

Инструментами для проведения таких исследований могут быть приемники с различной осью чувствительности или трехкомпонентные приемники, источники с различной поляризацией возбуждаемой волны.

Кроме этого необходимо выработать методику по увеличению соотношения сигнал/помеха, что является одной из основных задач, в условиях постоянного, высокоамплитудного шума от работающих турбин ГЭС. При этом необходимо учитывать наличие многолетнемерзлых пород.

Проблема получения инженерно-геологических параметров среды стоит не только при изучении среды и мониторинге ГЭС, но, в принципе, везде, где, например, ведется строительство. Метод MASW позволяет существенно ускорить процесс сбора данных по скоростям распространения поперечных волн и ввиду высокой помехозащищенности метода.

Автор принимал участие во всех этапах работы.

Автор выражает благодарности профессору Владову Михаилу Львовичу за неоценимую помощь в написании диплома, доценту Шалаевой Наталье Владимировне и магистранту 1-го года Гриневскому Антону Сергеевичу за ценные консультации.

Глава 1. Сейсмогеологическое строение верхней части разреза

В данном разделе приводятся краткие сведения о сейсмогеологическом строении верхней части разреза, доступной для малоглубинной сейсморазведки по двум объектам: ГЭС-1 (п. Чернышевский, Мирнинский район) и Александровский геофизический полигон (Калужская обл.)

1.1. Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1.

Основные сведения о геологическом строении верхней части разреза (ВЧР) в районе ГЭС-1 получены из данных бурения скважин, находящихся вблизи сейсмического профиля (Рисунок 1).

Согласно описанию скважины ГФС-2, геологический разрез первых 50 м представлен следующими породами:

- долерит темно-серый, крепкий, сильно трещиноватый, мощность до 5 м;
- песчаник мелкокристаллический, очень плотный, серовато-коричневого цвета, немного ожелезнен, мощность до 5 м;
- известняк светло-бежевый, слабо сцементированный, мощностью до 1 м;
- переслаивание зеленовато-серого алевролита, светло серого и кремowego доломита с прослоями серовато-белого известняка до 15 мм, мощность до 20 м;
- долерит темно серый, до черного, трещиноватый, при сколе вкрапленники пирита, мощность 2 м;
- переслаивание алевролита темно зеленого, слабосцементированного; доломита с средними прослоями бежевого известняка, слаботрещиноватый, мощность 7 м;
- долерит темно серый, трещиноватый, мощность 6 м;
- переслаивание алевролита слабосцементированного с доломитом, редкие прослои известняка, мощность больше 4 м.

СКВ. 78

СКВ. ГФС-2

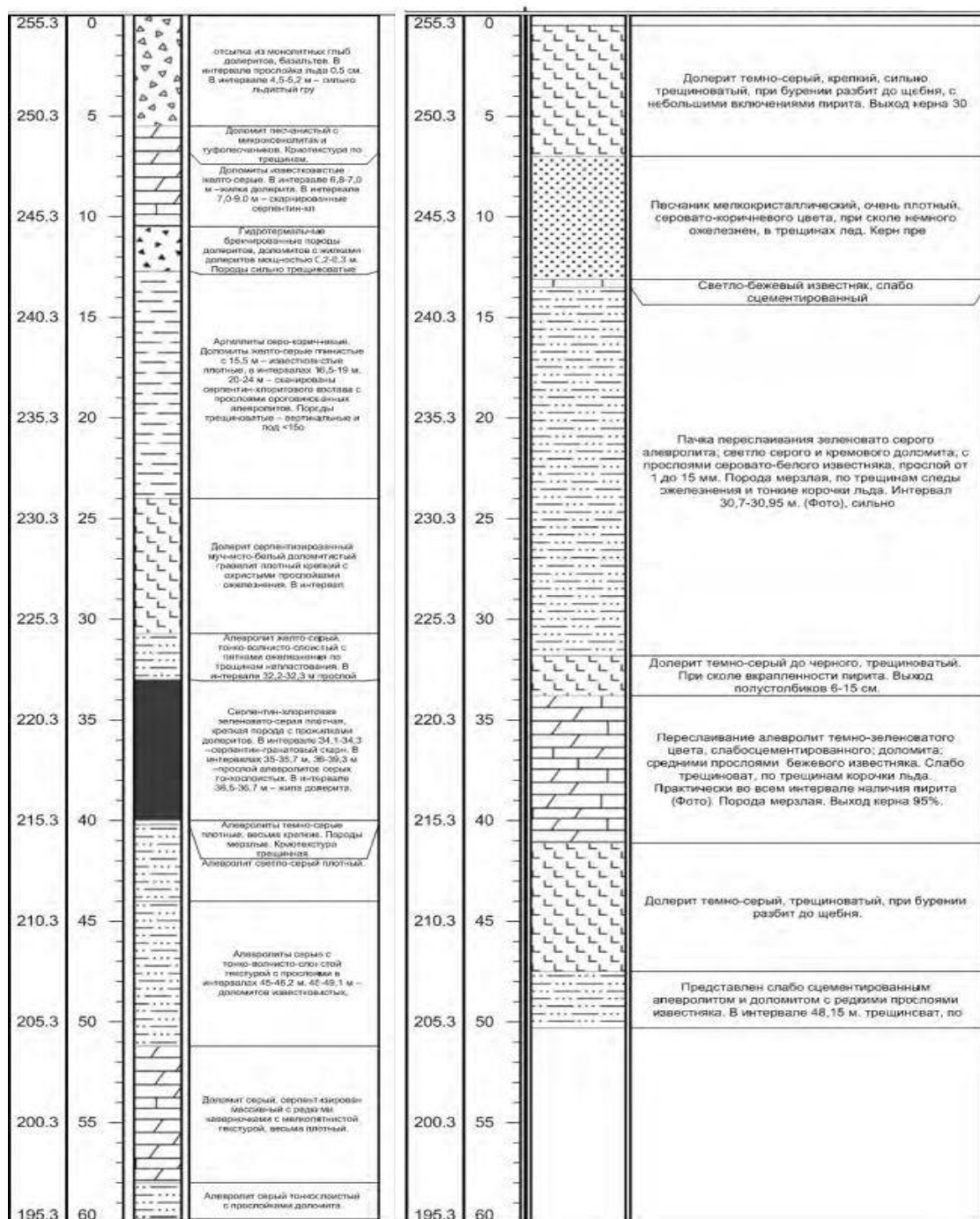


Рисунок 1. Разрезы скважин 78 и ГФС-2.

Таким образом, при сейсмических исследованиях на данном разрезе следует ожидать значения скоростей продольных волн в диапазоне от 500-1000 м/с в приповерхностной части разреза до 5000-6000 м/с (возможно больше) для участков разреза с развитием долеритов.

С точки зрения сейсморазведки, разрез является контрастным (благоприятным), как для методов преломленных волн, так и для методов отраженных волн.

На территории Вилюйской ГЭС-1 ежегодно проводятся мониторинговые работы, включающие в себя геофизические исследования методом электротомографии, подповерхностной георадиолокации, методом переходных процессов, методом естественного поля, дипольное индуктивное профилирование, температурные измерения в скважинах и радиоволновое просвечивание в скважинах (например, [7]).

В работе использовались данные, полученные в прошедшем году по двум сейсмическим профилям: разрезы в изолиниях скоростей продольных волн (Рисунок 2, Рисунок 3). Сравнение проводится на качественном уровне, т.е. оценивается схожесть разрезов, полученных методом однородных функций в программе «Годограф» по годографам первых вступлений, и полученных методом MASW в программе «RadExPro» по годографам поверхностных волн с привлечением информации из скважин.

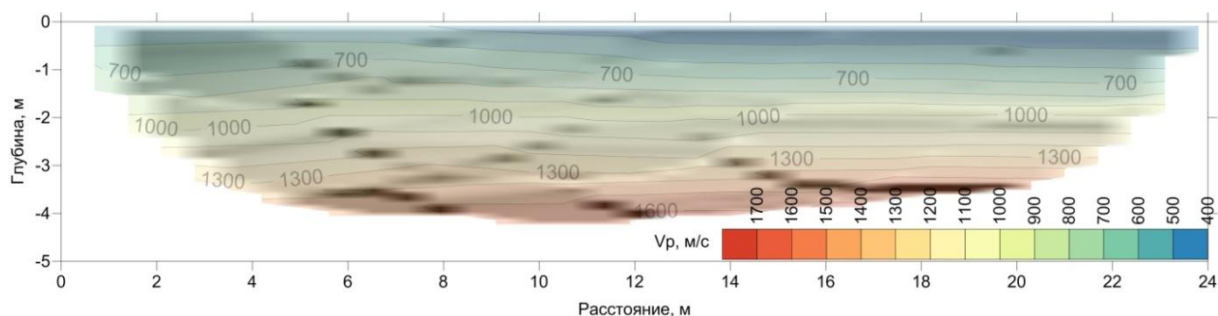


Рисунок 2. Глубинный разрез в изолиниях скорости продольных волн по «короткому» профилю (длина профиля 24 м) вдоль дороги в виде разреза с оттененным рельефом. Шаг изолиний 50 м/с.

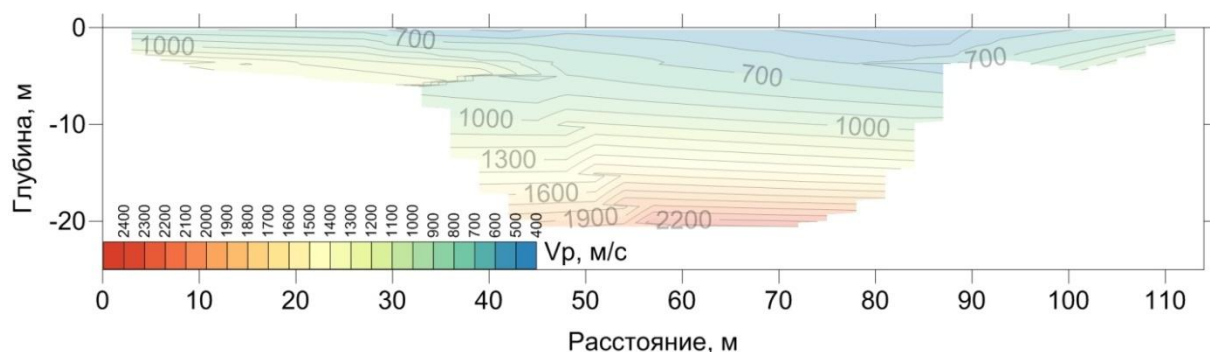


Рисунок 3. Глубинный разрез в изолиниях скорости продольных волн по «длинному» профилю (длина профиля 115 м) вдоль дороги. Шаг изолиний 100 м/с.

1.2. Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон МГУ.

Геологическая ситуация в районе д. Александровка описана во многих работах (например, [5], [6], [8], [11]). В данном разделе приводится описание только верхней части разреза, доступной для метода MASW. Геологический разрез для таких глубин представлен отложениями каменноугольной системы, на которых залегают четвертичные отложения (Q). Каменноугольная система представлена в районе полигона «Александровка» только нижним отделом (C1). Каменноугольные отложения представляют собой сложно построенную толщу с чередованием континентальных терригенных и морских карбонатных пачек (Рисунок 4).

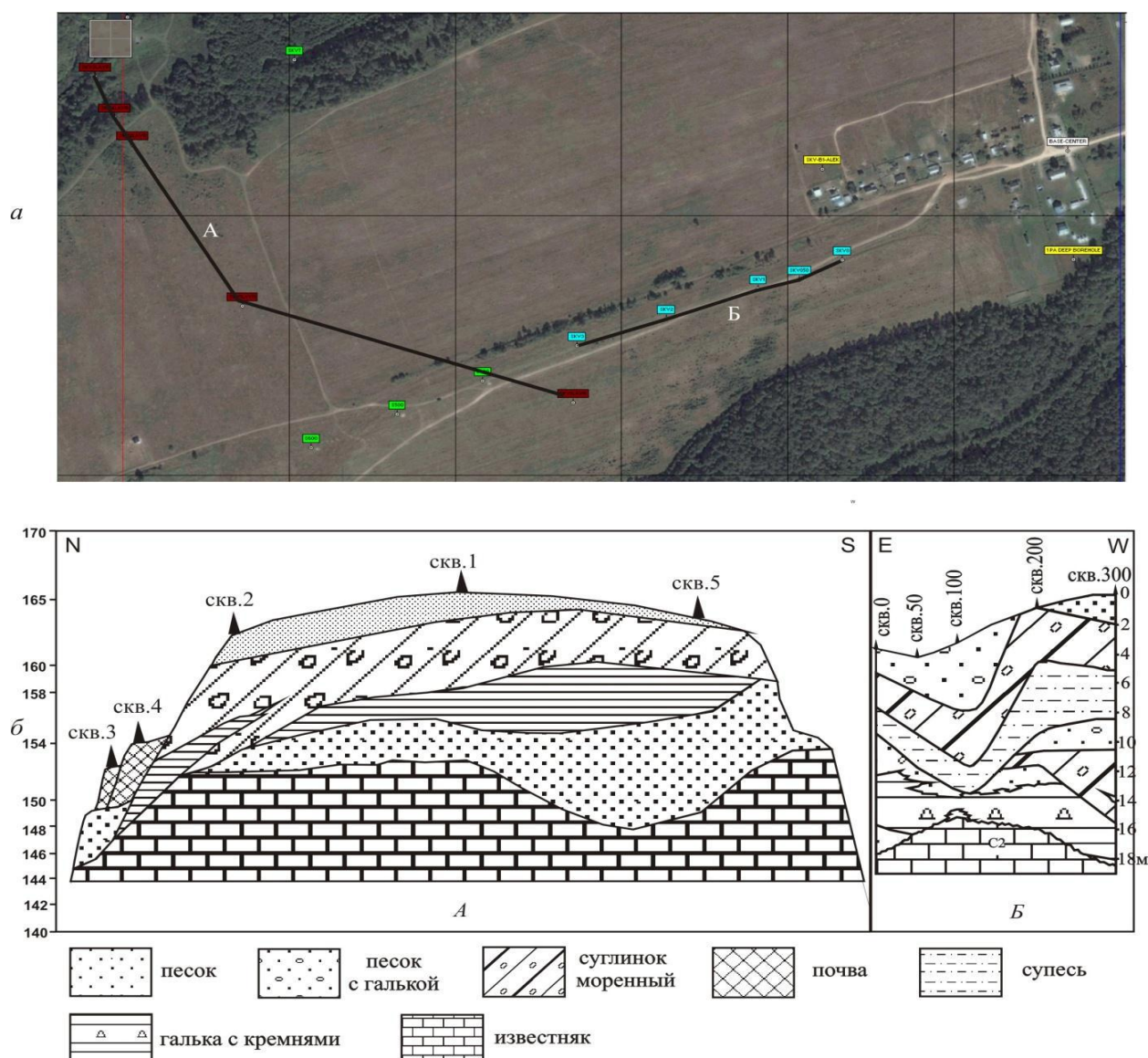


Рисунок 4. Положение инженерно-геологических разрезов в плане на Александровском плато (а). (б) Инженерно-геологические разрезы через Александровское плато с севера на юг (А) и с востока на запад (Б) [6].

Согласно описанию опорной скважины №1 П/А (Рисунок 5) с глубиной забоя около 300 м, верхняя часть разреза, характерная для Александровского плато представлена следующими горизонтами:

- калининский горизонт четвертичной системы (A2IIIkl), представленный желтоватым разнотернистым песком с включением грубообломочного материала (до 30%);
- московский горизонт четвертичной системы (QIIms2, представленный коричневым суглинком с включением гравия и гальки (до 20%);
- михайловский горизонт каменноугольной системы (C1mh), представленный серым и коричнево-серым известняком (массивный, мелкозернистый) с прослоями глины и алевроита;
- алексинский горизонт каменноугольной системы (C1al), представленный переслаиванием песка, глины и известняка.

Мощность четвертичных отложений, таким образом, в районе работ колеблется от 0 до 20 м. Наиболее контрастной границей для сейсморазведки в разрезе следует ожидать границу между четвертичными и каменноугольными отложениями.

СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ЯРУС	ПОДЪЯРУС	ГОРИЗОНТ	ИНДЕКС	Литологическая колонка	Глубина, м.	Мощность, м.	Характеристика пород
БНАЯ И СКИ РХНИИ				Калининский	A ² IIIkl		4,0	4	Песок желтоватый, разнотернистый, с включениями грубообломочного материала (до 30%)
				Московский	QIIms ²		11,0	7	Суглинок коричневый с включениями гравия и гальки (до 20%)
				Михайловский	C ₁ mh		19,0	8	Известняк серый, коричнево-серый, массивный, мелкозернистый, с прослоями глины и алевроита
				Алексинский	C ₁ al		45,0	26	Переслаивание песка, глины и известняка

Рисунок 5. Стратиграфическая колонка параметрической опорной скважины №1 П/А на территории геофизического полигона (Калужская область, д. Александровка).

На территории геофизического полигона, в рамках летних и зимних практик, проведено большое количество геофизических исследований: магниторазведка,

гравиразведка, различные методы малоглубинной и глубинной электроразведки, сейсмические методы МПВ, ОГТ и MASW, по которым написаны многочисленные студенческие отчеты. Пример разреза МПВ в изолиниях скоростей продольных волн, полученного на геофизическом полигоне, можно увидеть на Рисунок 6.

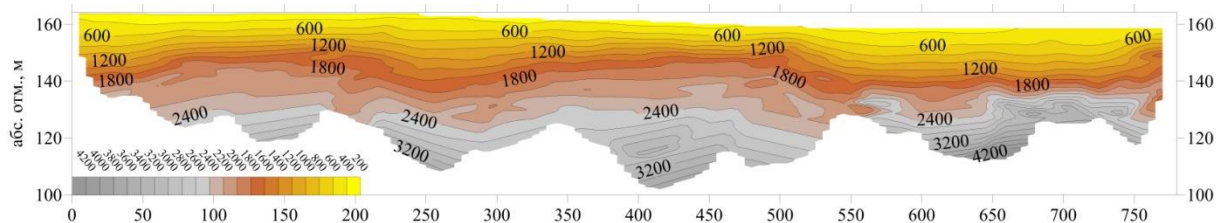


Рисунок 6. Пример сейсмического разреза в изолиниях скорости продольных волн. Сечение изолиний 200 м/с (по Ермакову А.П.).

Скорости распространения сейсмических волн, типичные для ВЧР района геофизического полигона, представлены в Таблица 1.

Таблица 1. Типичные значения скоростей продольных V_P и поперечных V_S волн.

Порода или среда	V_P , км/с	V_S , км/с
Вода	1.43 – 1.59	-
Почва	0.2 – 0.4	-
Сухие пески, суглинки, галька, гравий, щебень	0.2 - 0.8	0.1 – 0.4
Те же породы, насыщенные водой	1.3 – 1.8	0.1 – 0.5
Глина влажная	1.4 – 2.5	0.4 – 0.7
Песчаник	1.8 – 4.0	0.7 – 2.1
Мергель	2.0 – 3.5	0.3 – 1.8
Известняк, доломит	1.8 – 6.0	1.2 – 3.5
Лед, мерзлые водонасыщенные пески и глины (зимнее время)	3.2 – 4.0	1.6 – 2.1

Как отмечают многие исследователи [12, 13], зимой дисперсия поверхностных волн меньше, нежели летом, поэтому работать методами, не связанными с поверхностной волной, предпочтительнее зимой. В качестве примера приведем сейсмические записи, полученные на одном профиле летом и зимой. На них хорошо видно, что цуг поверхностной волны зимой уже, чем летом (Рисунок 7).

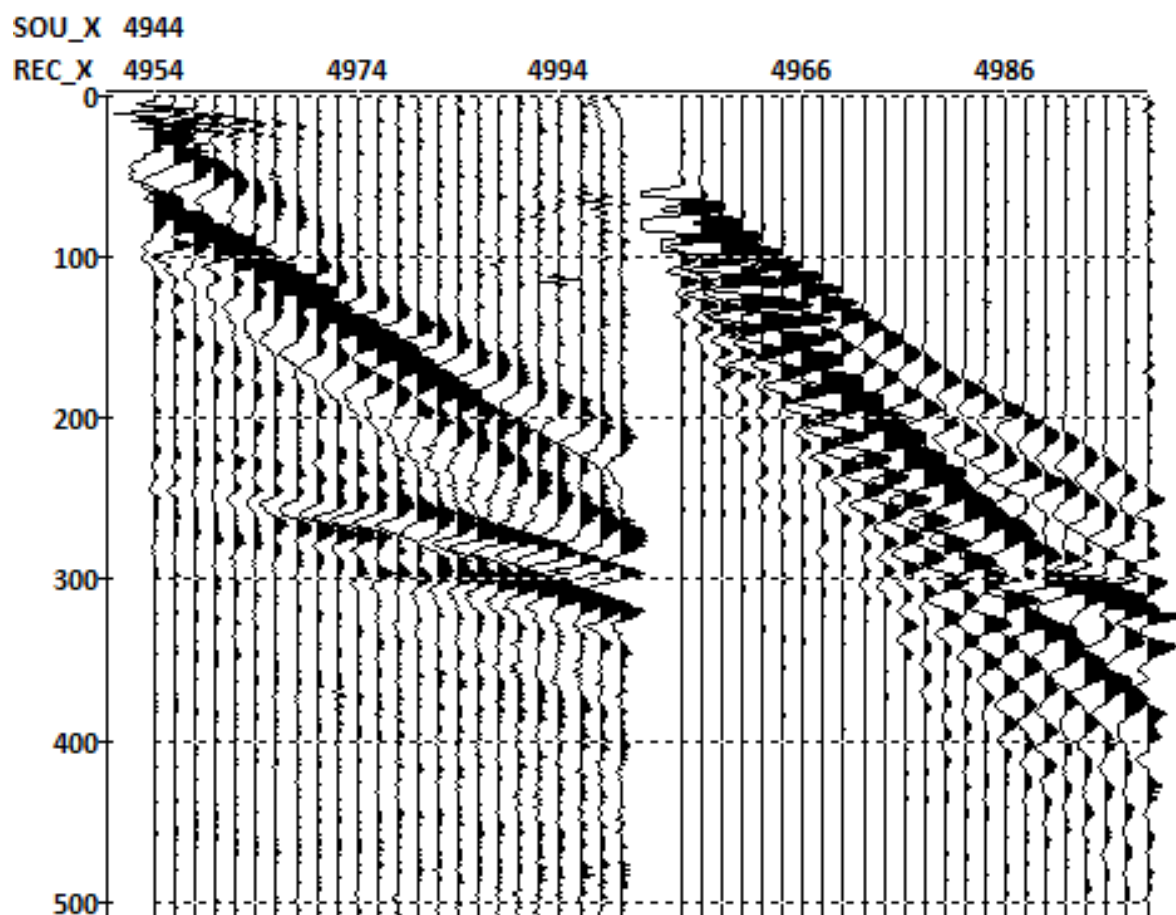


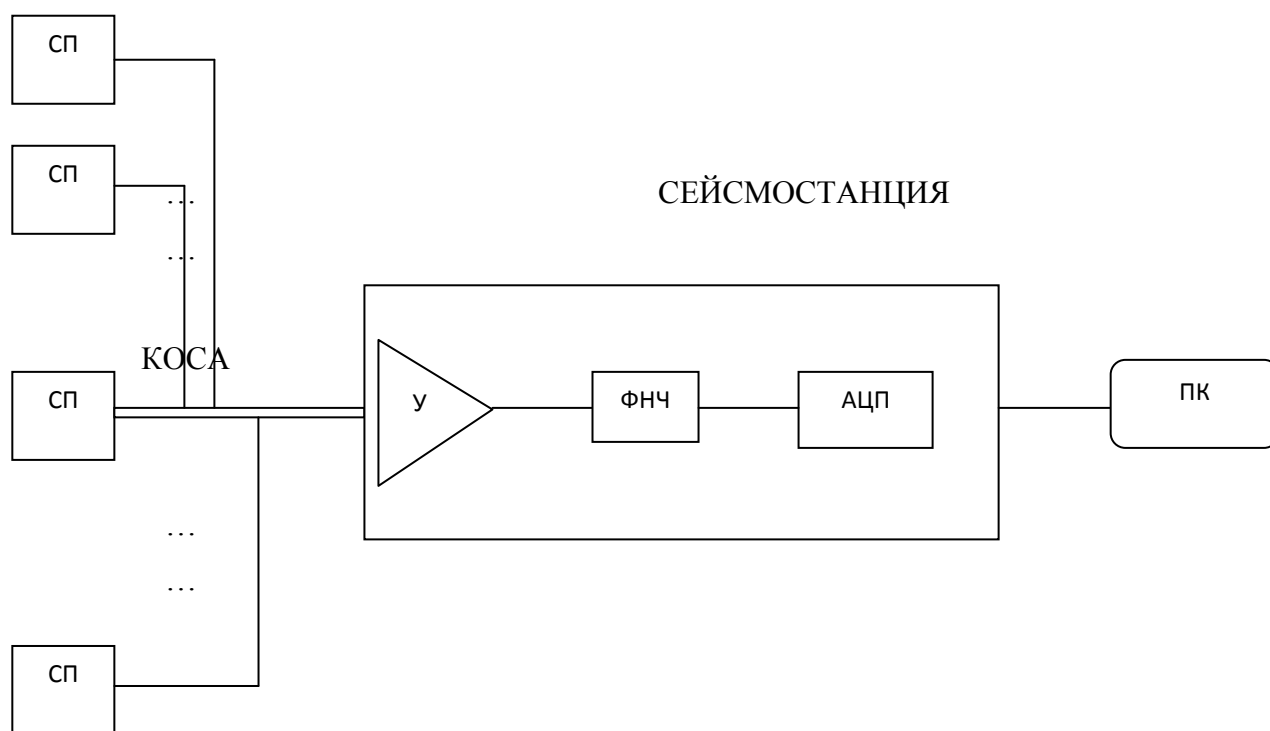
Рисунок 7. Сейсмограммы ОПВ, полученные при одном положении приемной линии при отсутствии/наличии инверсного слоя (слева – сейсмограмма, полученная в зимний период, справа – в летний) (по Турчкову А.М.).

Глава 2. Сейсморазведочная аппаратура и методика полевых работ

В техническом отношении сейсморазведка является одним из наиболее сложных видов геофизических исследований. Это связано, в первую очередь, с многоэлементностью сейсмической аппаратуры.

При производстве полевых сейсморазведочных работ использовалась специализированная сертифицированная аппаратура, позволяющая проводить исследования методами МОВ и МПВ для инженерно-геологических целей. Собственно сейсмическая аппаратура включает в себя: источник упругих волн, устройства, принимающие упругие колебания и преобразующие их в электрические – сейсмоприёмники, сеймостанцию, которая представляет собой многоканальный регистратор, управляющий возбуждением источника и обеспечивающий точный отсчёт времени от момента включения источника до конца записи упругих колебаний.

Упрощенная блок-схема основных узлов сейсморазведочной аппаратуры выглядит следующим образом:



На схеме были приведены следующие обозначения элементов сейсмической аппаратуры:

СП – сейсмоприёмник;

У – усилитель;

ФНЧ – фильтр низких частот;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

ПК – персональный компьютер.

2.1. Источники.

Источником упругих волн может являться любое устройство, позволяющее в заданный момент времени осуществить механическое воздействие на поверхность упругой среды.

При полевых работах на ВГЭС-1 возбуждение продольных волн производилось с помощью удара кувалды весом 7 кг по металлической платформе (Рисунок 8) и пневмоударником «ИСЭМ Тритон» (Рисунок 9).



Рисунок 8. Возбуждение упругих колебаний кувалдой.



Рисунок 9. Сейсмический источник «ИСЭМ Тритон».

2.2. Приемная аппаратура.

Пришедшая к поверхности сейсмическая волна вызывает смещение частиц грунта, которое регистрируется электродинамическим сейсмоприемником (Рисунок 10). При полевых работах использовались сейсмоприемники с вертикальной и горизонтальной осями чувствительности. Сейсмоприемник с вертикальной осью чувствительности воспринимает движения частиц среды при прохождении продольных волн, а с горизонтальной осью чувствительности - при прохождении поперечных волн. Центральная частота сейсмоприемников с вертикальной осью чувствительности составляла 30 Гц, сейсмоприемников с горизонтальной осью чувствительности - 10 Гц.

Амплитудно-частотная характеристика сейсмоприемника марки GX-20DX с вертикальной осью чувствительности показана на Рисунок 11.

Перед началом полевых работ была произведена идентичности сейсмоприемников по фазе и амплитуде (Рисунок 12). Фазовые и амплитудные искажения сейсмических сигналов на полученной сейсмограмме не превышают допустимые значения.

Синхронизация момента возбуждения и начала регистрации сейсмических событий осуществлялась с помощью микрофона и моментной линии. В момент возбуждения звук удара фиксировался микрофоном, после чего начиналась регистрация сейсмических событий.

Аналоговый сигнал, поступающий с сейсмоприемников, передавался на специализированную сейсмическую станцию по сейсмическим косам.



Рисунок 10. Внешний вид сейсмоприемников с горизонтальной (слева) и вертикальной (справа) осями чувствительности.

При полевых наблюдениях использовалась цифровая многоканальная сейсмостанция «Summit Compact» (производство компании DMT, Германия) с полевым ноутбуком, где происходила визуализация и запись полевых данных (Рисунок 13). Сейсмостанция представляет собой многоканальный усилитель, снабжённый фильтрами, основным из которых является ФНЧ (фильтр низких частот). Основное назначение сейсмической станции – усиление, оцифровка и частотная фильтрация зарегистрированных сейсмических сигналов.

Характеристики сейсмической станции "Summit Compact":

Интервал выборки	1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 мс
Длина записи	0,5 К, ..., 120 К (К – количество отсчетов)
Предварительное усиление	0 дБ, 20 дБ или 40 дБ
Входное сопротивление	20 кОм
Коэффициент нелинейных искажений	$\leq 0,0008\%$
Ослабление синфазного сигнала	≥ 100 дБ
Точность усиления	1% (между всеми каналами)
Блок питания	+ 9 - 18 VDC@0.2 Вт / канал
Размеры	20,0 x 15,0 x 29,0 см

Вес

4,9 кг

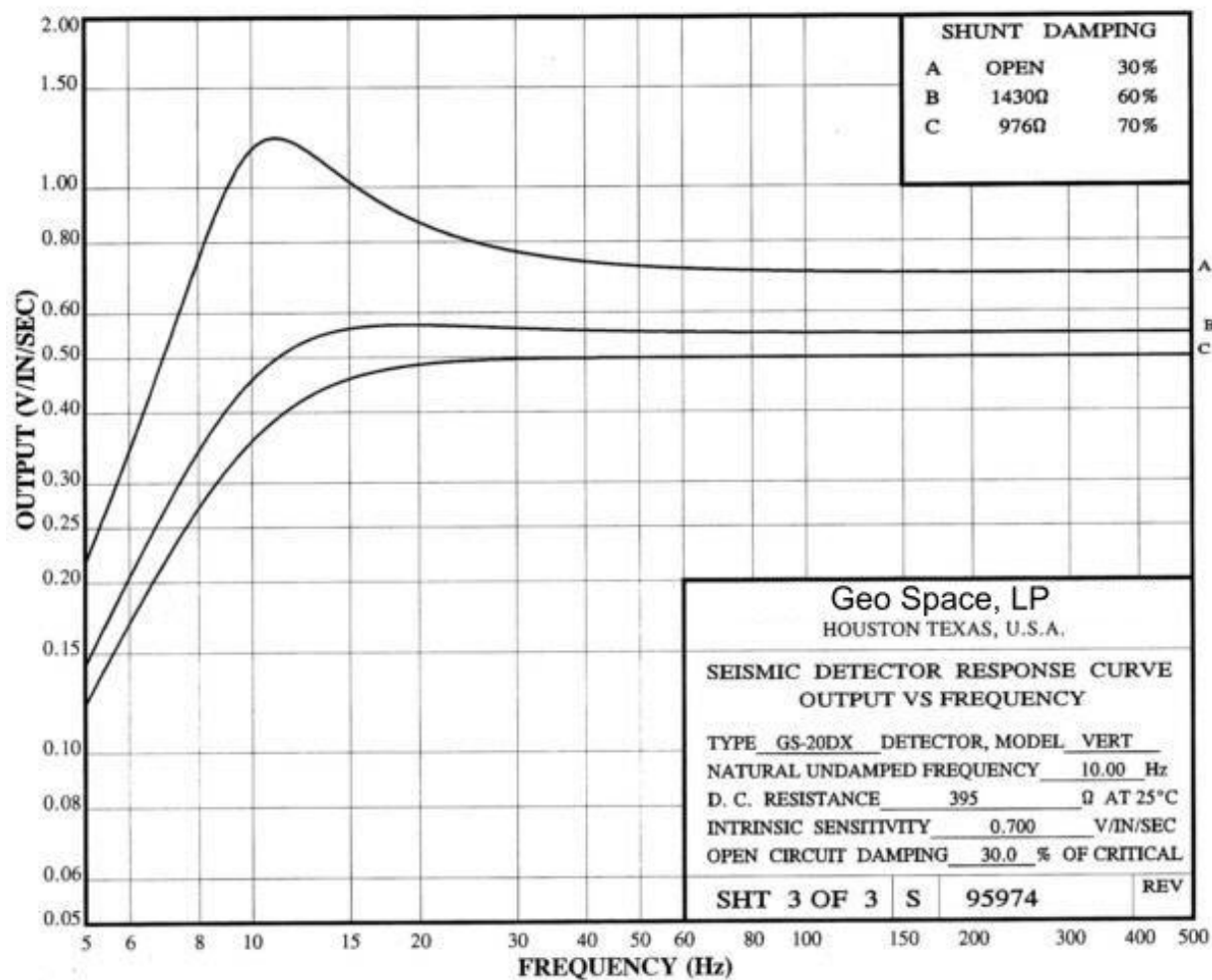


Рисунок 11. Амплитудно-частотная характеристика сейсμοприемника марки GX-20DX с вертикальной осью чувствительности.

Привязка на местности осуществлялась с помощью GPS Garmin 62.

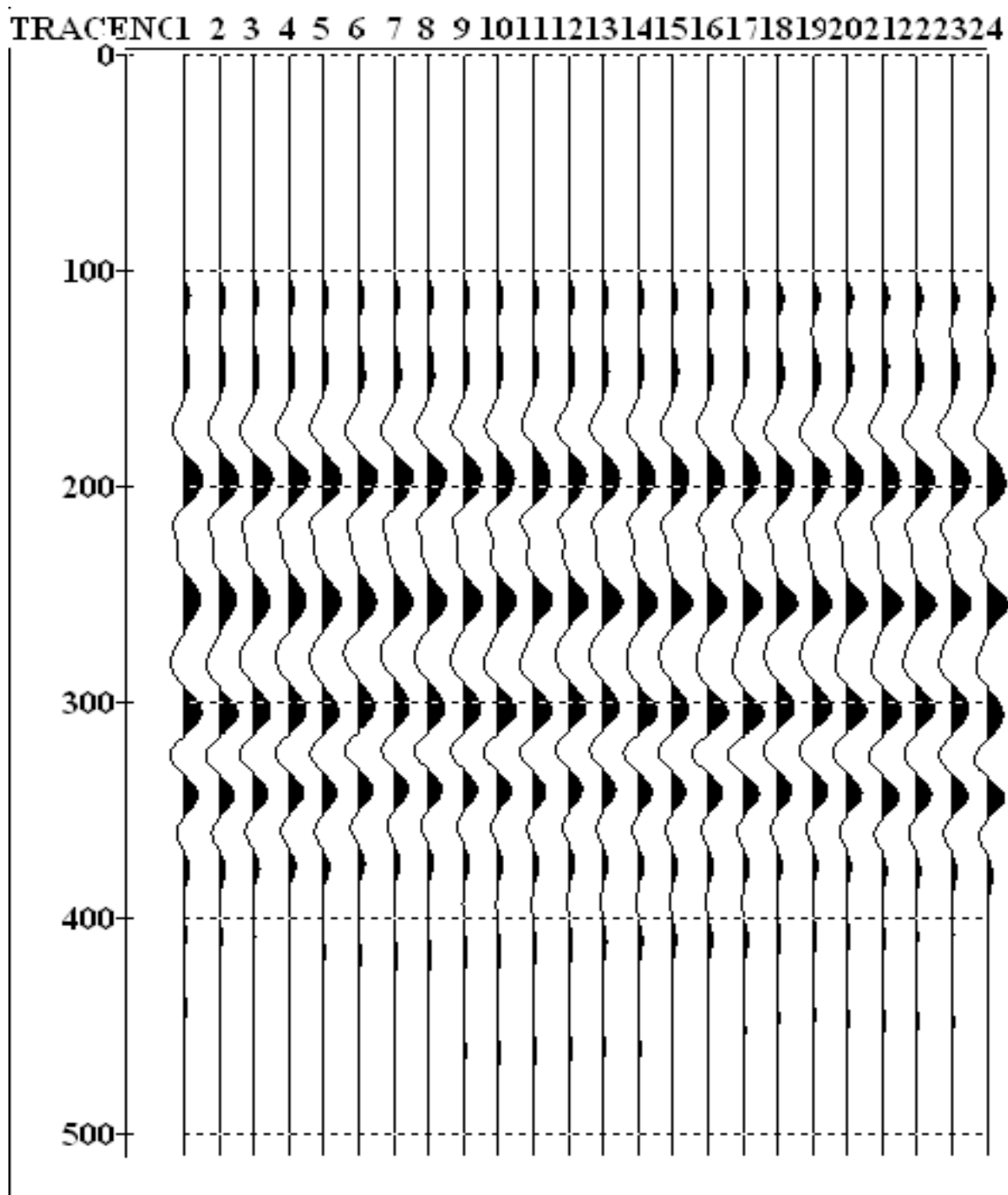


Рисунок 12. Сейсмограмма фазовой и амплитудной идентичности сейсмоприемников. Здесь и далее по оси абсцисс отложен номер сейсмического канала или расстояние по профилю, по оси ординат отложено время в мс.



Рисунок 13. Сейсмическая станция «Summit Compact» в собранном состоянии с полевым ноутбуком.

При работах в д. Александровка, кроме вышеупомянутых приемников и станции «Summit Compact», использовалась станция «Лакколит Х2» (Рисунок 14).

Характеристики станции «Лакколит Х2»:

число каналов	24
разрядность АЦП	24
поканальная аттенюация сигнала	0, 20, 40 дБ
время регистрации	128, 256, 512, 1024, 2048, 4096 мс
время задержки регистрации	от -512 до 512 мс
число отсчётов на канал	до 3072
число накоплений	до 32000
полоса регистрируемых частот	5-4000 Гц
диапазон рабочих температур	–30 - +50 градусов
уровень приведённых к входу шумов	0.25 мкВ
Масса	2.5 кг

Питание	12 В
средняя потребляемая мощность	5.5 Вт
частота цифрового режекторного фильтра, Гц	50, 150, 200, 250
наличие синус тест генератора	есть
контроль сейсмокосы	есть



Рисунок 14. Внешний вид сейсмической станции «Лакколит X2».

2.3. Методика полевых наблюдений.

2.3.1. Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1.

Для работы на ГЭС-1 использовалась следующая сейсмическая расстановка для оценки возможности методов отраженных волн («короткий» профиль, Рисунок 15): 24-х канальная коса, шаг ПП 2 м, шаг ПВ 4 м. Для оценки возможности работы с регистрацией первых вступлений преломленных волн («длинный» профиль, Рисунок 16): 24-х канальная коса, шаг ПП – 5 м, шаг ПВ – 5 м.

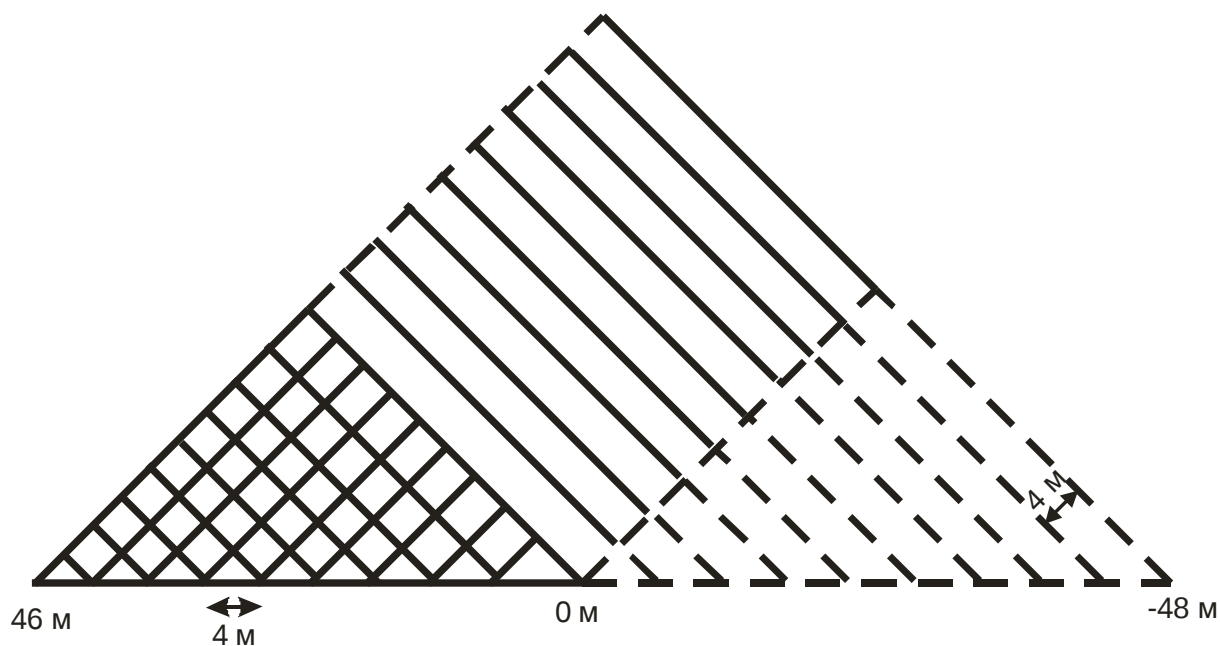


Рисунок 15. Система наблюдений на обобщенной плоскости, «короткий» профиль.

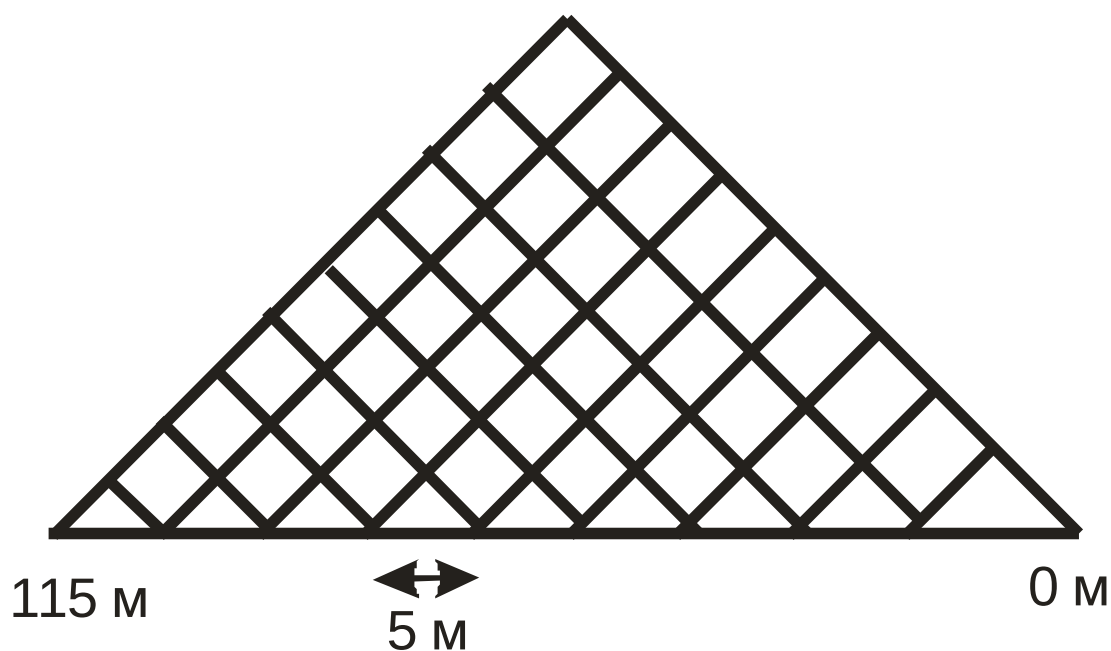


Рисунок 16. Система наблюдений на обобщенной плоскости, «длинный» профиль.

Параметры регистрации сейсмических волн:

- Шаг дискретизации 0.5 мс (частота дискретизации - 2000 Гц);
- Длина записи 512 мс.

Работы проводились в 100 м от плотины (Рисунок 17) по профилю вдоль дороги.

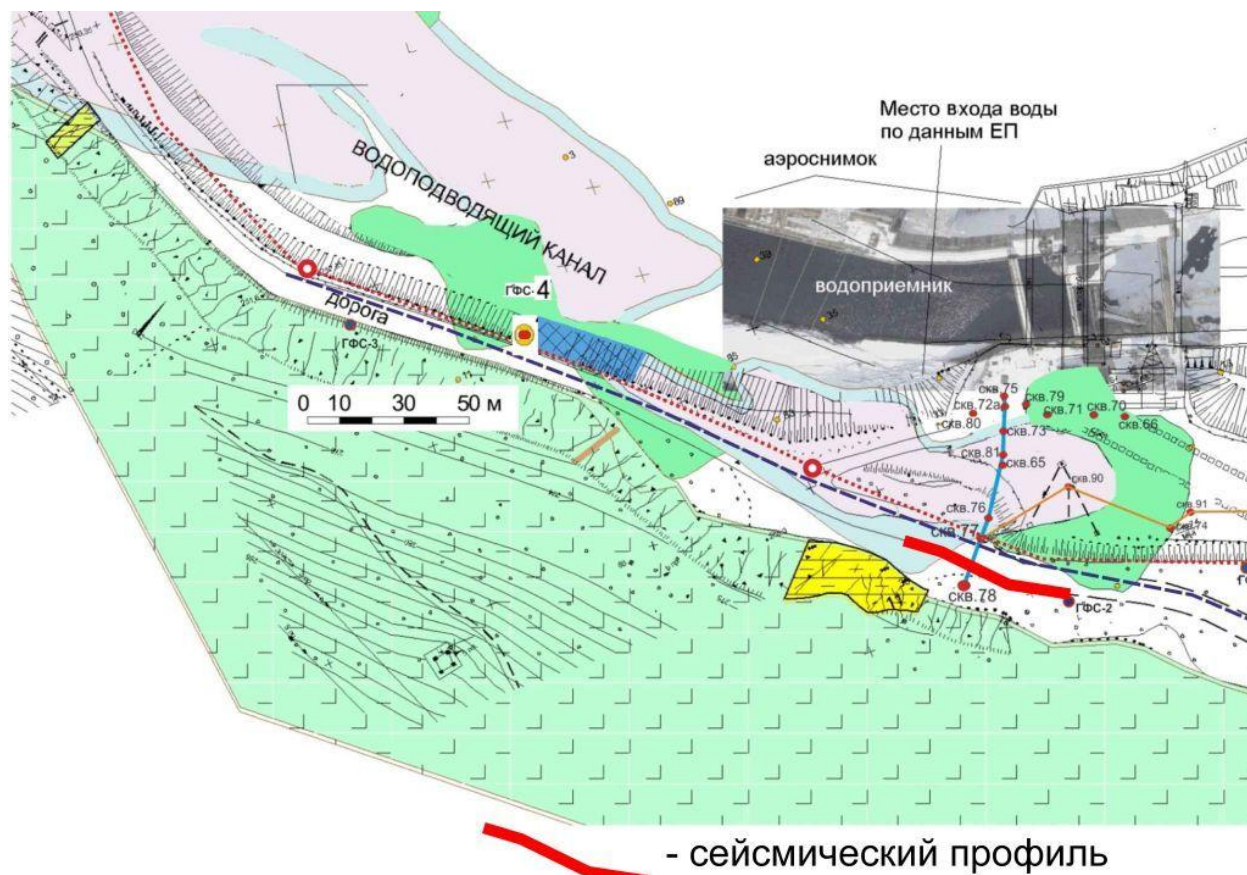


Рисунок 17. Схема района работ около ВГЭС-1.

2.3.2. Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон.

При работах методом MASW на геофизическом полигоне в д. Александровка использовалась следующая сейсмическая расстановка: 24-х канальная коса, шаг ПП 1 м, ПВ на -10 м (Рисунок 18).

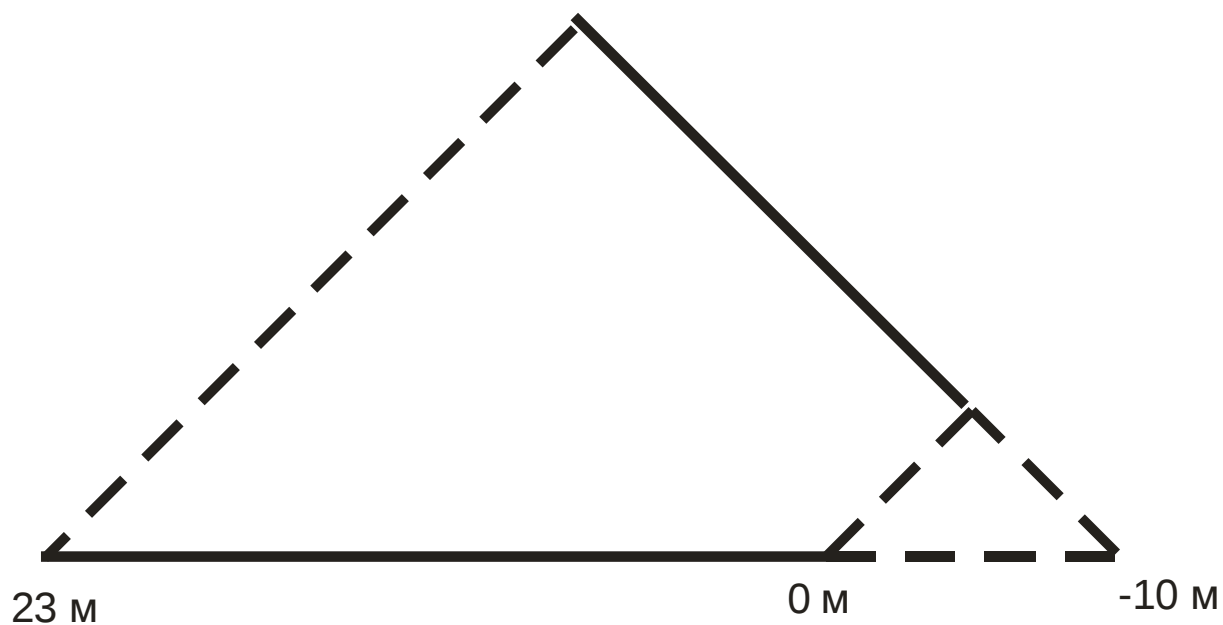


Рисунок 18. Система наблюдений на обобщенной плоскости, метод MASW на геофизическом полигоне.

Параметры регистрации использовались такие же, как и при работах на ГЭС-1.

Работы проводились в летнее и зимнее время по различным профилям (Рисунок 19).



Рисунок 19. Схема района работ на геофизическом полигоне, д. Александровка.

Глава 3. Характеристика волновой картины на сейсмических записях, скорости распространения регулярных сейсмических волн

3.1. Мирнинский район, п. Чернышевский, ГЭС-1

В процессе полевых работ на ГЭС-1 были получены сейсмограммы ОПВ (Рисунок 20), каждая из которых соответствует одному пункту возбуждения. На всех сейсмограммах в первых вступлениях регистрируются преломленные волны.

Продольные преломленные волны для «короткого» профиля (шаг ПП - 2 м) наблюдаются с удаления 12 м от источника. На максимальном удалении 46 м время прихода регистрации продольной волны около 33 мс при кажущейся скорости около 2000 м/с.

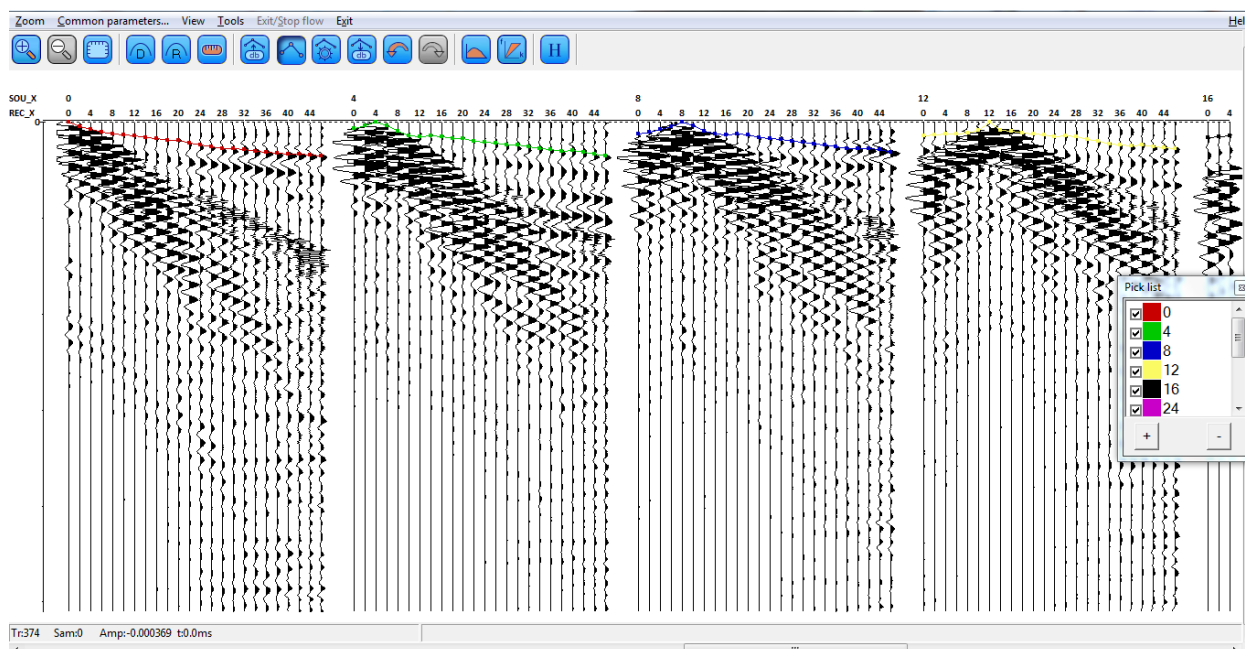


Рисунок 20. Сейсмограммы ОПВ с оцифрованными первыми вступлениями продольных преломленных волн.

Поверхностные волны образуют цуг с кажущейся скоростью фазы, наилучшим образом прослеживающейся на сейсмограмме, равной 330 м/с.

Продольные преломленные волны для «длинного» профиля (шаг ПП - 5 м) наблюдаются с удаления 20 м от источника. На максимальном удалении 115 м время прихода регистрации продольной волны около 47 мс при кажущейся скорости около 2500 м/с.

Годографы преломленных волн не всегда линейны, содержат участки с повышенными и пониженными значениями кажущейся скорости.

При вычислении скоростных разрезов МПВ использовалась двумерно-неоднородная модель среды, допускающая изменение скорости, как в вертикальном, так и в латеральном направлениях. При этом скорость может изменяться произвольно, т.е., как увеличиваться, так и уменьшаться.

Основной проблемой при оцифровке первых вступлений преломленных волн на сейсмограммах ОПВ явилась фазовая корреляция полезной волны от трассы к трассе из-за интенсивной помехи от ГЭС. В связи с этим при построении скоростных разрезов использовались только сейсмограммы с уверенной фазовой корреляцией первых волн.

Глубинность сейсмических разрезов составила около 3 м для «короткого» профиля (см. Рисунок 2) и около 20 м для «длинного» профиля (см. Рисунок 3) при максимальной длине годографа 80 м.

Как видно на скоростных разрезах, скорость продольных волн на сейсмических разрезах меняется от 500 м/с вблизи поверхности земли до 2400 м/с на глубине порядка 25 м.

3.2. Промышленная помеха, связанная с работой ГЭС

Изучение сейсмогеологической обстановки на исследуемом борту ВГЭС-1 до глубин порядка 100-150 м предполагает использование методов отраженных волн, позволяющих исследовать большие глубины по сравнению с методами преломленных для приемных линий около 100 м.

Сейсмические исследования вдоль опорного профиля проводились с шагом между пунктами приема 2 и 5 м. Таким образом, были отработаны сейсмические профили длиной 46 и 115 м соответственно при использовании 24 сейсмических каналов. Назовем условно профиль длиной 46 м «короткий профиль», профиль длиной 115 м «длинный профиль».

Анализ зарегистрированных волновых полей на сейсмических записях (сейсмограммы ОПВ) свидетельствует о значительном уровне промышленных помех. При этом наибольшую интенсивность, превышающую все другие регулярные волны, имеет шум от работы агрегатов гидроэлектростанции (ГЭС-1).

На сейсмограммах ОПВ шум от ГЭС регистрируется в виде субгоризонтальных осей синфазности с высокой амплитудой. Субгоризонтальное положение осей синфазности, соответствующих шуму от ГЭС, определяется размещением сейсмического профиля. Для выбранного положения приемной линии, показанной на Рисунок 17, сейсмическая помеха от ГЭС будет приходить на сейсмические приемники практически одновременно.

С другой стороны кинематический набег (разность хода) на самых больших удалениях выбранной сейсмической расстановки при целевых глубинах более 50 м и скоростях распространения продольных сейсмических волн более 2000 м/с, характерных для пород на этих глубинах, будет составлять 1-2 мс. Т.е. оси синфазности тоже будут практически горизонтальными. Отсюда следует важный вывод: *для заданного положения сейсмического профиля по кинематическим признакам (наклону осей синфазности) невозможно разделить оси синфазности полезных отраженных волн и помехи от ГЭС*. Данная проблема может быть частично решена при использовании сейсмического профиля другой ориентации относительно источника шума, в идеальном случае ортогонально положению опорного профиля (поперек дороги). Таким образом, шум от ГЭС представляет собой основную помеху, затрудняющую выделение отраженных волн на сейсмических записях.

Несмотря на перечисленные выше ограничения применения сейсморазведки на отраженных волнах, для двух профилей – «короткому» и «длинному» путем сортировки трасс с нулевым удалением (совмещенный источник и приемник) были сформированы временные разрезы с целью выяснения возможности выделения на них каких-либо осей синфазности отраженных волн.

Наибольшая информативность была получена на разрезе по короткому профилю (Рисунок 21). Здесь удастся выделить, по крайней мере, две оси синфазности отраженных волн на временах около 150 мс и 200 мс. Обе выделенные оси синфазности отраженных волн имеют схожие сейсмогеологические черты (подобны). Таким образом, выделенные оси синфазности возможно являются результатом отражения сейсмических волн от геологических (возможно, сейсмических) границ, поскольку, если бы данный результат был следствием «удачного» наложения фаз помехи от ГЭС-1, то выделенные границы вряд ли могли быть подобны и иметь общие геологические черты. Тем не менее, возможность выделения отражающих горизонтов с помощью сборки разрезов по нулевому удалению требует дополнительных исследований: выполнения большего количества профилей и использование большей длины приемной линии, что требует большой исследовательской работы и в рамках моего бакалаврского диплома не рассматривается.

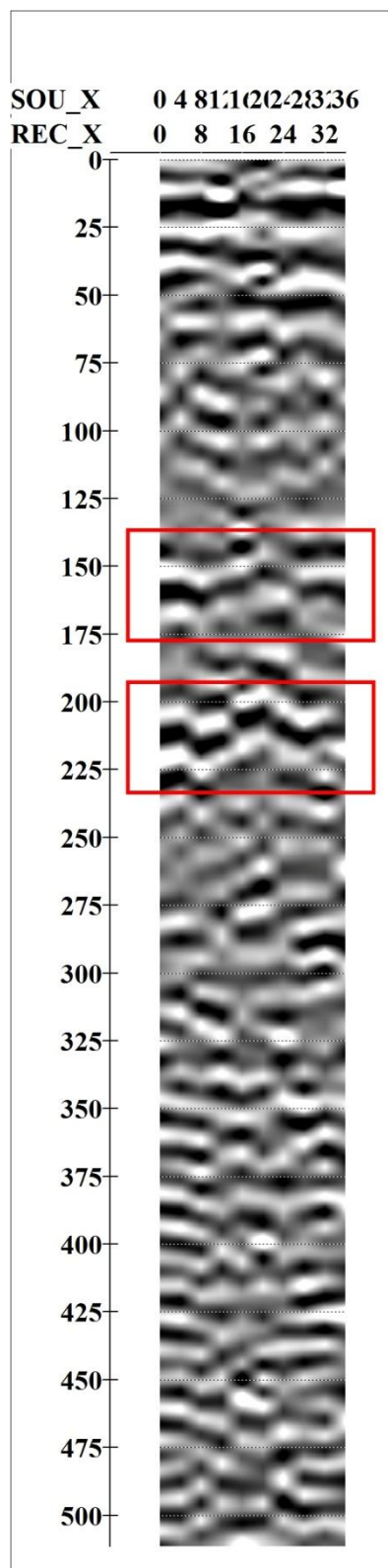


Рисунок 21. Временной разрез «t0» по «короткому» профилю. Красными прямоугольниками показаны положения осей синфазности отраженных волн. Использована полосовая фильтрация (10-20-60-180) и амплитудная коррекция в окне 100 мс.

3.3. Калужская область, д. Александровка, геофизический полигон МГУ

В процессе полевых работ на геофизическом полигоне были получены сейсмограммы ОПВ (Рисунок 22), каждая из которых соответствует одному пункту возбуждения. На всех сейсмограммах в первых вступлениях регистрируются преломленные волны.

Продольные преломленные волны для «летнего» профиля наблюдаются с удаления 16 м от источника. На максимальном удалении 28 м время прихода регистрации продольной волны около 78 мс при кажущейся скорости около 350 м/с.

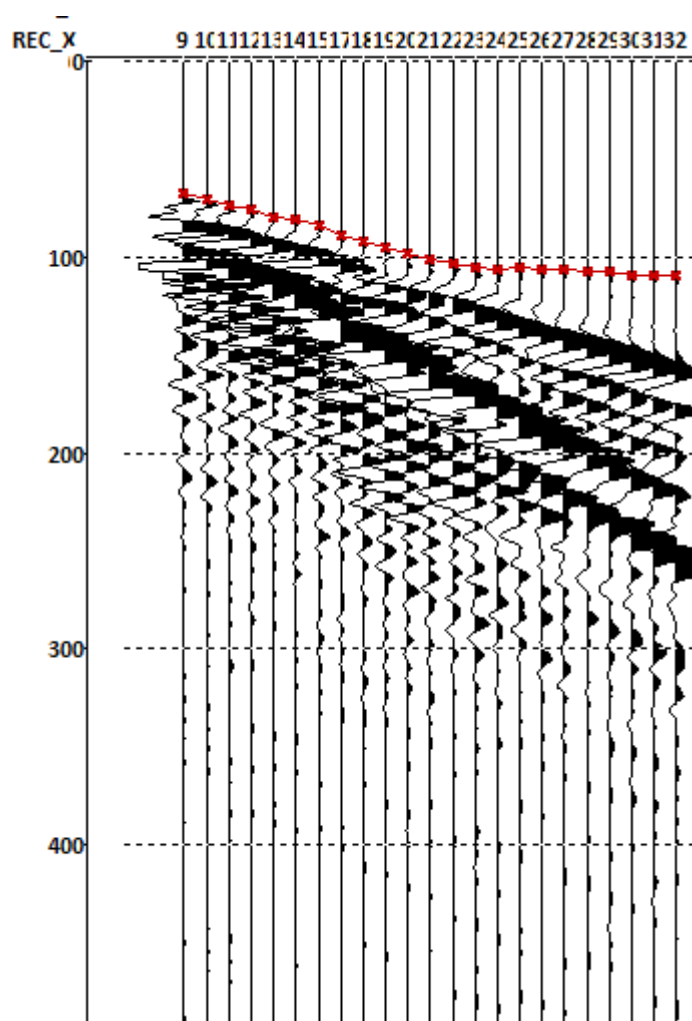


Рисунок 22. Сейсмограммы ОПВ с оцифрованными первыми вступлениями продольных преломленных волн.

Продольные преломленные волны для «зимнего» профиля наблюдаются с удаления 15 м от источника. На максимальном удалении 33 м время прихода регистрации продольной волны около 75 мс при кажущейся скорости около 440 м/с.

Годографы преломленных волн практически линейны.

Сейсмические исследования вдоль профилей проводились с шагом между пунктами приема 1 м. Таким образом, были отработаны сейсмические профили длиной 100 и 180 м соответственно при использовании 24 сейсмических каналов. Назовем условно профиль длиной 100 м «зимний профиль» (работы проводились зимой), профиль длиной 160 м «летний профиль» (работы проводились летом).

Анализ зарегистрированных волновых полей на сейсмических записях (сейсмограммы ОПВ) свидетельствует о незначительном уровне помех.

На «летнем» профиле поверхностные волны образуют цуг с кажущимися скоростями от 150 до 330 м/с, на «зимнем» - от 150 до 230 м/с.

Для выяснения характера распределения скоростей сейсмических волн в среде были вычислены сейсмические разрезы по данным МПВ. При этом использовалась двумерно-неоднородная модель среды, допускающая изменение скорости, как в вертикальном, так и в латеральном направлениях. Причем скорость может изменяться произвольно, т.е., как увеличиваться, так и уменьшаться.

Глубинность сейсмических разрезов составила около 10 м для «зимнего» профиля (Рисунок 23) и около 35 м для «летнего» профиля (Рисунок 24). Как уже было отмечено, разрезы получены для различных профилей, в разное время (зима-лето).

Как видно на скоростных разрезах, скорость поперечных волн на сейсмических разрезах меняется от 150 м/с вблизи поверхности земли до 600 м/с на глубине порядка 35 м.

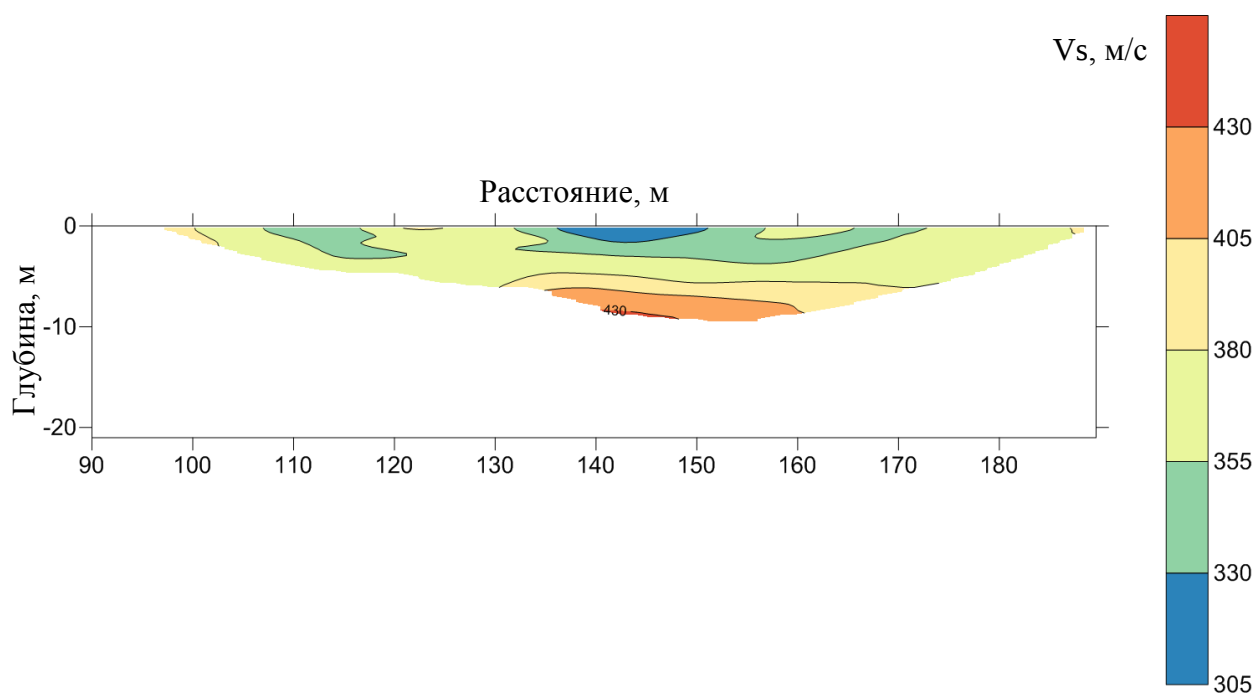


Рисунок 23. Глубинный разрез в изолиниях скорости поперечных волн по «зимнему» профилю. Шаг изолиний 15 м/с.

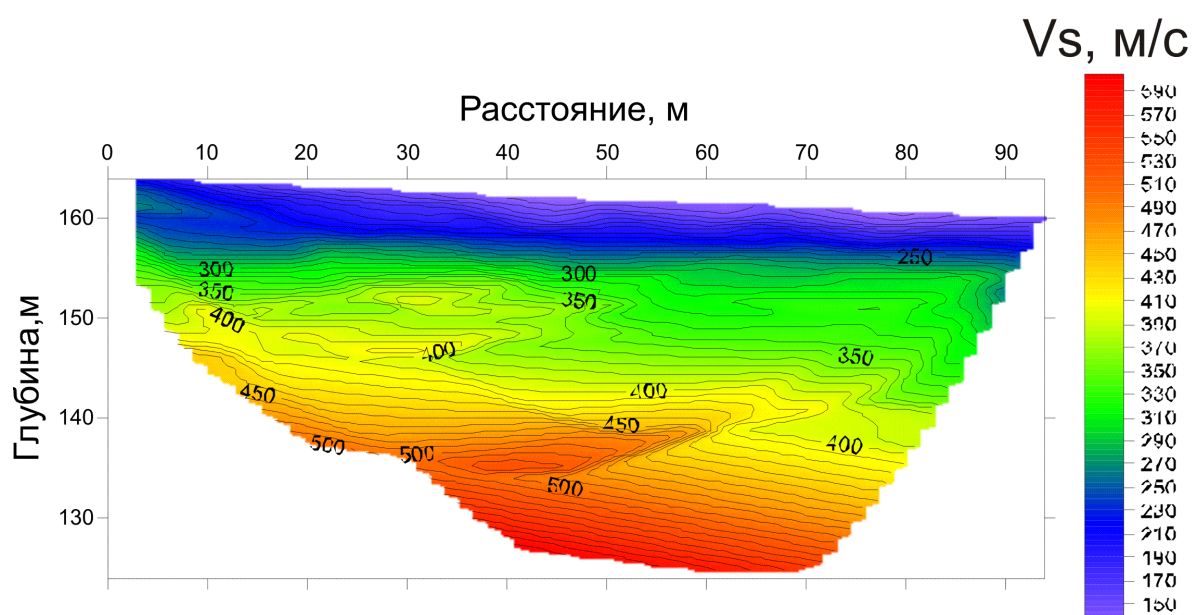


Рисунок 24. Глубинный разрез в изолиниях скорости поперечных волн по «летнему» профилю. Шаг изолиний 10 м/с. Глубины даны в абсолютных отметках над уровнем моря.

Глава 4. Построение разрезов в изолиниях скорости поперечных волн с помощью метода поверхностных волн

Для выяснения характера распределения скорости распространения поперечных волн в среде использовался метод MASW.

4.1. Теория метода MASW.

Помимо объемных поперечных и продольных волн, в среде с границей могут распространяться также поверхностные волны, амплитуда которых уменьшается с удалением от границы. Наиболее важными для наземной сейсморазведки типами поверхностных волн являются волны Лява и Рэлея, которые распространяются вдоль свободной поверхности, то есть вдоль границы среды и вакуума. Хотя граница «земля-воздух», строго говоря, не является свободной поверхностью, тем не менее, упругие константы и плотность воздуха много меньше соответствующих им значениям для горных пород, что земную поверхность можно приблизительно считать свободной [1]. Будем рассматривать только волны Рэлея, ввиду того, что они получили большее распространение в наземной сейсморазведке в качестве полезных волн.

Основные свойства волны Рэлея можно получить, анализируя уравнение движения однородной изотропной идеально упругой среды [3]:

$$\rho \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = \mu \Delta U + (\lambda + \mu) \text{grad div} U$$

где U – вектор смещения частиц среды, ρ – плотность, λ и μ – константы Ламэ, Δ – лапласиан. Из решения этого уравнения можно получить траектории движения частиц, находящихся под воздействием волны Рэлея (Рисунок 25). Из рисунка видно, что в верхней части распространения волны Рэлея движение частиц является отступательным, на глубине $z \approx 0.2\lambda_R$ сменяется на вертикальное, а следом на наступательное. Вертикальная компонента смещения всегда больше горизонтальной, и они обе быстро затухают с глубиной. Можно показать [2], что 95% всей энергии поверхностной волны Рэлея находится в слое, мощностью $h_{эфф} = 0.6(1 + \sigma)\lambda_R$, где σ – коэффициент Пуассона, λ_R – длина волны Рэлея, при этом амплитуды вертикального и горизонтального смещения в однородном полупространстве затухают следующим образом [10]:

$$V_{\text{вертик}}(\omega, z) = \frac{k^2 - 2}{k^2} (e^{-r_\alpha z} + \frac{2}{k^2 - 2} e^{-r_\beta z})$$

$$V_{\text{горизонт}}(\omega, z) = \frac{2-k^2}{k^2 \sqrt{1-\gamma^2 k^2}} (e^{-r_\alpha z} + \frac{2}{k^2-2} e^{-r_\beta z}),$$

$$\text{где } r_\alpha = \frac{2\pi}{l} \sqrt{1-\gamma^2 k^2}; r_\beta = \frac{2\pi}{l} \sqrt{1-k^2}; l = 2\pi V_R / \omega; \gamma = \frac{V_s}{V_p}; k = \frac{V_R}{V_s}$$

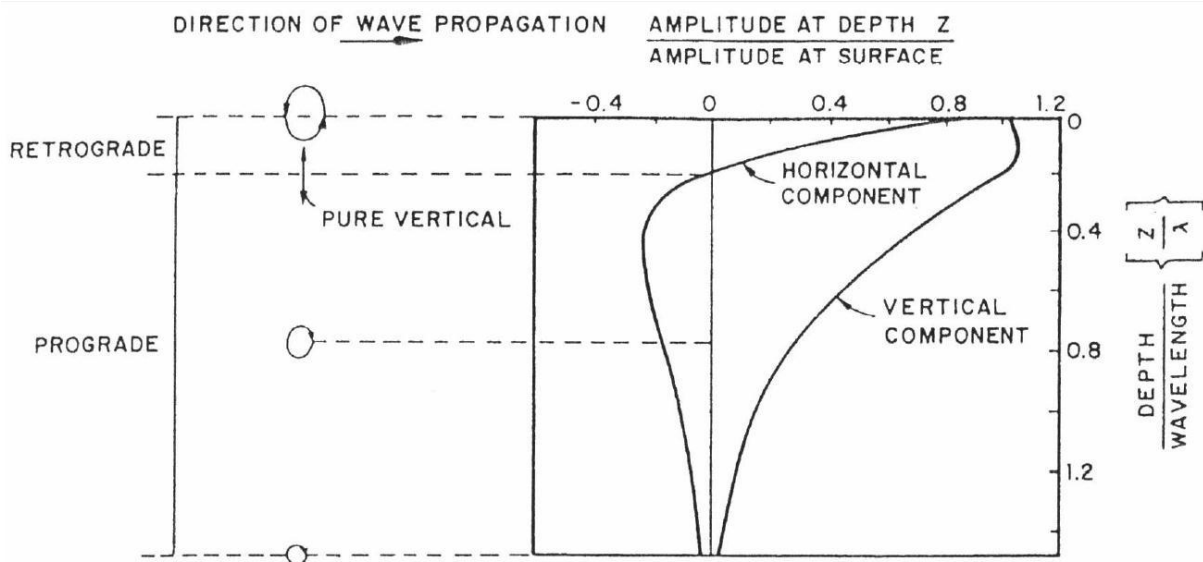


Рисунок 25. Схематическое изображение траекторий движения частиц на разных глубинах под воздействием волны Рэлея

Последние формулы верны для однородного полупространства, в случае же реальных сред мы сталкиваемся с таким явлением как дисперсия (Рисунок 26), которая возникает из-за того, что волны различных частот проникают на разную глубину, которым соответствуют различные скорости. Поэтому, при нормальном скоростном законе, волны с меньшими частотами будут двигаться некоторую часть пути с большей скоростью, что будет приводить к частотной дисперсии волн Рэлея. Это явление и является идеологической основой для использования рэлеевских волн в качестве полезных.

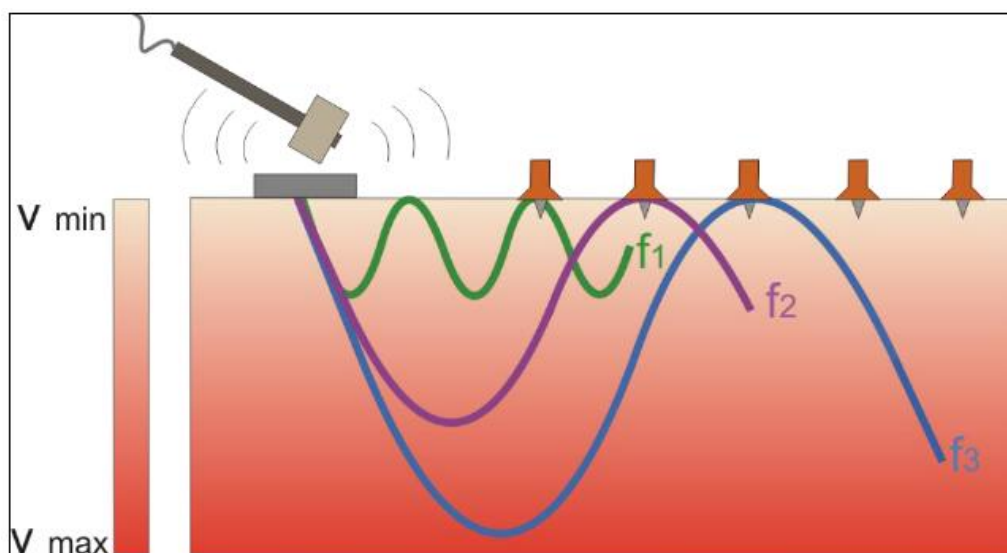


Рисунок 26. Дисперсия волн Рэлея в неоднородной среде.

4.2. Алгоритм работы программы обработки и инверсии данных MASW.

Для дальнейшего анализа и построения разрезов по методу MASW, необходимо знать, во-первых, что использует программа из полевых данных, во-вторых, какую модель использует программа.

При работе программы, используемой мной для построения разрезов методом MASW (RadExPro), из полевых данных получают дисперсионные изображения. Это происходит следующим образом: делается узкополосная фильтрация, с шагом, заданным пользователем, далее, также с шагом, заданным пользователем, перебираются скорости поверхностной волны и суммируются амплитуды вдоль теоретической прямой, соответствующей данной скорости поверхностной волны. Это значение заносится в ячейку, соответствующую заданной частоте и скорости – получается дисперсионное изображение. Затем дисперсионное изображение оцифровывается – получается набор дисперсионных кривых, которые подаются на вход программы инверсии.

Работа программы инверсии подразумевает использование горизонтально-слоистой модели. Для начала работы программы необходимо задать начальную модель: число слоев, расстояние до полупространства, некоторое среднее для разреза значение коэффициента Пуассона (либо скорости продольных волн) и плотности. Далее, методом подбора, учитывая начальную модель, для каждой точки MASW подбирается дисперсионная кривая и строится общий разрез в изолиниях скорости поперечных волн.

Из этого можно сделать вывод, что помешать обработке и получению качественного разреза может либо очень интенсивная помеха, по сравнению с поверхностной волной, либо особенности методики или разреза, которые приведут к «размытости» дисперсионного изображения.

4.3. Схема построения разреза методом MASW.

Как и в других методах сейсморазведки, исследования методами поверхностных волн можно разделить на три этапа: получение (сбор) полевых данных, их обработка и инверсия (Рисунок 27). На этапе получения данных регистрируются рэлеевские волны в максимально широком диапазоне частот, насколько это позволяет аппаратура и методика измерений, причем уклон делается на получение данных о максимально низких частотах, как о несущих в себе информацию о более глубинной части разреза. В процессе обработки из этих данных извлекается информация о частотной дисперсии рэлеевских волн, которая подвергается процедуре инверсии с целью получения разреза в изолиниях скорости поперечных волн.

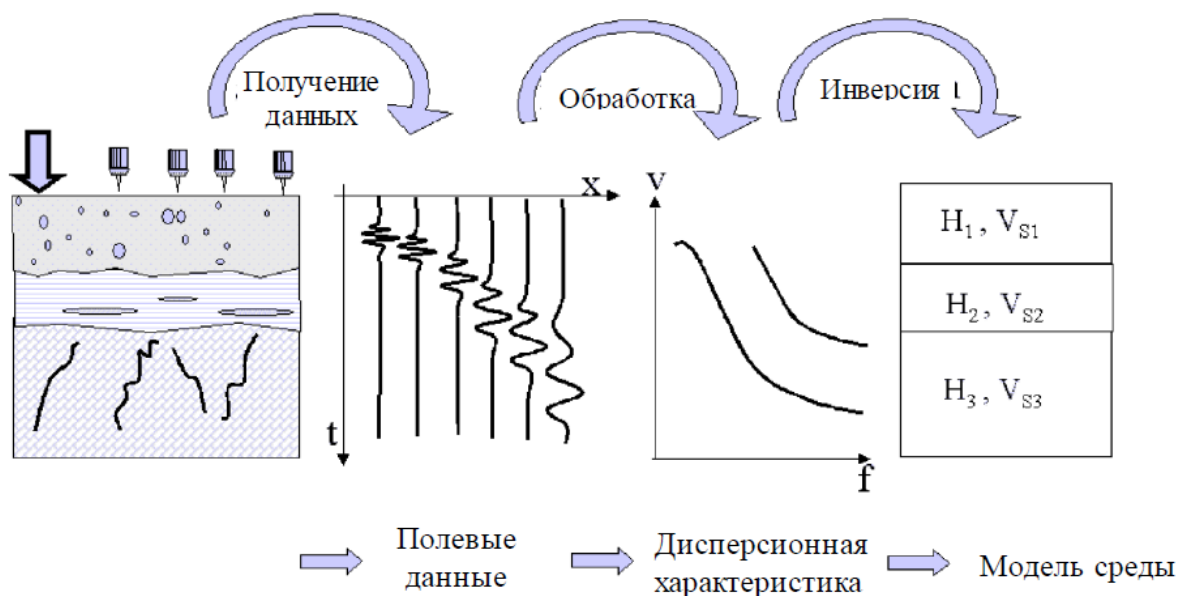


Рисунок 27. Общая схема методов поверхностных волн: получение данных, обработка и инверсия [17]

а) Получение полевых данных осуществляется путем регистрации рэлеевских волн сейсмоприемниками. При этом необходимо помнить о том, что в процессе инверсии вся расстановка приписывается одной точке, хотя содержит в себе интегральную характеристику исследуемой толщи, поэтому неправильно брать слишком длинные расстановки. С другой стороны, чем больше расстановка, тем более четкие и не размытые получают дисперсионные изображения.

б) В процессе обработки происходит переход от полевых сейсмограмм к дисперсионным кривым.

в) Инверсия – построение геологической модели, такой, что рассчитанная по ней теоретическая дисперсионная кривая с достаточной степенью точности совпадает с

наблюденной. Кроме этого условия, на модель также могут накладываться и иные требования: гладкость, удовлетворение априорной информации и др. Инверсия – решение обратной задачи геофизики, то есть процедура некорректная. Это означает, что по данной дисперсионной кривой может быть построено множество различных моделей. Из теории мы знаем, что форма дисперсионной кривой, главным образом, зависит от распределения скоростей поперечных волн, поэтому, как правило, в итоге анализа поверхностных волн строится разрез скоростей поперечных волн.

4.4. Построение разреза в изолиниях скоростей поперченных волн в Мирнинском районе, п. Чернышевский, ГЭС-1.

Как было отмечено выше (см. Глава 3. Характеристика волновой картины на сейсмических записях, скорости распространения регулярных сейсмических волн), волновую картину в районе ГЭС-1 сильно осложняют шумы от работающих турбин электростанции. Но, ввиду относительного расположения профиля и ГЭС-1 (см. Рисунок 17), шум приходит на сейсмоприемники в виде горизонтальных осей синфазности (Рисунок 28), что является помехой для уверенного выделения отраженных волн, но, меньшей помехой для поверхностных волн, ввиду возможности их селекции по кажущейся скорости. Тем не менее, помеха от ГЭС-1 достаточно интенсивна, чтобы избавиться от нее окончательно. Следующей проблемой при обработке методом MASW стало то, что приемники, используемые в процессе выполнения работ, имели центральную частоту 30 Гц, что существенно понижает глубину исследования. И, наконец, не на всех участках работ получилось выделить поверхностную волну, что связано, скорее всего, с малой интенсивностью источника «ИСЭМ Тритон» (Рисунок 29), т.е. интенсивность помехи много больше интенсивности поверхностной волны от источника. Поэтому разрез представлен только для 8 ПВ, где возбуждение волн происходило при помощи удара десятикилограммовой кувалды по плашке.

Однако, для 8 ПВ, удалось получить дисперсионные изображения (Рисунок 30), которые можно было оцифровать. Как видно на этом изображении, выраженный максимум, который относится к поверхностной волне, начинается с частоты около 25-30 Гц, что соответствует центральной частоте сейсмоприемников, используемых при работе на ГЭС-1. Для того чтобы сузить максимум на дисперсионном изображении было сделано предположение, что расползание максимума происходит из-за интенсивной помехи от ГЭС-1, а как мера борьбы с этой помехой было проведено вычитание среднего (Рисунок 30, Рисунок 31).

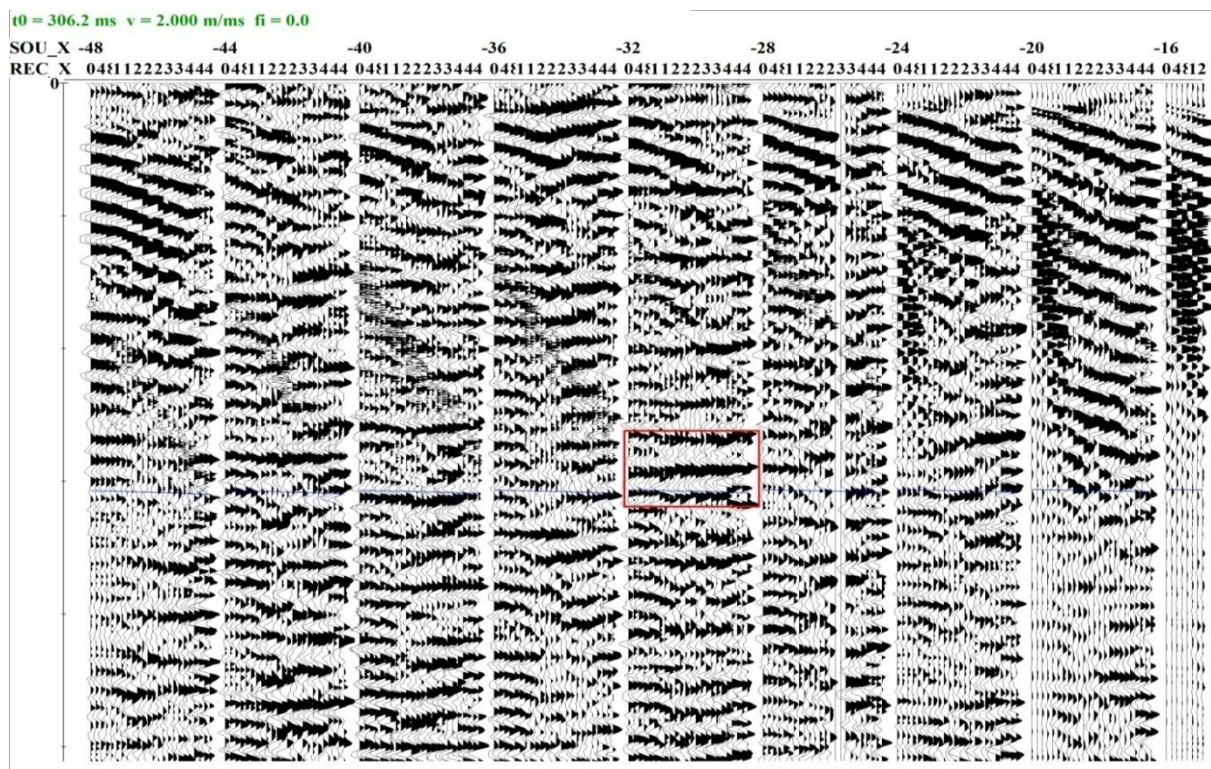


Рисунок 28. Сейсмограммы ОПВ с выраженными субгоризонтальными осями синфазности сейсмической помехи от работы ГЭС (выделены красным прямоугольником). Синим цветом показаны теоретические гиперболы годографов отраженных волн для эффективной скорости 2000 м/с. Исходные данные без обработки.

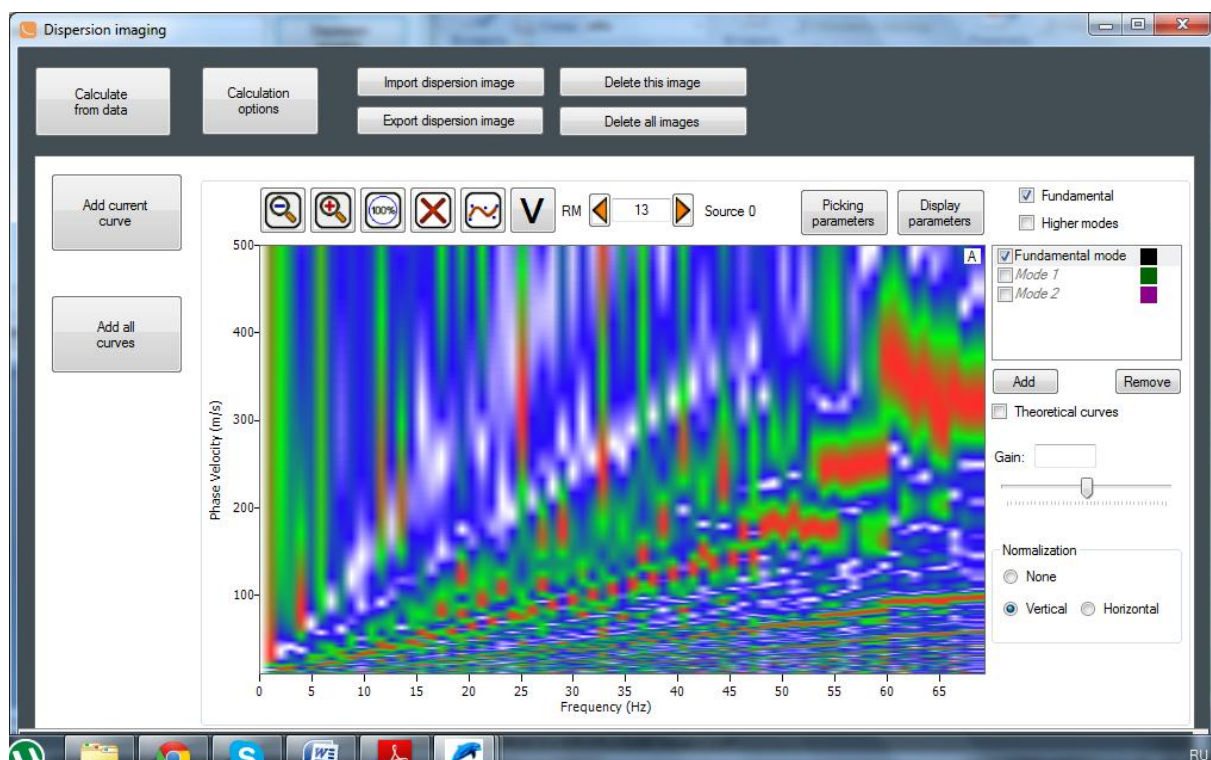


Рисунок 29. Дисперсионное изображение, полученное по данным ГЭС-1 (источник - "ИСЭМ Тритон").

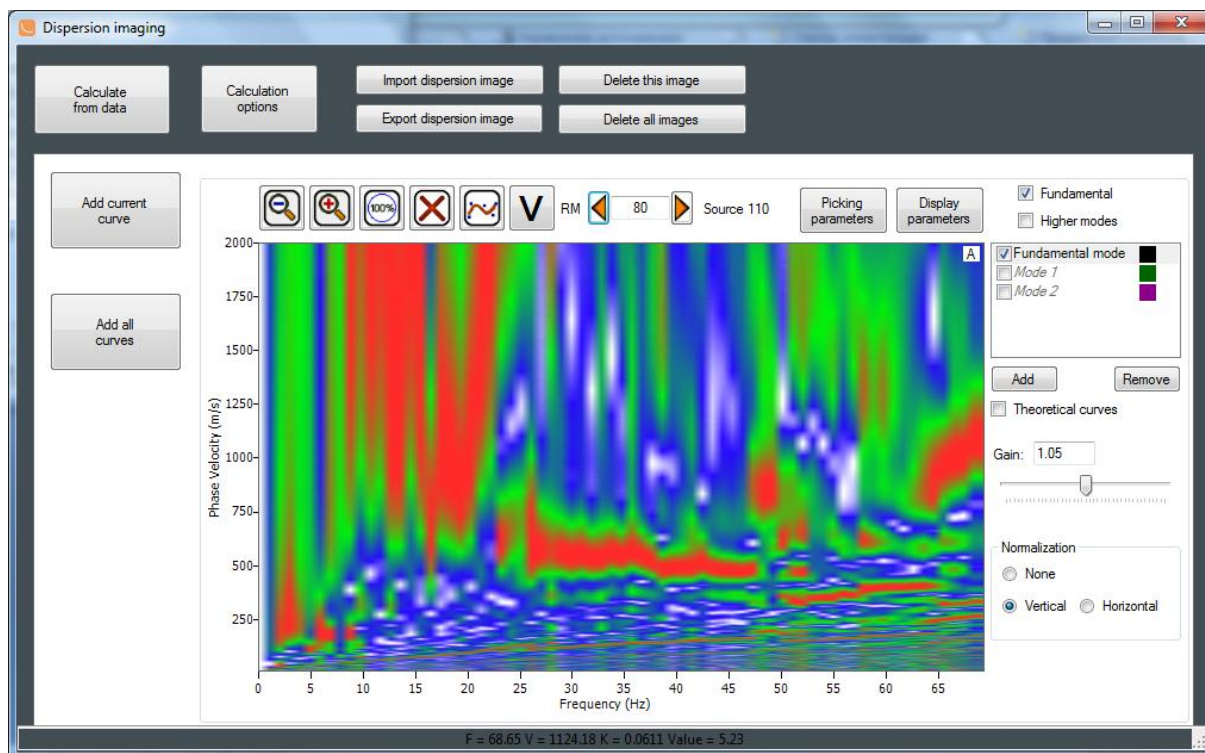


Рисунок 30. Дисперсионное изображение, полученное по данным ГЭС-1 (источник – кувалда 10 кг, до вычитания среднего).

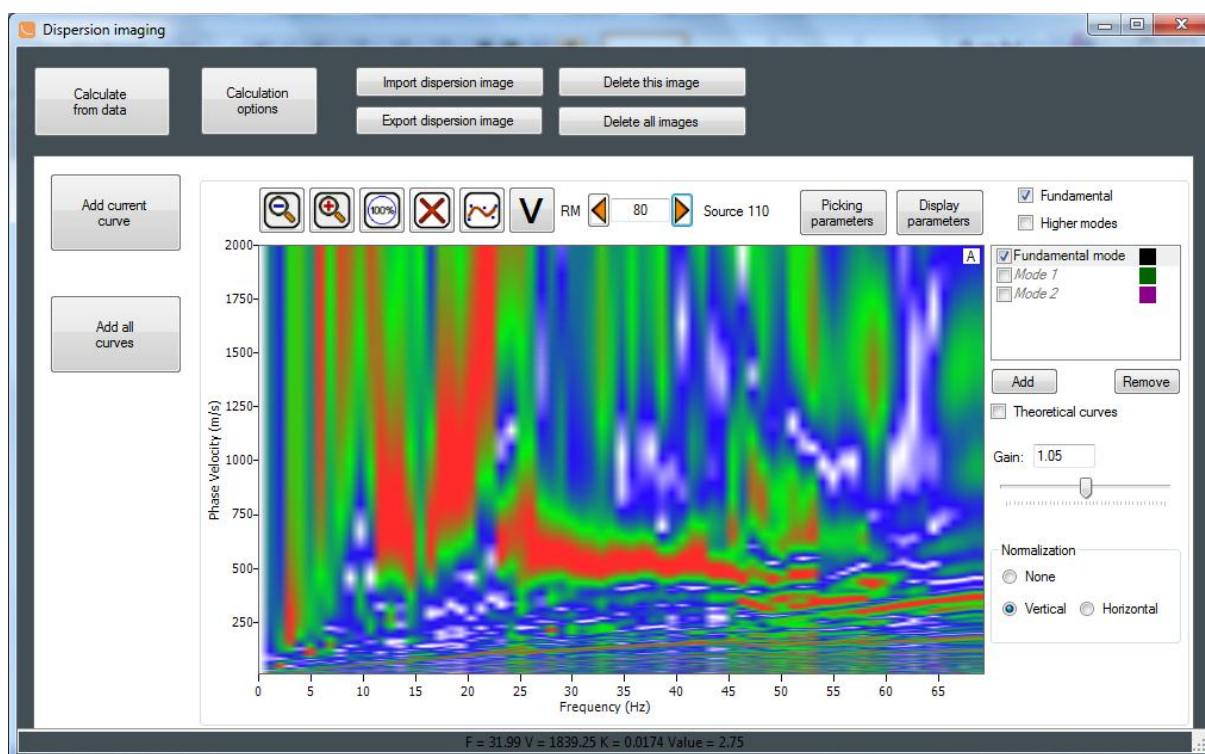


Рисунок 31. Дисперсионное изображение, полученное по данным ГЭС-1 (источник – кувалда 10 кг, после вычитания среднего).

После оцифровки дисперсионных кривых и применения программы инверсии был построен разрез в изолиниях скорости поперечных волн (Рисунок 32).

Априорными данными, при построении этого разреза в процессе инверсии, были данные по скв. 78, гфс-2 (см. Рисунок 1, Рисунок 17).

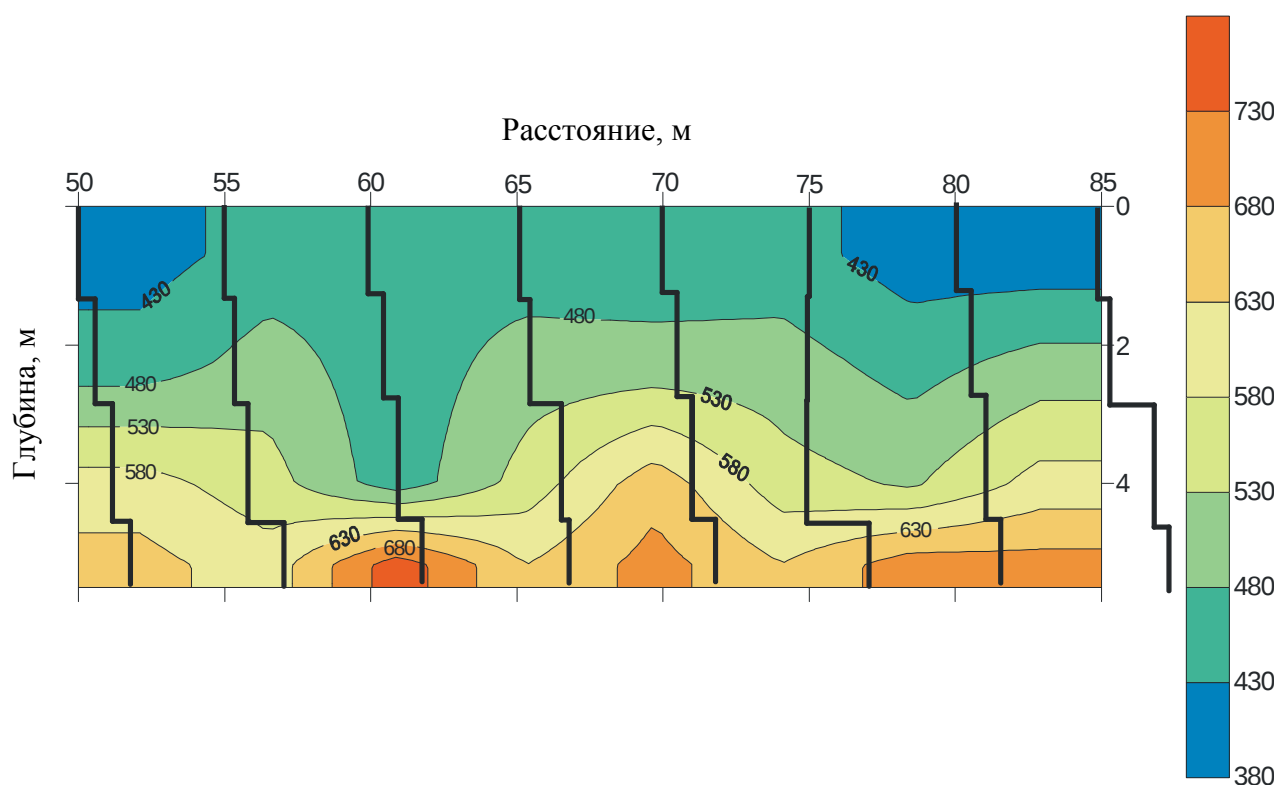


Рисунок 32. Разрез в изолиниях скоростей поперечных волн, полученный на ГЭС-1. Шаг изолиний 50 м/с. Черные линии – скоростной закон, вычисленный для каждой дисперсионной кривой.

Проблема разрезов в изолиниях скоростей поперечных волн, полученных методом MASW, заключается в том, что сам метод дает горизонтально-слоистый разрез в нескольких точках (черные кривые см. Рисунок 32), а программы визуализации (например, Surfer), интерполируя значения скоростей, строят разрез с различными «артефактами», которые не имеют отношения к работе метода.

4.5. Построение разреза в изолиниях скоростей поперченных волн в Калужской области, д. Александровка, на геофизическом полигоне.

Многими исследователями отмечается [12, 13], что в зимний период цуг поверхностных волн уже, чем летом, т.е. в зимнее время дисперсия поверхностных волн меньше. Одна из целей моей работы заключается в проверке возможности работы методом MASW в зимнее время. Если сравнить полевые данные, полученные при работе летом и зимой (Рисунок 7), то видно, что действительно поверхностная волна образует более узкий цуг.

Тем не менее, при построении дисперсионных изображений (Рисунок 33), видно, что максимумы на них достаточно четко проявлены, что дает возможность сделать предположение о том, что зимой использовать метод MASW все-таки реально. Однако, если сравнить дисперсионные изображения, полученные по зимним данным, с летними (Рисунок 34), то видно, что полоса максимума на летних данных уже, что свидетельствует о возможности более корректной оцифровки дисперсионных кривых.

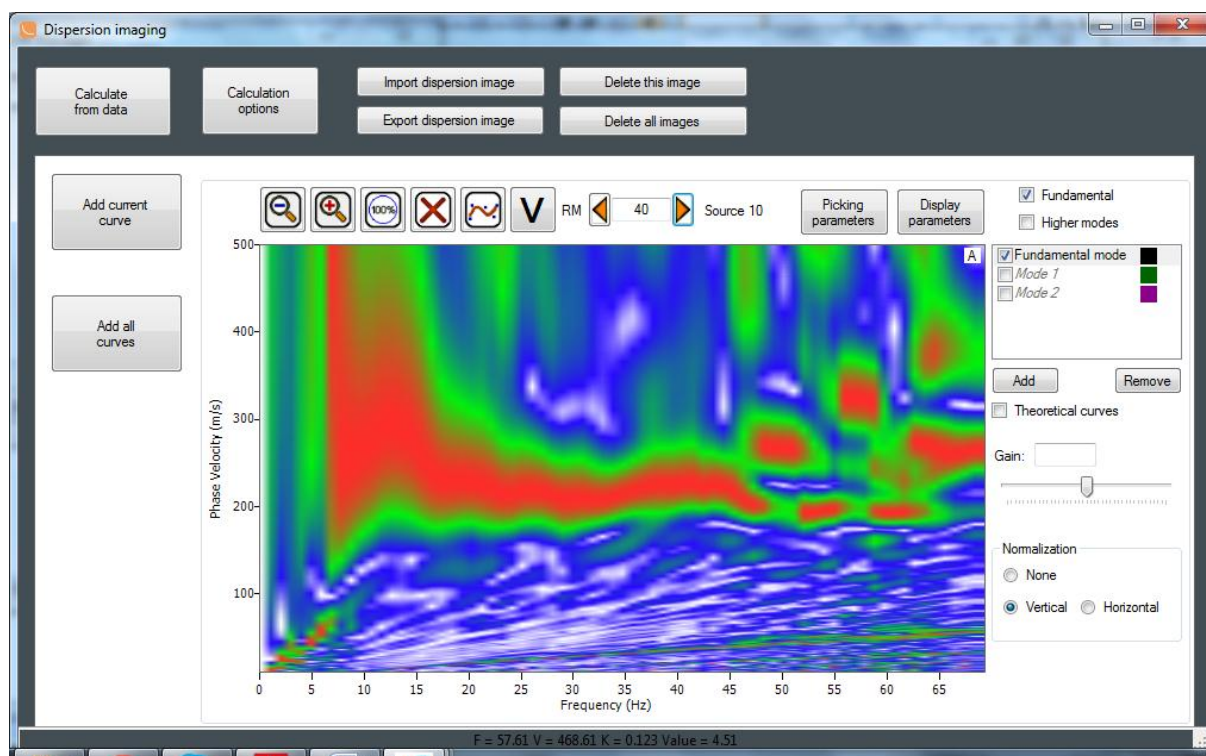


Рисунок 33. Дисперсионное изображение, построенное по зимним данным.

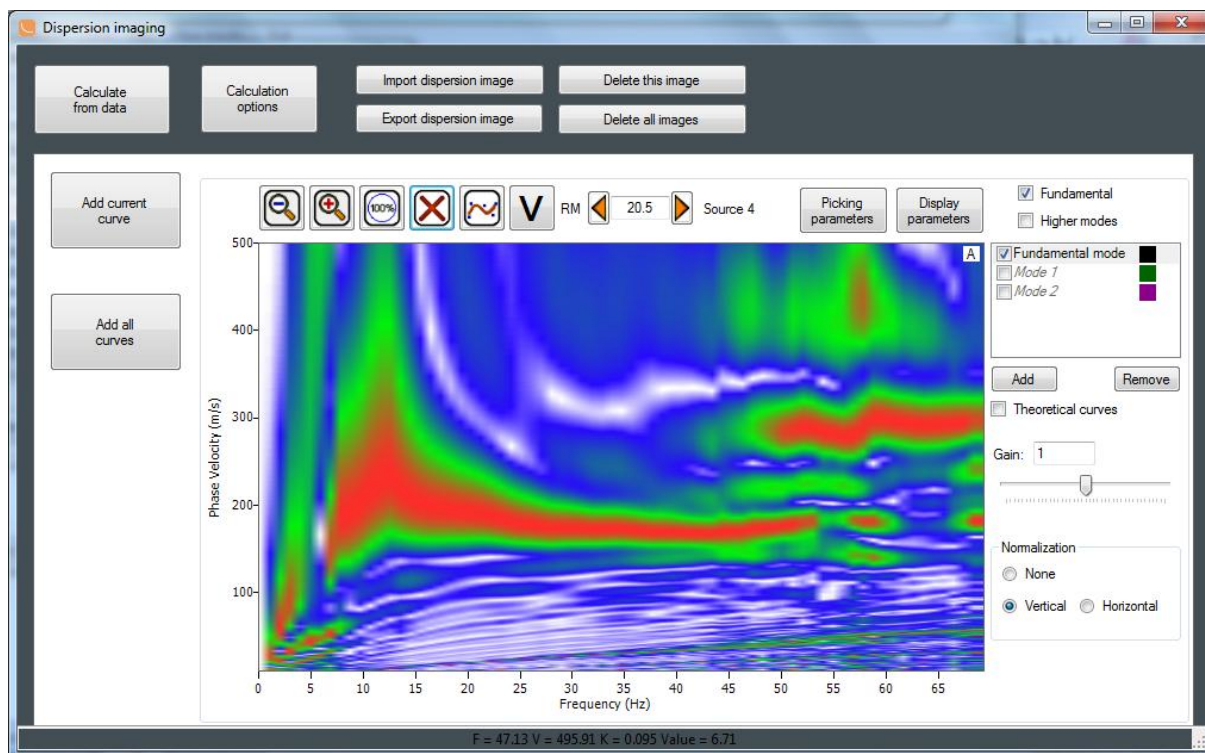


Рисунок 34. Дисперсионное изображение, построенное по летним данным.

Следующим этапом построения разреза в изолиниях скоростей поперечных волн является оцифровка по максимумам на дисперсионных изображениях для получения дисперсионных кривых, которые подаются на вход программы инверсии. В процессе работы программы инверсии подбираются теоретические дисперсионные кривые, минимизируя функционал невязки. При работе с инверсией использовались априорные данные со скважин, находящихся неподалеку (скв. 0 для зимних данных и скв. 2-09 для летних, см. Рисунок 19). Итогом этой части работы стали разрезы в изолиниях скорости поперечных волн (Рисунок 35, Рисунок 36). Необходимо оговориться, что «летний» профиль делался с маленьким шагом ПВ, поэтому не все интерпретированные дисперсионные кривые представлены на рисунке. Тем не менее, как и с разрезом, построенным по данным ГЭС-1, видно, что программа визуализации также интерполирует данные, рисуя картину, не соответствующую реальности.

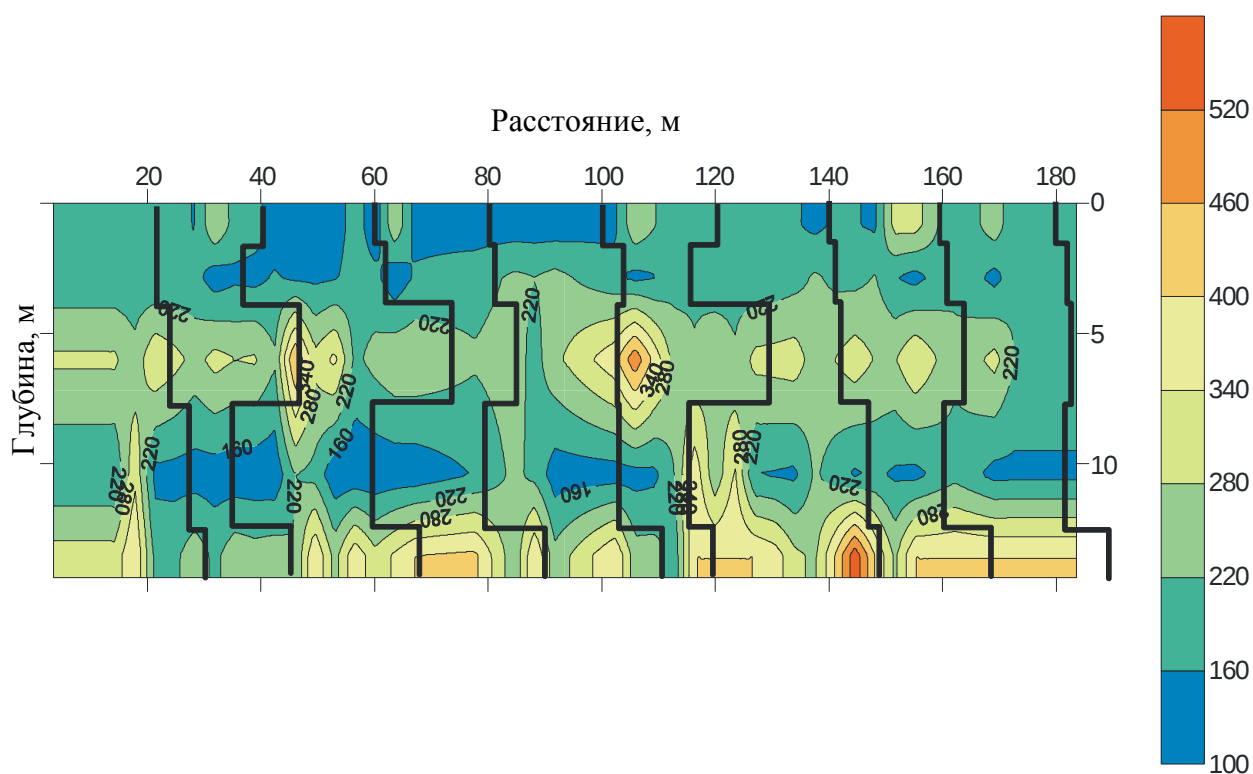


Рисунок 35. Разрез в изолиниях скоростей поперечных волн. Калужская область, д. Александровка, летний профиль. Шаг изолиний 60 м/с. Черные линии – скоростной закон, вычисленный для каждой дисперсионной кривой.

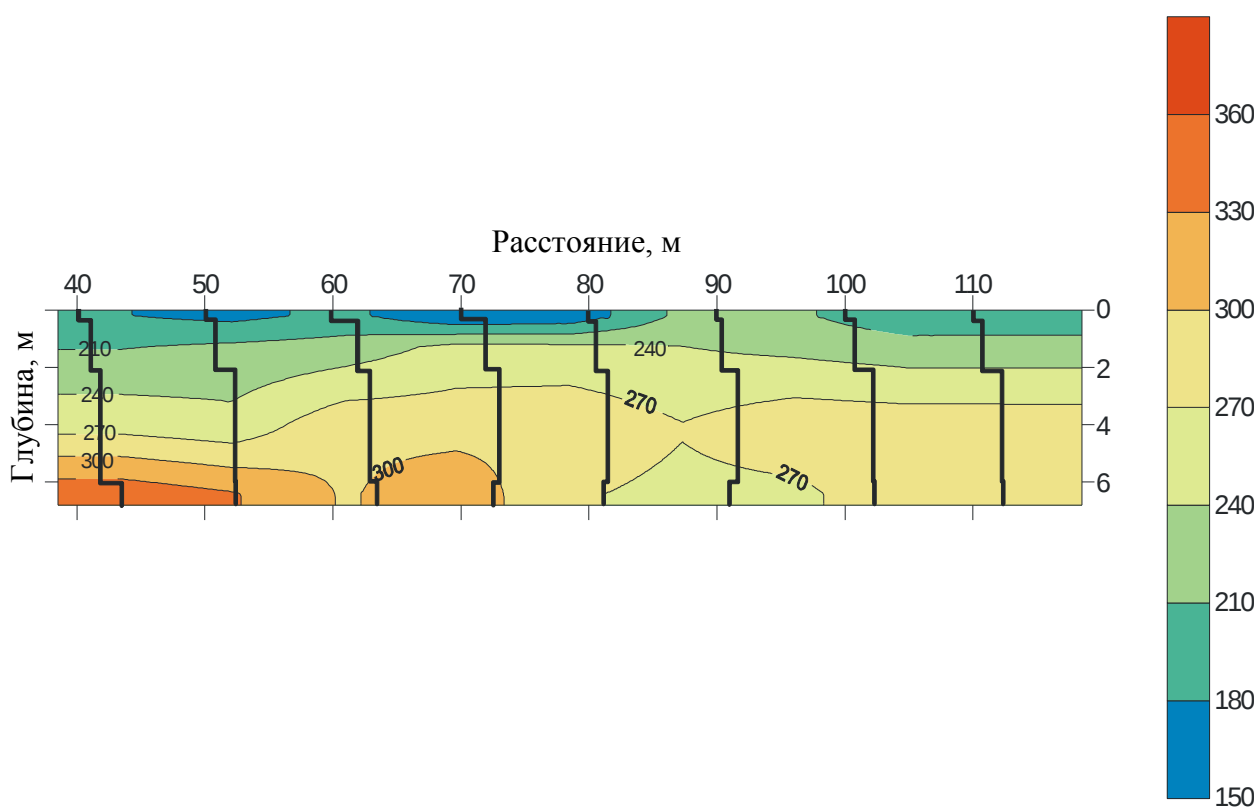


Рисунок 36. Разрез в изолиниях скоростей поперечных волн. Калужская область, д. Александровка, зимний профиль. Шаг изолиний 30 м/с. Черные линии – скоростной закон, вычисленный для каждой дисперсионной кривой.

Глава 5. Обсуждение результатов.

1. Из всего вышеизложенного необходимо перечислить особенности метода MASW.

а) Трудозатраты. Начать перечисление особенностей хочется с того, что метод MASW очень быстр, в плане получения данных. Т.е., кроме того, что метод может предоставлять дополнительные сведения о разрезе при работе только на продольных волнах, но еще и сбор данных при работе методикой MASW происходит существенно быстрее, ввиду того, что поверхностная волна очень интенсивна. Таким образом, количество накоплений может быть существенно меньше, приемники можно не втыкать в землю, а прикрепить к деревянной доске, однако, размеры расстановки сравнительно небольшие, с чем может быть связано увеличение времени работ.

б). Модель среды. Следующим пунктом, хотелось бы обсудить модель, которая используется при построении разрезов. Модель метода MASW – горизонтально-слоистая среда (ГСС), то есть изменение значения скоростей по латерали не предусматривается. Это является существенным «минусом» метода и важным фактом, ввиду того, что разрез, строимый, например, в программе RadExPro, – представляется, скорее, как двумерно неоднородный, что приводит к ошибкам в интерпретации.

в) Глубинность. Оценка глубинности для метода МПВ – $1/3-1/10$ длины годографа (расстановки), для метода MASW – $1/2$ длины расстановки. Однако, если единственное ограничение, которое накладывается на МПВ, – возможность регистрации первых вступлений, т.е. мощность источника, то увеличение длины расстановки в методе MASW, при существовании латеральной изменчивости разреза, приводит к большим ошибкам. Эти ошибки связаны с ухудшением горизонтальной разрешающей способности и уменьшением соотношения сигнал/шум, особенно для высоких частот, что приводит к тому, что реальные работы методом MASW редко выполняются с шагом ПП больше 2 м и расстановками, длиннее 46 м.

г) Разрешающие способности. Что касается метода MASW, то здесь сложно оценить разрешающую способность. Первое что хочется отметить – вся расстановка, при едином ПВ, относится к одной точке – середине расстановки. Таким образом, расстановка метода MASW работает как окно осреднения. Также отмечается [16] зависимость горизонтальной разрешающей способности от шага расстановки (Рисунок 37) и длины расстановки (Рисунок 38). Как видно из рисунка, при шаге расстановки равном 25 шагам ПП (для расстановки с $L=24 \text{ dx}$) происходит размытие разреза, а при

50 шагах ПП – разрез сильно искажен. При увеличении длины расстановки в 2 раза даже при шаге расстановки равном шагу ПП точно восстановить разрез не удастся.

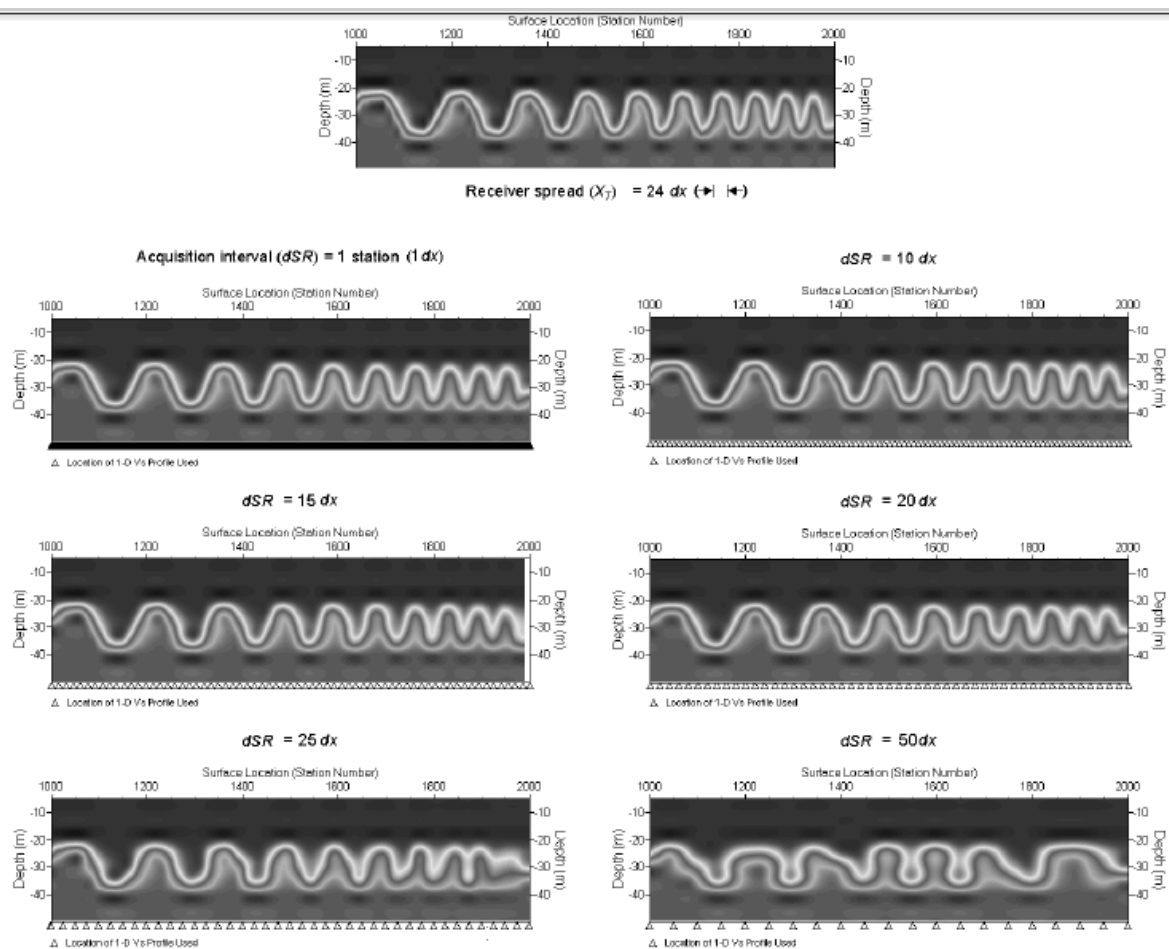


Рисунок 37. Зависимость восстановленного разреза от шага по профилю длина расстановки 24 dx. Вверху приведена начальная модель, ниже – восстановленные разрезы. dSR - шаг по профилю, dx - шаг ПП. [16]

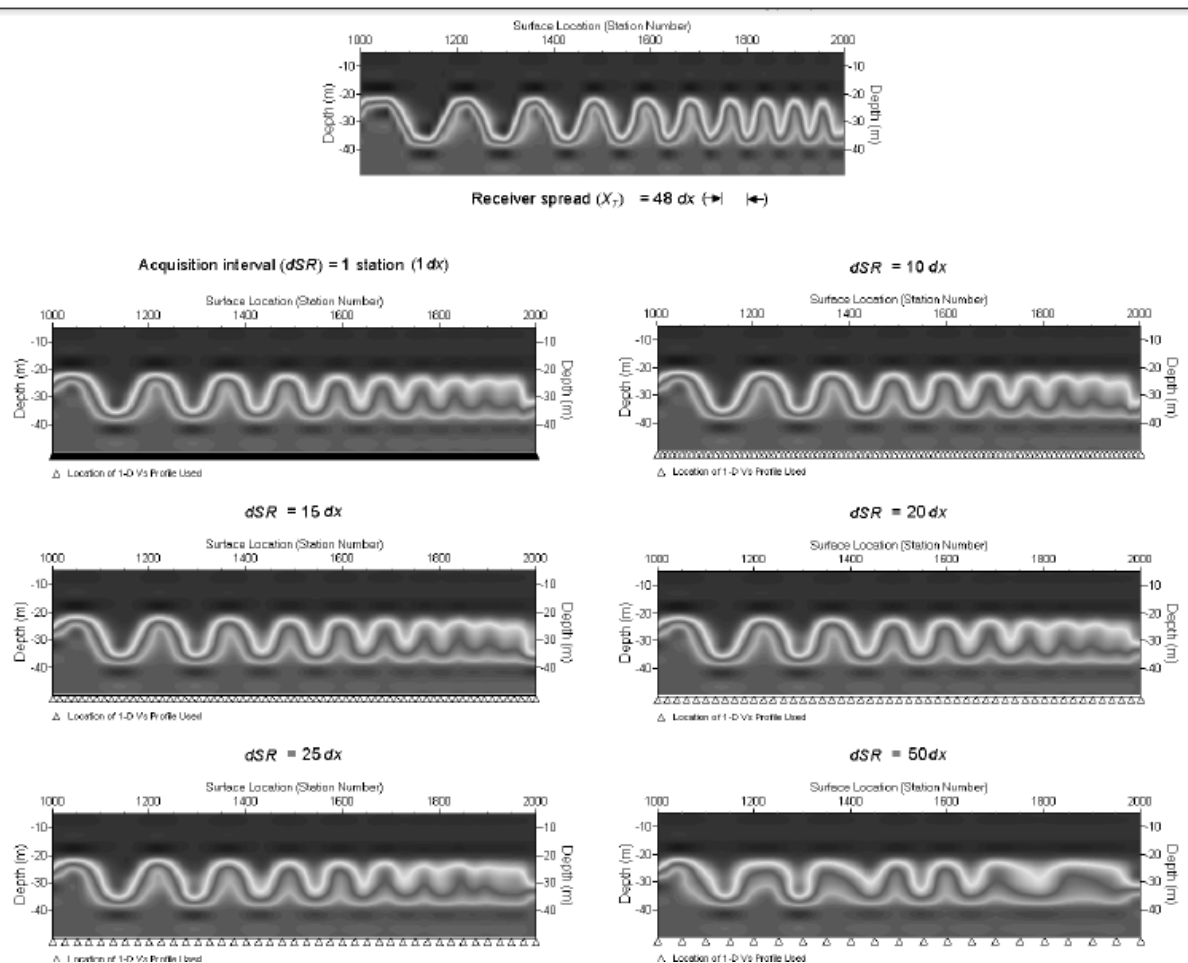


Рисунок 38. Зависимость восстановленного разреза от шага по профилю длина расстановки $48 dx$. Вверху приведена начальная модель, ниже – восстановленные разрезы. dSR - шаг по профилю, dx - шаг ПП. [16]

Вертикальная разрешающая способность метода оценивалась следующим образом: в программе RadExPro была рассчитана теоретическая дисперсионная кривая, так, чтобы кровля предпоследнего слоя была на конкретной глубине (2, 4, 6, 8, 10 м). Затем менялась мощность этого слоя, оценивался вклад в теоретическую кривую изменения скорости на 10%. Критерием являлось изменение теоретической кривой на 5% - такое изменение дисперсионной кривой визуально заметно, по мнению автора. Итоговый график вертикальной разрешающей способности от глубины при такой оценке представлен на Рисунок 39.

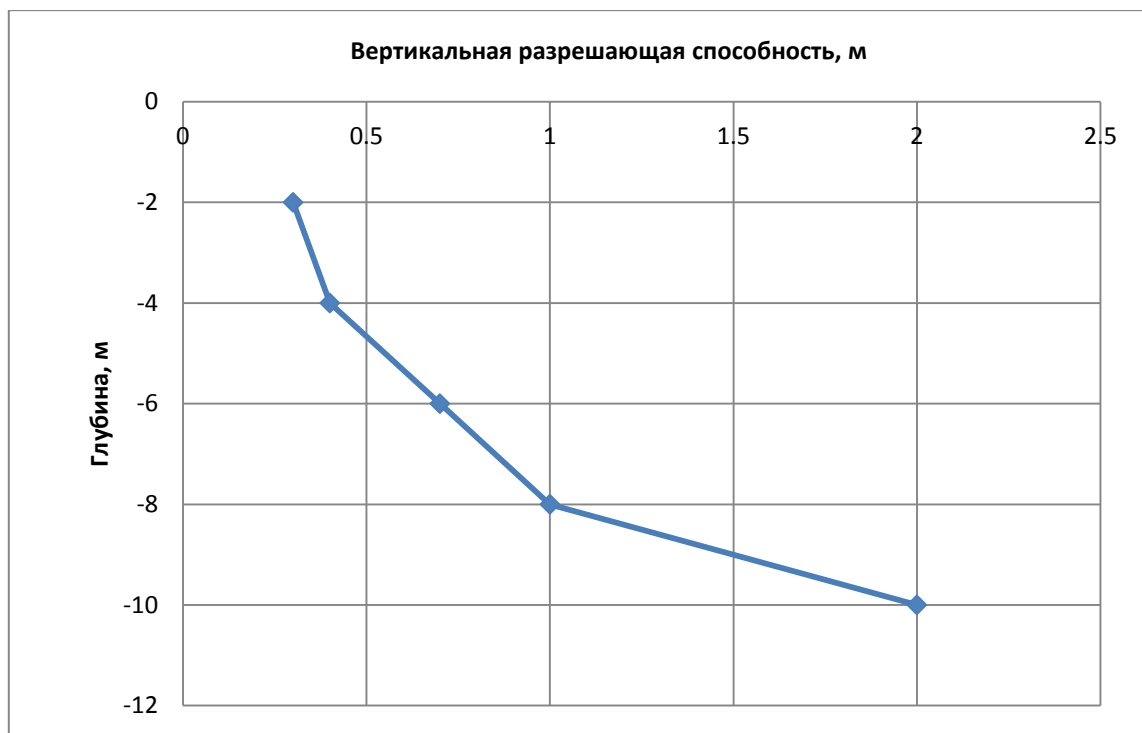


Рисунок 39. График зависимости вертикальной разрешающей способности метода MASW от глубины

2. Следующее наблюдение, сделанное в процессе работы, о работах метода MASW при существовании сравнительно высокоскоростного слоя на поверхности. Наличие инверсного разреза (например, зимой) затрудняет оцифровку дисперсионных изображений (изображения получаются «размытыми»), но возможность работы методом MASW сохраняется.

3. И, наконец, хотелось бы отметить особенности аппаратной части. Несмотря на то, что помехозащищенность метода MASW выше, ввиду использования поверхностной волны, метод требует определенного типа сейсморазведочной аппаратуры. Например, при работах на ГЭС-1 использовались 30 Гц приемники, поэтому глубинность метода составила 5 метров, а на некоторых участках и вовсе не удалось получить данные из-за источника малой интенсивности. Таким образом, одновременное получения качественных данных затруднено, ввиду того, что для работ, например, методом ОГТ желателен высокочастотный источник, соответствующие приемники, тогда как для работ методом MASW требуется низкочастотный источник и низкочастотные приемники. Здесь хотелось бы остановиться поподробнее. Приемники, применяющиеся в работах методом MASW, как правило, обычные велосиметры с центральной частотой 4.5 Гц [14, 15], т.к. применение более низкочастотных приемников трудозатратнее, ввиду их размеров.

Однако, если говорить строго, то велосиметр выходит на прямую, соответствующую ровному приему, несколько позже центральной частоты (Рисунок 40). Альтернативой велосиметрам является применение акселерометров. Их АЧХ (Рисунок 40) выходит на асимптоту раньше – в районе 2 Гц (как акселерометр ведет себя до 2 Гц зависит от конструкции конкретной модели), что позволяет предположить возможность их использования для работ методом MASW.

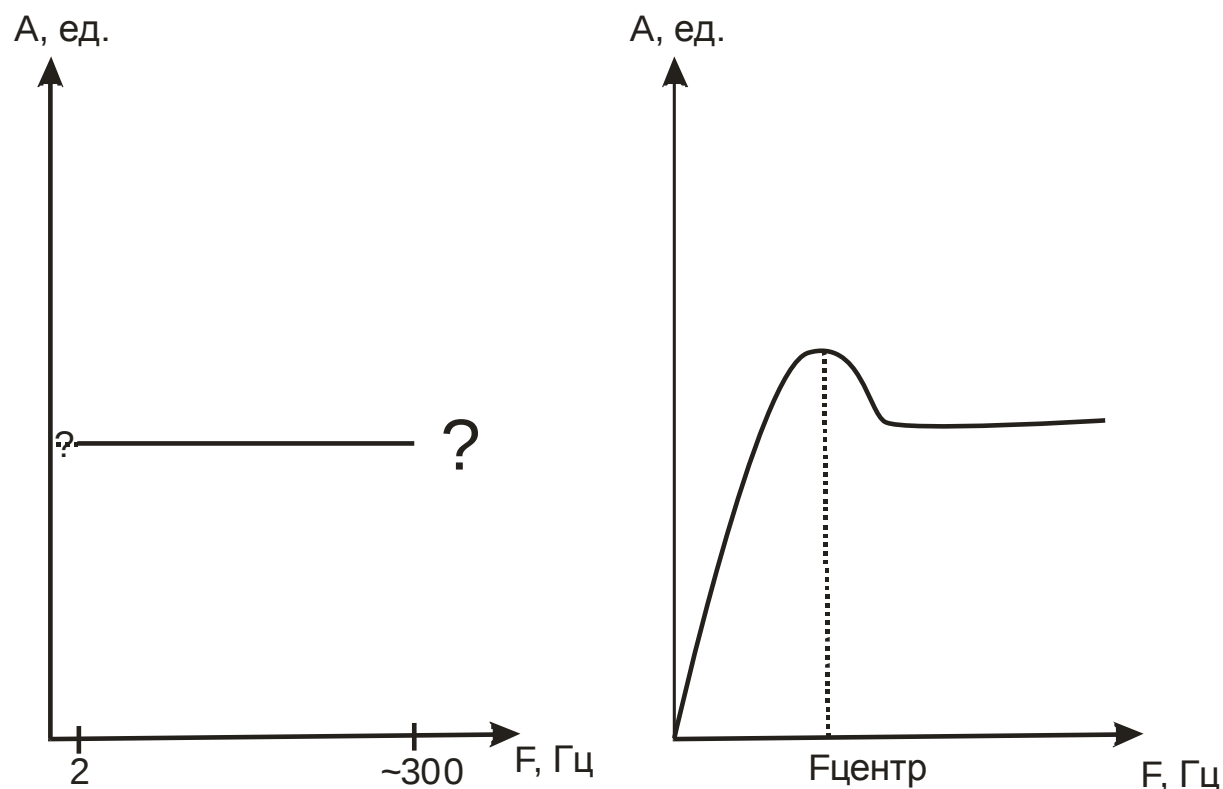


Рисунок 40. Схематичное изображение амплитудно-частотных характеристик, слева - акселерометра, справа - велосиметра.

Заключение

Метод MASW – сравнительно молодой метод, в котором до сих пор остается много неясного, как, например, четкая оценка разрешающих способностей, как по вертикали, так и по горизонтали; баланс между длиной расстановки (= глубиной) и горизонтальной разрешающей способностью; возможности метода по глубине и т.д.

Если оставить в стороне трудоемкость работ, то сами разрезы, полученные разными методиками – MASW и МПВ – имеют свои «плюсы» и «минусы». Но, очевидно, если модели методов близки, то результаты будут схожи, если же сильно отличаются, то, соответственно, и результаты будут отличаться.

В своей работе я постарался привести некоторые оценки разрешающих способностей, которые далеки от совершенства. Также был проведен анализ возможности использования метода MASW в условиях инверсного разреза (зимы), который показал, что метод работает зимой, хоть и не так хорошо, как летом. И, наконец, поставлена теоретическая и практическая задача, связанная с возможностью сравнения работы методом MASW с использованием велосиметров и акселерометров, которая будет проделана в дальнейшем.

Часть работы была доложена на конференции «Ломоносов-2014», была использована в отчете [4].

Список литературы

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: АИС. 2006.
2. Бондарев В.И. Основы сейсморазведки. Екатеринбург: изд-во УГГГА. 2003.
3. Викторов И.А. Звуковые поверхностные волны в твердых телах. М.: Наука, 1981.
4. Владов М.Л., Ермаков А.П., Алешкин М.В., Степанов Н.А. «Технический отчет по результатам опытно-методических сейсмических работ на правобережном примыкании ВГЭС-1», Москва, 2014.
5. Геологический атлас Калужской области. Министерство природных ресурсов Калужской области. Составитель В.С. Бобров. ПГП «Притяжение». – Калуга, 2007. 70 с.
6. Ермаков А.П., Ли В.О., Гриневский А.С. Сейсморазведка / пособие по сейсморазведочной практике для студентов геофизических специальностей. – М., КДУ, 2014 (в печати)
7. Истратов В.А., Колбенков А.В. и др. Отчет по результатам работ по теме: «Геофизические исследования скважин на правобережном примыкании Вилульской ГЭС», Москва, 2013.
8. Лаврушин Ю.А. Отчет о результатах изучения строения четвертичных отложений в районе учебно-методического учебного полигона «Александровка». М., 1997. 39 с.
9. Левшин А.Л. Поверхностные и каналовые сейсмические волны. М., Изд-во «Наука», 1973 г.
10. Левшин А.Л. и др. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле, М.: Наука, 1987.
11. Романовская М.А., Никитин Р.М. Геологическое строение и гидрогеологические условия Калужской области и района дер. Александровки, М., МГУ, Геологический факультет, 2007г.
12. Скворцов А.Г., Царев А.М., Садуртдинов М.Р. Методические особенности изучения сейсмогеокриологического разреза // Научный журнал «Криосфера Земли», 2011 г., т. XV, № 4, с. 110–113
13. Скворцов А.Г. Высокоразрешающая сейсморазведка на поперечных волнах при изучении верхней части геологической среды // Инженерная геофизика: Сб. материалов междунар. конф. М., Изд-во Моск. ун-та, 2005, с. 16–18.
14. Jin X., Luke B., Louie J. Comparison of Rayleigh wave dispersion relations from three surface wave measurements in a complex-layered system [Электронный ресурс] <http://crack.seismo.unr.edu>.

15. Miller, R.D., Xia, J., Park, C.B., Ivanov, J.M. Multichannel analysis of surface waves to map bedrock. // The Leading Edge, December 1999, v. 18, p. 1392-1396
16. Park, C.B. MASW – Horizontal Resolution in 2D Shear-Velocity (V_s) Mapping. KGS Open-File Report, 2005
17. Strobbia, C. Surface Wave Method: Acquisition, Processing and Inversion. PhD dissertation, Politecnico di Torino, 2003.