

ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт наук о Земле

Шишкин Михаил Ильич

Выпускная квалификационная работа бакалавра

**Изучение вклада дифракционного рассеяния в формирование
сейсмического изображения геологической среды**

Направление 05.04.01 «Геология»

Профиль «Геофизика»

Научный руководитель:

к.г.-м.н. В. В. Половков

Санкт-Петербург

2021

Содержание

Аннотация	3
Введение	4
1 Теория дифракционного рассеяния	7
2 Методы исследований	9
3 Проведение экспериментальных исследований	11
3.1 Установка физического моделирования	11
3.2 Используемые модели	15
4 Анализ полученных результатов	21
Заключение	31
Список литературы	32

Аннотация

Данная работа посвящена изучению дифракционного рассеяния сейсмических волн как механизма затухания амплитуд сигнала. Поставлены эксперименты по физическому моделированию морской сейсморазведки, получены и обработаны модельные сейсмограммы и одноканальные разрезы. Дана численная оценка величине затухания амплитуд сейсмического сигнала вследствие дифракции на одиночном препятствии.

Ключевые слова: дифракция, рассеяние, затухание амплитуд.

Annotation

This work is devoted to the study of diffraction scattering of seismic waves as a mechanism for attenuation of signal amplitudes. Experiments on physical modeling of marine seismic exploration were set up, model seismograms and single-channel sections were obtained and processed. A numerical estimate is given for the attenuation of the amplitudes of the seismic signal due to diffraction at a single obstacle.

Key words: diffraction, scattering, amplitude decay.

Введение

В рамках проблемы определения внешних границ континентального шельфа России ФГБУ «ВНИИОкеангеология» были получены сейсмические данные МОВ-ОГТ вдоль регионального профиля AR1403 (рис. 1). Выяснилось, что на участке профиля в зоне сочленения шельфа Новосибирских островов с хребтом Ломоносова пропадает прослеживаемость глубинных рефлекторов. На рис. 2 показан разрез вдоль изучаемого профиля после глубинной миграции [4]. Причина исчезновения рефлекторов может заключаться в рассеянии сейсмического сигнала на неоднородностях сильно расчленённого рельефа дна в пределах изучаемой области (рис. 3). Для проверки этой гипотезы было предложено провести серию математических моделирований и экспериментов по физическому моделированию с целью дать оценку затуханию сейсмических волн за счет геометрической шероховатости придонных границ и оценить вклад этого эффекта в получаемое сейсмическое изображение среды вдоль профиля AR1403 [4].

Помимо указанного практического аспекта, задача снижения амплитуд сейсмического сигнала вследствие дифракции на неоднородностях интересна еще и потому, что лежащие в основе этого явления физические законы представляют трудную задачу для математического описания. Следовательно, эмпирический подход в изучении данного явления может принести весомые результаты, которые позже лягут в основу алгоритмов учёта данного явления при обработке сейсмических данных.

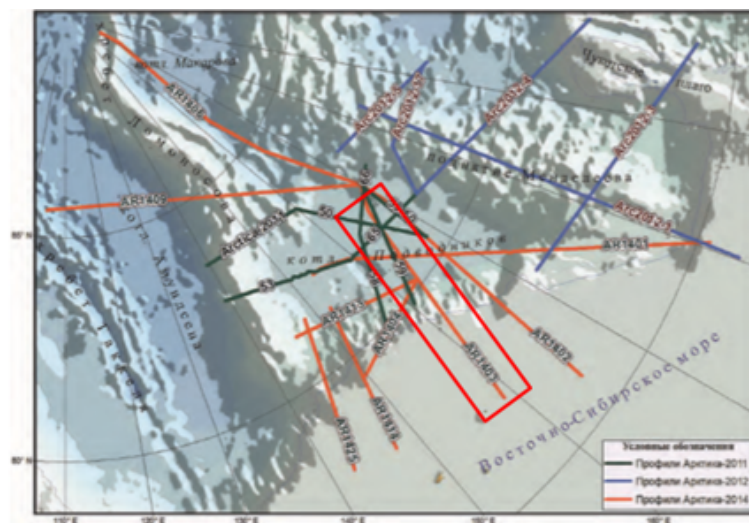


Рис. 1: Расположение профиля AR1403 на карте.

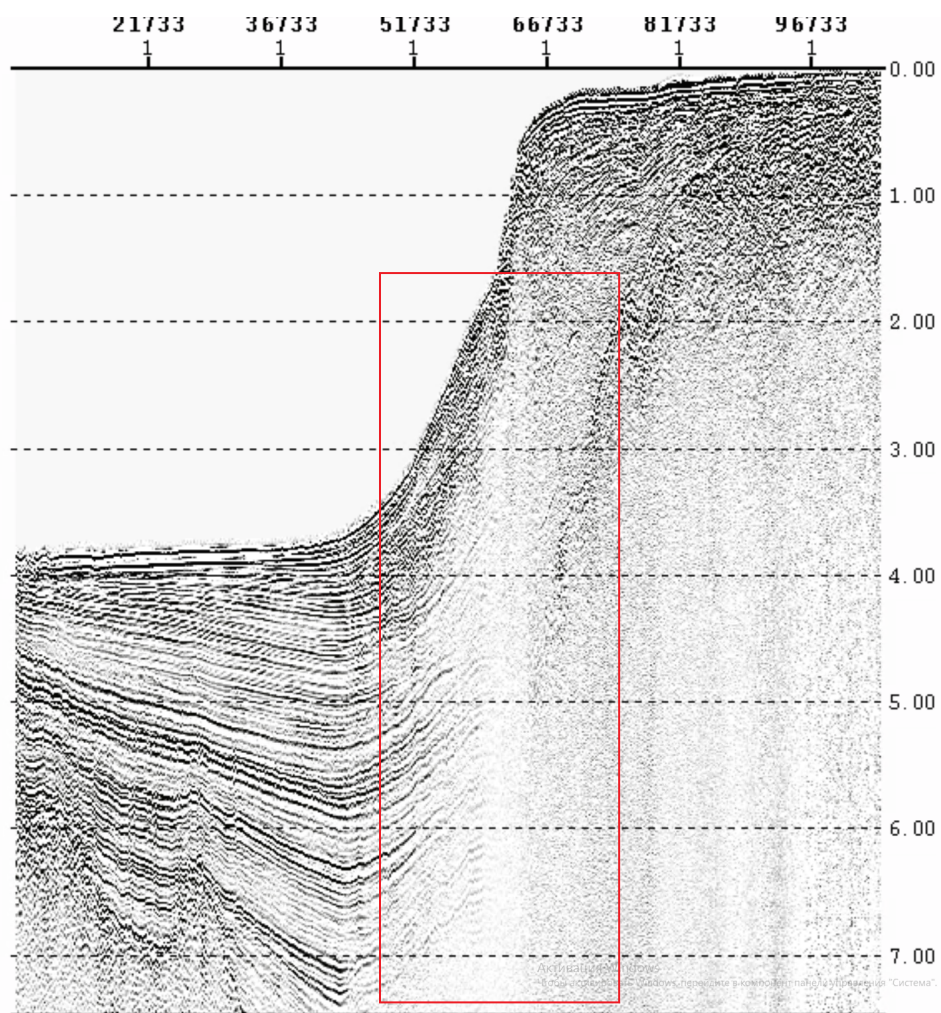


Рис. 2: Сейсмический разрез вдоль профиля AR1403 после глубинной миграции. Красным прямоугольником отмечена область исчезновения рефлекторов [4].

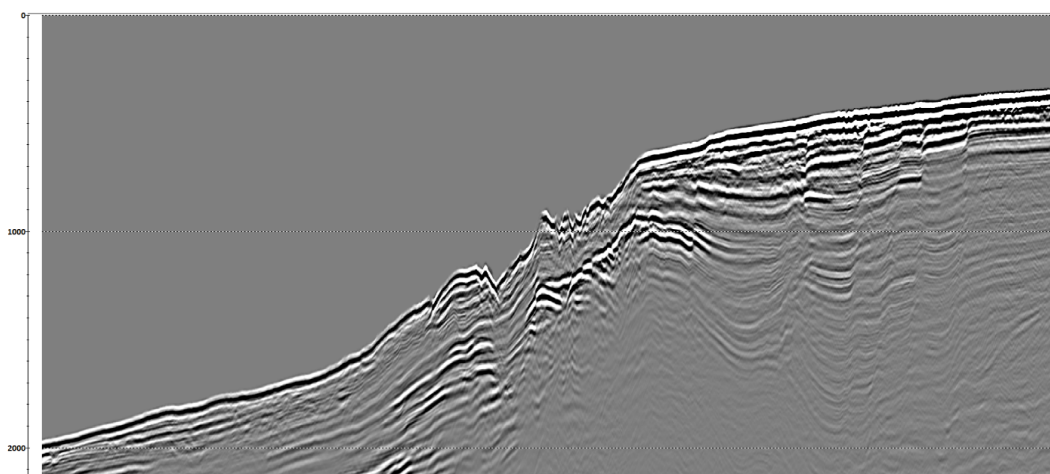


Рис. 3: Расчлѐнный рельеф морского дна в зоне сочленения шельфа Новосибирских островов с хребтом Ломоносова на временном разрезе ОСТ [4].

Цель:

-Оценить вклад дифракционного рассеяния в формирование волновой картины на сейсмических разрезах МОВ-ОГТ.

Задачи:

-Изучить литературу по теме исследования;

-Изучить методику и технологию построения сейсмических разрезов МОВ-ОГТ;

-Освоить программное обеспечение для моделирования и обработки сейсмических данных (Tesseral, RadExPro);

-Научиться проводить эксперименты на установке физического моделирования;

-Выполнить математическое и физическое моделирование сейсмических данных для моделей с дифрагирующими/рассеивающими объектами;

-Проанализировать полученные результаты и оценить вклад дифракционного рассеяния в формирование волновой картины на модельных и реальных данных.

1 Теория дифракционного рассеяния

Помимо регулярных и протяженных сейсмических границ с большим радиусом кривизны, в реальных геологических средах встречаются локальные образования, радиус кривизны которых меньше преобладающей длины волны сейсмических колебаний. Эти объекты порождают вторичные волны, называемые дифрагированными, если размер препятствия сравним с длиной волны, и рассеянными, если размер неоднородностей значительно меньше длины волны. В последнем случае обычно говорят о геометрически шероховатых границах – совокупности хаотически расположенных неоднородностей в геологической среде, размер каждой из которых существенно меньше доминирующей длины волны [2].

Если на пути своего распространения волна претерпевает дифракцию или рассеяние, то обычные законы отражения и прохождения сейсмических волн оказываются недействительны. С кинематической точки зрения для описания дифрагированных волн справедлив модифицированный принцип Ферма: путь распространения дифрагированной волны соответствует минимуму суммы времен пробега от источника волн в среде до точки дифракции и от неё – до точки наблюдения. На рис. 4 показана лучевая схема дифрагированной волны и её годограф $t(l)$ на сейсмограмме общего пункта взрыва (ОПВ). S - источник колебаний, D - дифрагирующий объект, G - сейсмоприёмник. Благодаря явлению дифракции энергия упругих колебаний может проникать в область геометрической тени (рис. 5) [2, 3].

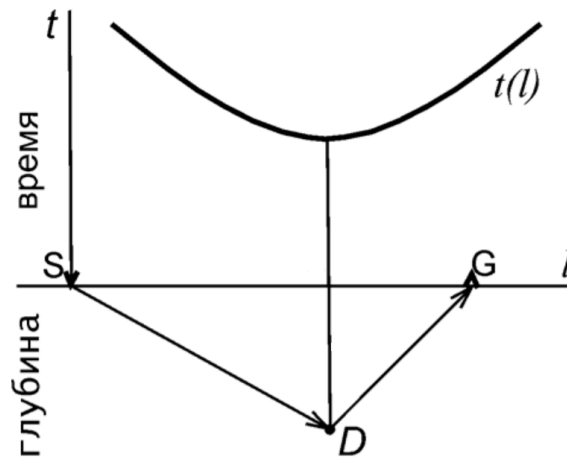


Рис. 4: Лучевая схема и годограф дифрагированной волны на сейсмограмме ОПВ [3].

Дифракционное рассеяние, наряду с поглощением, слоистым рассеянием и геометрическим расхождением является фактором затухания амплитуд сейсмического сигнала. Математический аппарат, описывающий динамические свойства дифрагированных волн, достаточно сложен, вследствие чего не всегда можно получить аналитическое описание динамических параметров волнового поля. Этим обусловлена важность эмпирического подхода к рассмотрению эффектов, связанных с дифрагированными волнами. Наиболее изучена в сейсморазведке дифракция на «ребре» - изломе или обрыве сейсмической границы. [1, 2]

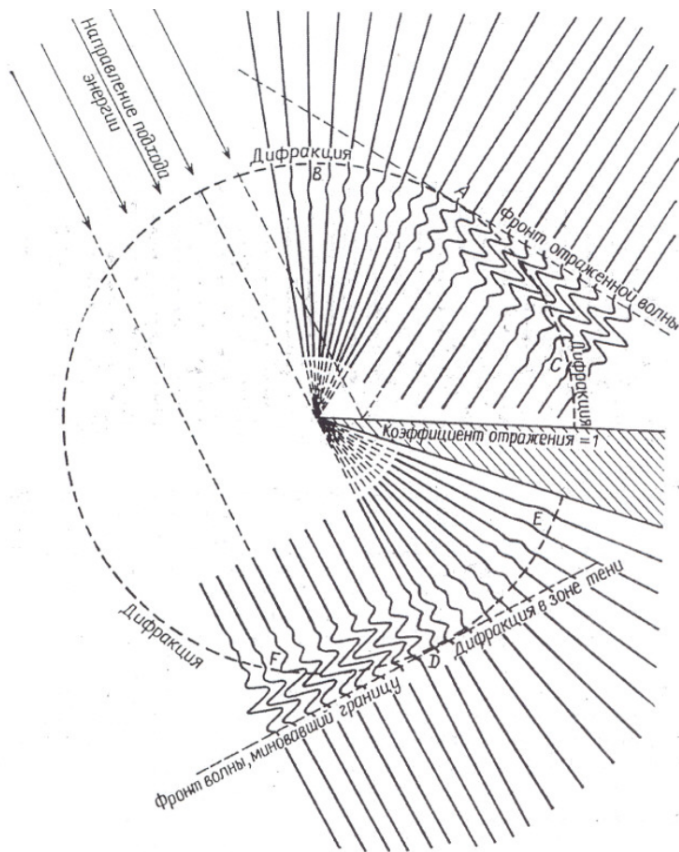


Рис. 5: Дифракция падающей плоской волны на идеальном отражающем уступе [2].

Рассмотрим случай падения плоского волнового фронта на отражающий пласт клиновидной формы (рис. 5). Пусть вся падающая на уступ энергия отражается, т.е. коэффициент отражения $A = 1$. Рисунок иллюстрирует следующие общие закономерности, установленные для дифрагированных волн:

- Фронт монотипной дифрагированной волны касается фронтов регулярных отраженных или проходящих волн, вызывающих дифракцию;
- Наибольшая интенсивность дифрагированных волн наблюдается в области соприкосновения фронтов дифрагированной и падающей волн;
- Видимый период дифрагированных волн незначительно больше периода первичной волны;
- По мере удаления от точки дифракции интенсивность дифрагированных волн быстро затухает вследствие геометрического расхождения.

Далее в работе я буду пользоваться термином «шероховатая граница» для описания поверхностей используемых при физическом и математическом моделировании сред, что не совсем строго, так как размеры объектов дифракции в рассматриваемых примерах не всегда значительно меньше преобладающей длины волны. В случае, если препятствия велики, дифрагирующими и рассеивающими элементами корректнее называть изломы граней этих препятствий.

2 Методы исследований

Решение прямой задачи сейсморазведки, т. е. получение волнового поля по известной модели среды, может быть реализовано путём математического и физического моделирования. При этом, пользуясь инструментом математического моделирования, мы рассматриваем только те эффекты, которые были формализованы в виде алгоритма расчёта волнового поля. Ввиду сложности математического описания динамических эффектов, связанных с дифракцией волн, математическое моделирование не позволяет решить задачу по оценке вклада дифракционного рассеяния в формирование сейсмического изображения среды. Это было показано в работе [4] на примере моделирования геометрически шероховатых границ в программном пакете Tesseral. На рис. 6 показана математическая модель трёхслойной среды, для которой проводилось моделирование, на рис. 7 - увеличенный фрагмент модели с шероховатой границей. Временной разрез ОСТ, полученный по результатам математического моделирования, приведён на рис. 8. Как видно из рисунка, несмотря на наличие геометрической шероховатости, отражение от глубинной границы не оказывается ослабленным, что не соответствует физической действительности.

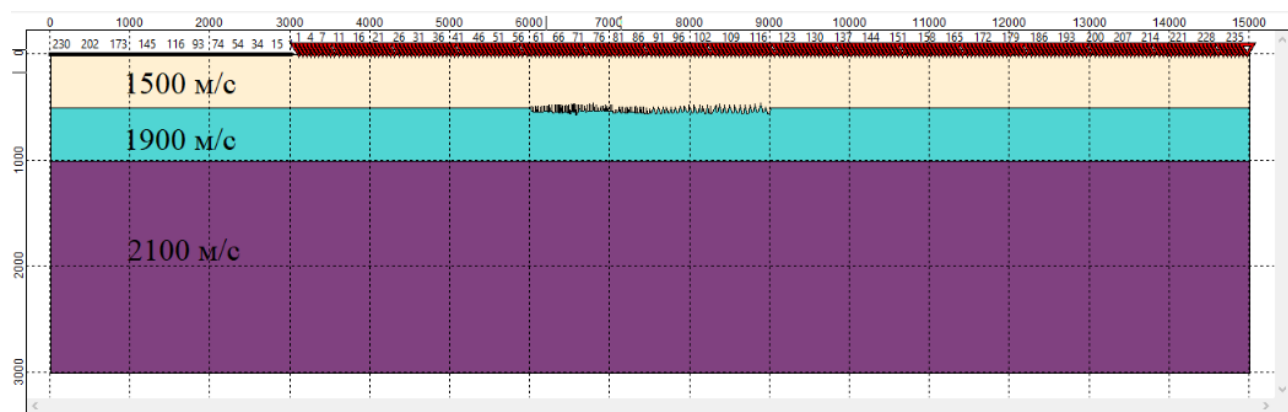


Рис. 6: Математическая модель среды, построенная в программном пакете Tesseral. На пластах указаны соответствующие им скорости распространения продольных упругих колебаний [4].

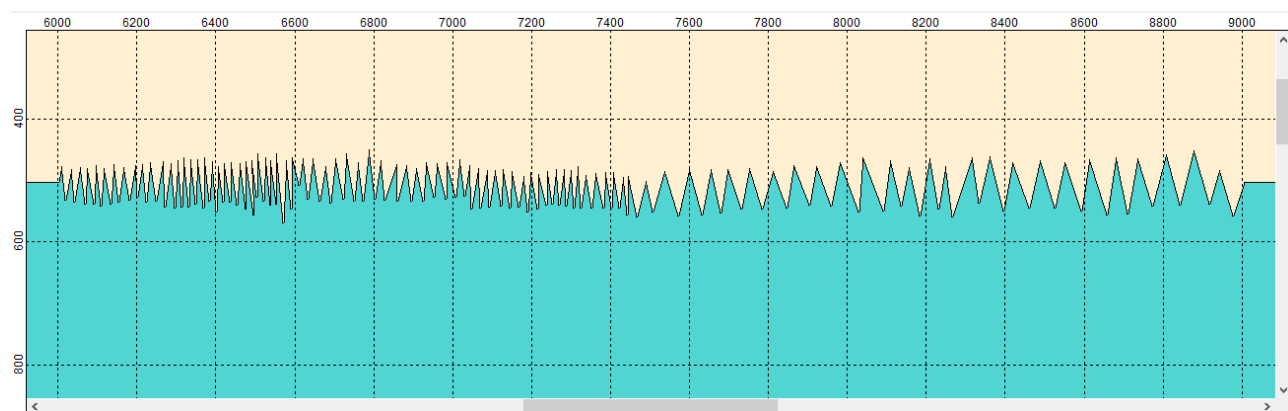


Рис. 7: Увеличенный фрагмент математической модели с геометрической шероховатостью [4].

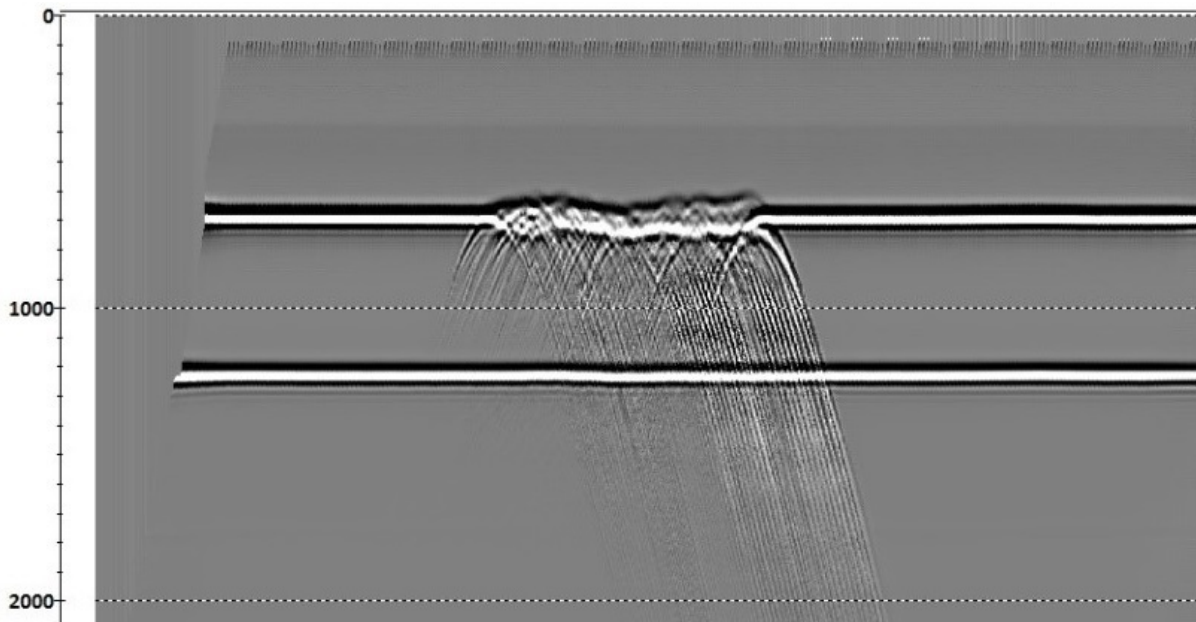


Рис. 8: Мигрированный временной разрез, полученный по данным математического моделирования. В алгоритме расчёта волнового поля не учтена дифракция как один из механизмов затухания амплитуд сейсмического сигнала. [4].

Инструмент физического моделирования естественным образом позволяет учесть все реальные физические процессы, слагающие сложное явление распространения волнового поля в среде. В основе физического моделирования лежит масштабирование реальной среды, а также параметров волнового поля. Так, для используемой в описанных далее экспериментах модели, масштаб составил 1:20 000, т. е. в одном сантиметре модели 200 метров. Центральная частота сейсмического сигнала в масштабе модели составила 440 кГц, шаг дискретизации 0.5 мкс. В сейсмическом масштабе эти величины соответствуют частоте в 22 Гц и шагу дискретизации в 10 мс.

3 Проведение экспериментальных исследований

Как уже было отмечено ранее, существует четыре фактора затухания амплитуд сейсмического сигнала (геометрическое расхождение, поглощение, слоистое рассеяние и дифракционное рассеяние). По результатам эксперимента мы хотим оценить вклад одного из них – затухания вследствие дифракции. Следовательно, прочие механизмы затухания не должны меняться от эксперимента к эксперименту или должны меняться известным образом, чтобы их влияние можно было исключить. Так, в ходе поставленных экспериментов, факторы поглощения и геометрического расхождения в первом приближении оставались неизменными, а слоистое рассеяние менялось предсказуемым образом.

3.1 Установка физического моделирования

Физическое моделирование проводилось в лаборатории СПбГУ. Используемая установка позволяет имитировать морскую сейсмическую 2D-съемку. Основными элементами установки физического моделирования являются: аппаратный блок, в т. ч. компьютер; установка позиционирования источника и приёмника сейсмических колебаний (пьезокерамические преобразователи), бак с погружённой в него моделью (рис. 9).



Рис. 9: Элементы установки физического моделирования: 1 – аппаратный комплекс; 2 – система позиционирования и пьезокерамические преобразователи, 3 – бак с моделью.

В состав аппаратного комплекса входит импульсный генератор, сигнал которого усиливается и подаётся на пьезокерамический источник колебаний. Аналогичный пьезокерамический приёмник фиксирует проходящее механическое колебание и преобразует его в электрическое. Полученный сигнал усиливается и подаётся на аналого-цифровой преобразователь (АЦП), работающий с частотой 2 МГц.

Система позиционирования источника и приёмника колебаний представляет собой металлический каркас, устанавливаемый на бак с моделью. Шаговые двигатели позволяют независимо перемещать каретки с пьезокерамическими преобразователями вдоль модели, также возможно регулирование вертикального положения источника и приёмника. В начале каждой съёмки происходит обнуление координат путём смещения кареток в сторону нуля координат до срабатывания датчиков начального положения. Управление системой позиционирования осуществляется с помощью конфигурационного файла, редактируемого на компьютере. В нём задаются следующие параметры установки:

- Положение первого пункта взрыва (ПВ);
- Количество ПВ;
- Шаг ПВ;
- Минимальное удаление (не менее 410 метров - конструктивная особенность установки);
- Количество пунктов приёма (ПП);
- Шаг ПП;
- Время записи;
- Количество накоплений.

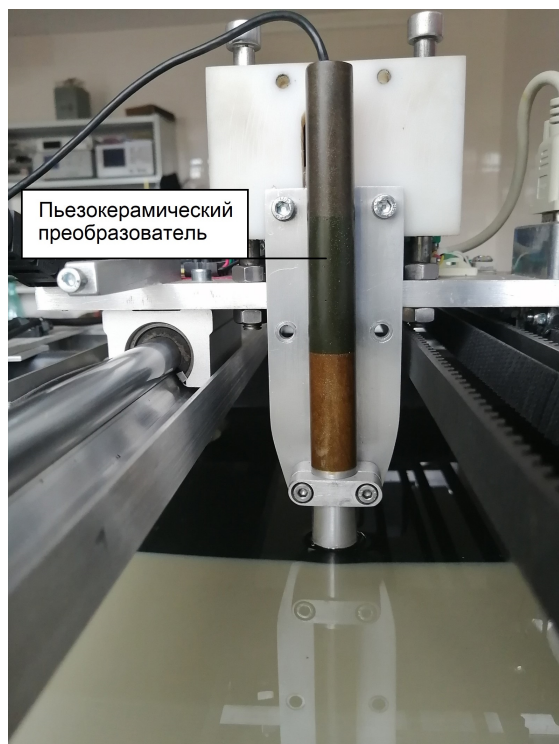


Рис. 10: Пьезокерамический преобразователь, закреплённый на установке позиционирования.

Для ослабления случайных помех, таких как механические колебания перекрытий здания, собственные шумы аппаратуры и импульсные наводки, используется процедура накопления - регистрация нескольких записей в каждой точке наблюдения с последующим осреднением. Данная технология широко распространена при проведении физического моделирования и показывает очень хорошие результаты ослабления нерегулярного шума. Для используемой установки оптимальное число накоплений лежит в интервале 50 – 100 [5].

Используемые в качестве источника колебаний пьезокерамические преобразователи (рис. 10–11) имеют свою сигнатуру – форму сейсмического импульса, а также характерный частотный спектр (рис. 12). При последующем подборе параметров модели важно помнить о длительности генерируемого импульса, так как при малых расстояниях между отражающими границами будет происходить нежелательное наложение цугов отраженных волн, что снизит временную разрешённость сигнала. На рис. 13 показан одноканальный временной разрез для трёхслойной модели вода-оргстекло-вода, из которого можно оценить длительность цуга прямой и отраженной волны.



Рис. 11: Различные виды пьезокерамических преобразователей [5].

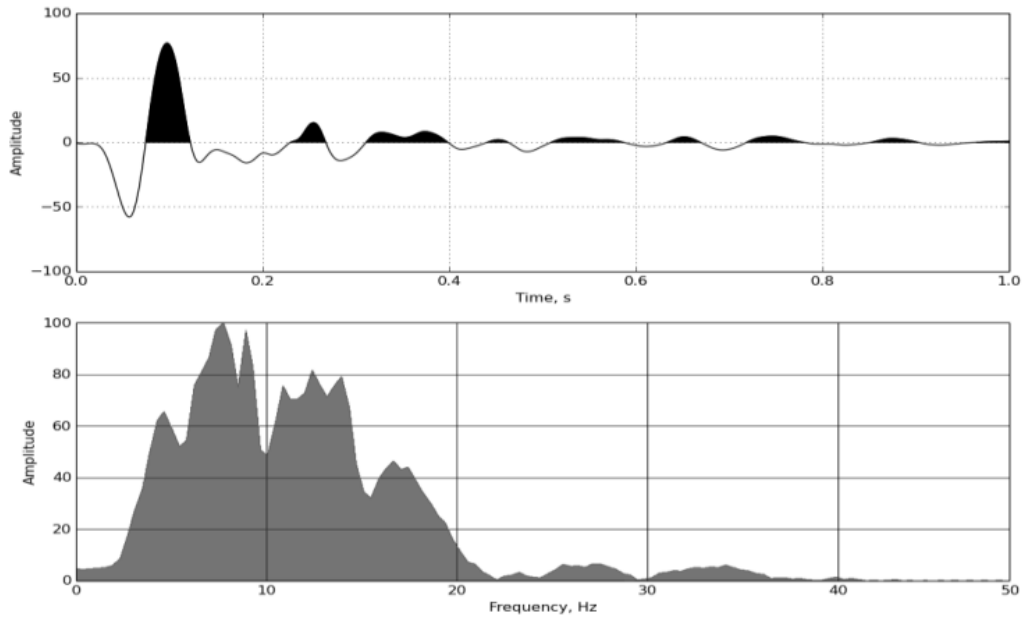


Рис. 12: Сигнатура и частотный спектр используемых преобразователей [5].

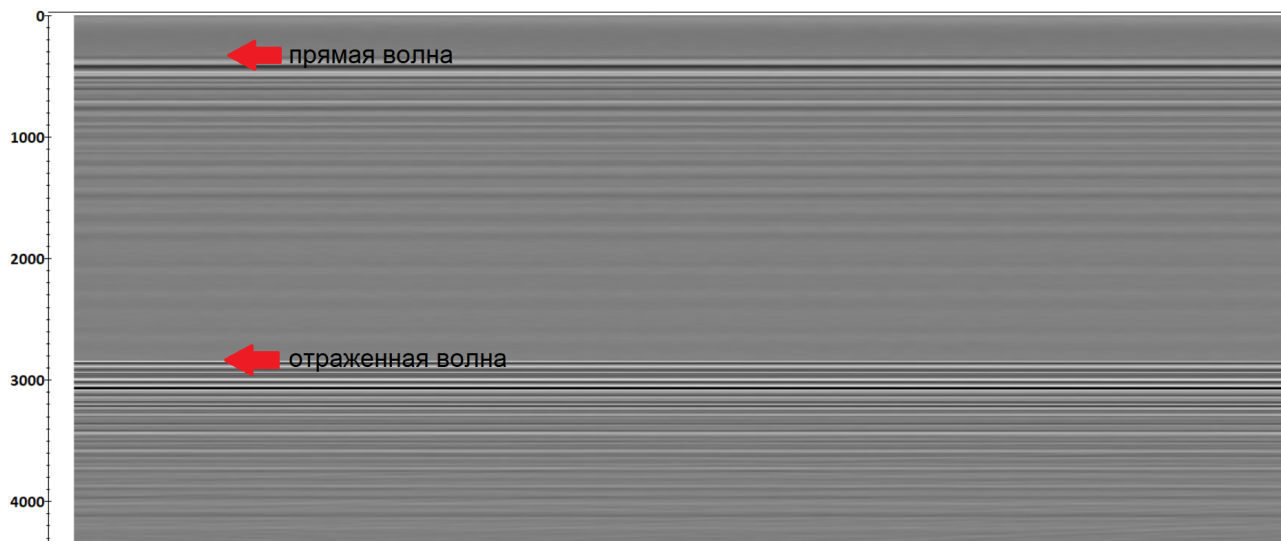


Рис. 13: Одноканальный временной разрез для трёхслойной модели вода-оргстекло-вода. Цуг прямой и отраженной волны более 1 сек - негативный фактор для временной разрешенности получаемых данных.

Модели, описанные в следующем разделе, помещались на дно заполненного водой бака. Уровень воды в баке поддерживался на постоянном уровне в ходе съемки, чтобы сохранялись заглубления пьезокерамических преобразователей и сохранялся их акустический контакт со средой (рис. 14).

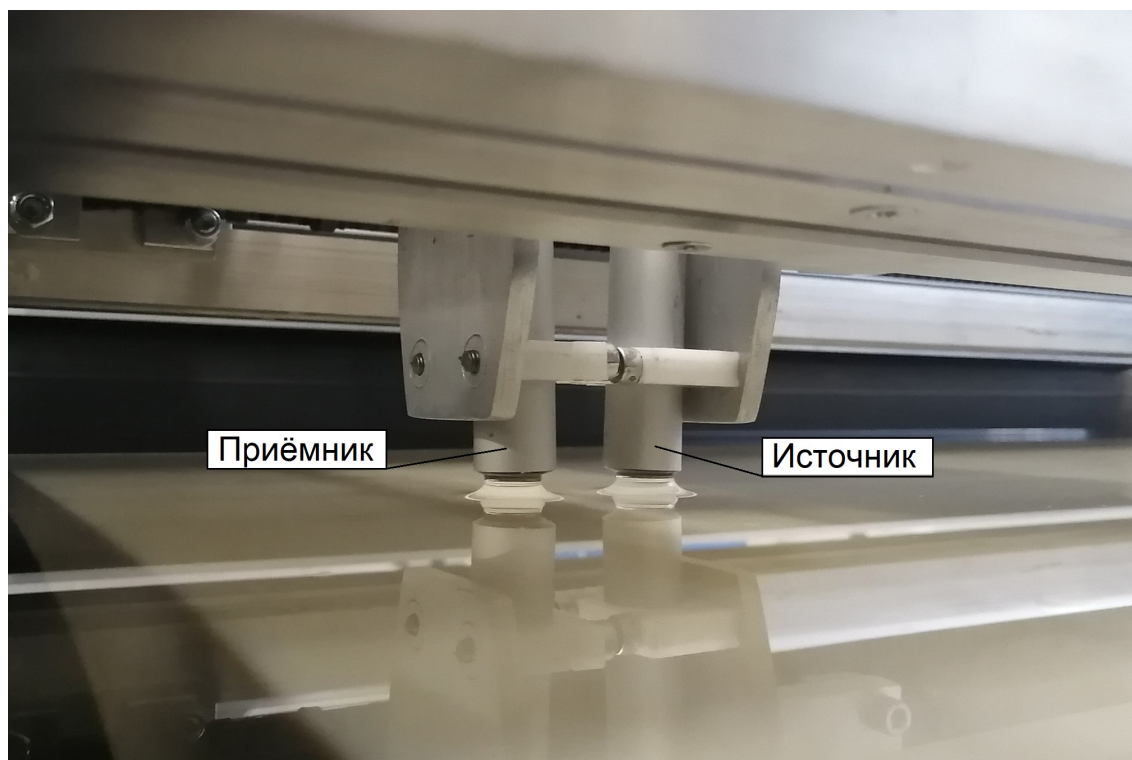


Рис. 14: Минимальный акустический контакт по водяному мениску. Обоснование минимального выноса в 410 метров - сдвинуть ближе источник и приёмник нельзя.

3.2 Используемые модели

Модель 1. Капролоновый блок.

Для моделирования границы с геометрической шероховатостью был выбран блок из капролона прямоугольно-параллелепипедальной формы, в средней части одной из граней которого были сделаны П-образные пропилы с изменяющейся шириной и глубиной – рис. 15. Блок на специальных подставках помещался в резервуар с водой, шероховатостью вверх. Высота подставок подбиралась так, чтобы кратные отраженные от поверхности модели волны не совпадали по временам прихода с однократно-отраженной волной от подошвы капролона. Для этого проводилось математическое моделирование в программном пакете Tesseral. На рис. 16 изображена модель трехслойной среды вода-капролон-вода, на рис. 17 – рассчитанные времена прихода однократных и кратных отраженных волн. Минимальное удаление системы наблюдений – 450 м. После подбора оптимальных заглублений блок капролона устанавливался в бак на подставках выбранной высоты и запускалась модельная сейсмическая съёмка.

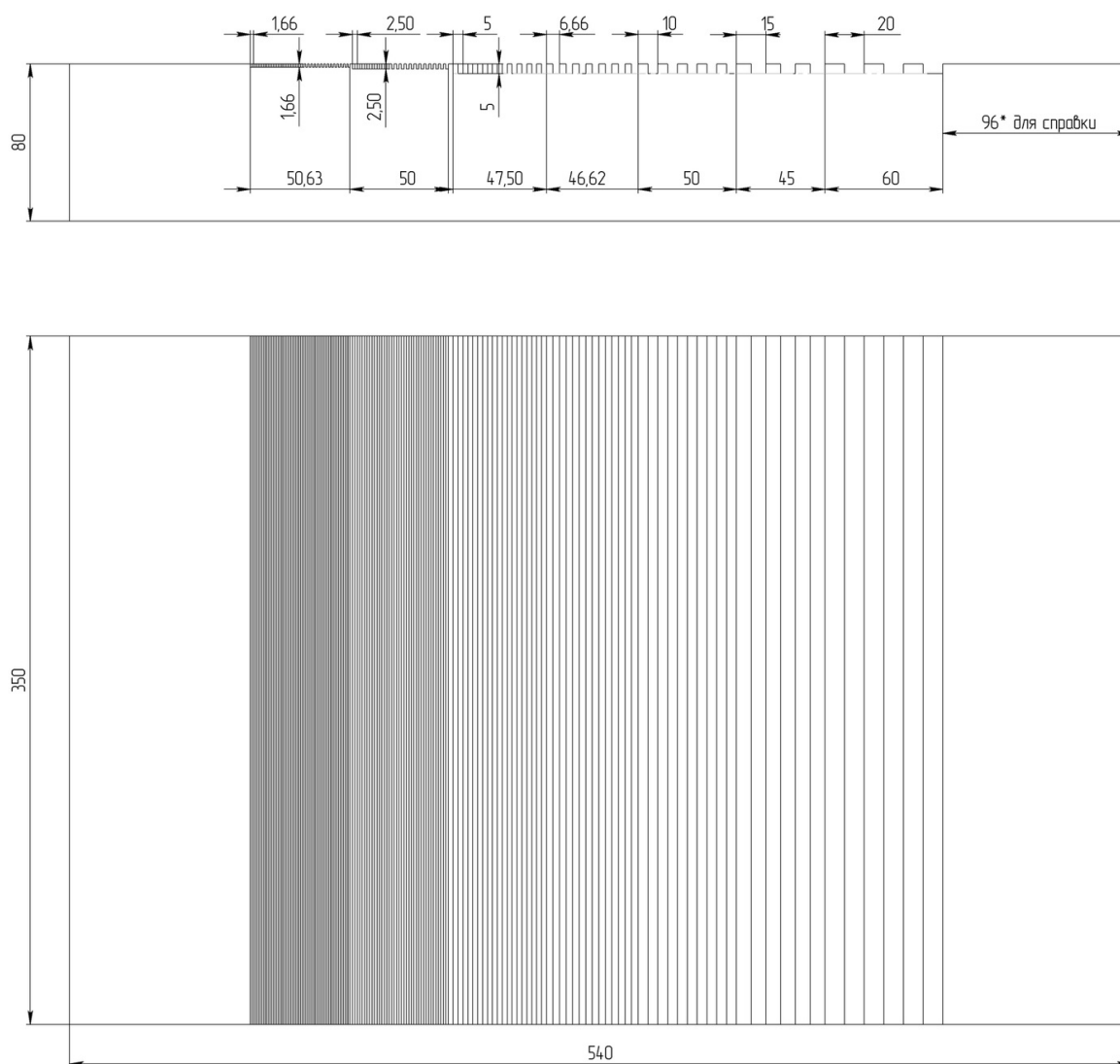


Рис. 15: Чертёж модели 1. Капролоновый блок. Предоставлен Поповым Д.А.

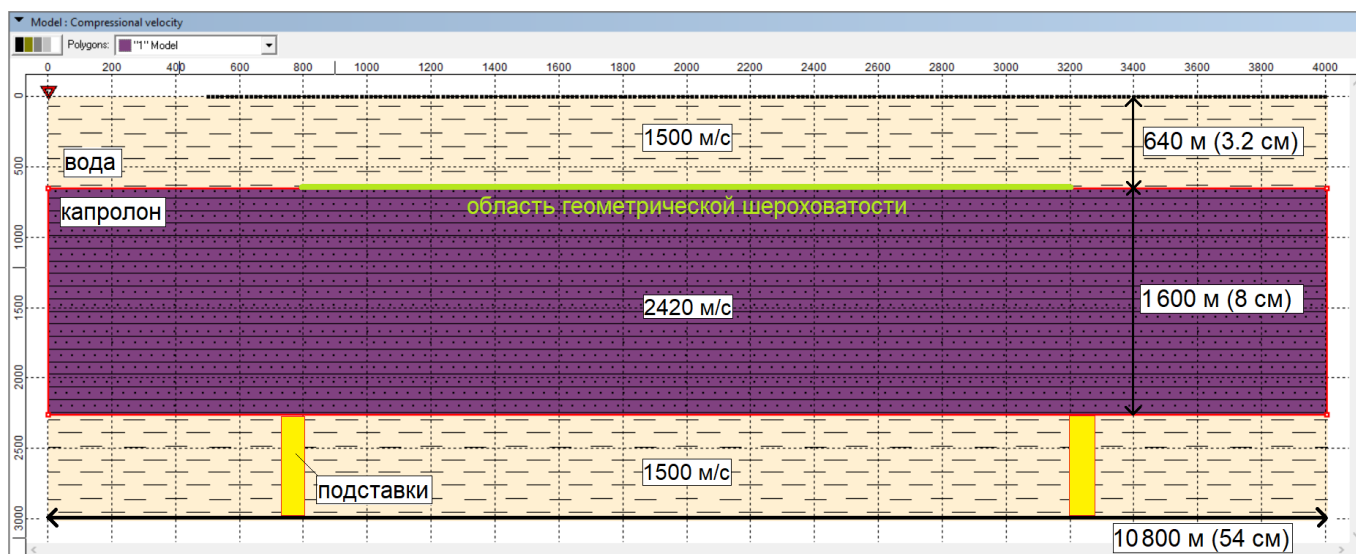


Рис. 16: Модель в Tesselal, построенная для подбора оптимального заглубления.



Рис. 17: Рассчитанное волновое поле для выбранных заглублений. Показаны времена прихода отражений от подошвы и кровли капролонового блока.

На установке физического моделирования осуществлена многоканальная съёмка со следующими параметрами системы наблюдений: шаг пункта взрыва (ПВ, т. е. источника колебаний) 60 м, шаг пункта приёма (ПП, т. е. приёмника колебаний) 15 м, минимальное удаление 450 м, максимальное удаление 4500 м, в сейсмограмме ОСТ 270 каналов. Время записи 4 сек, шаг дискретизации 10 мс (минимально возможный на имеющемся АЦП). Время полной съёмки составило около 50 часов.

Также на модели 1 осуществлена одноканальная съёмка со следующими параметрами системы наблюдений: Шаг ПВ 4 м, удаление источник-приёмник 450 м, количество ПВ 2300. Время записи 4 сек, шаг дискретизации 10 мс (минимально возможный на имеющемся АЦП). На рис. 18 приведена фотография модели №1 во время съёмки, ПВ и ПП проходят над участком капролона с шероховатой границей.

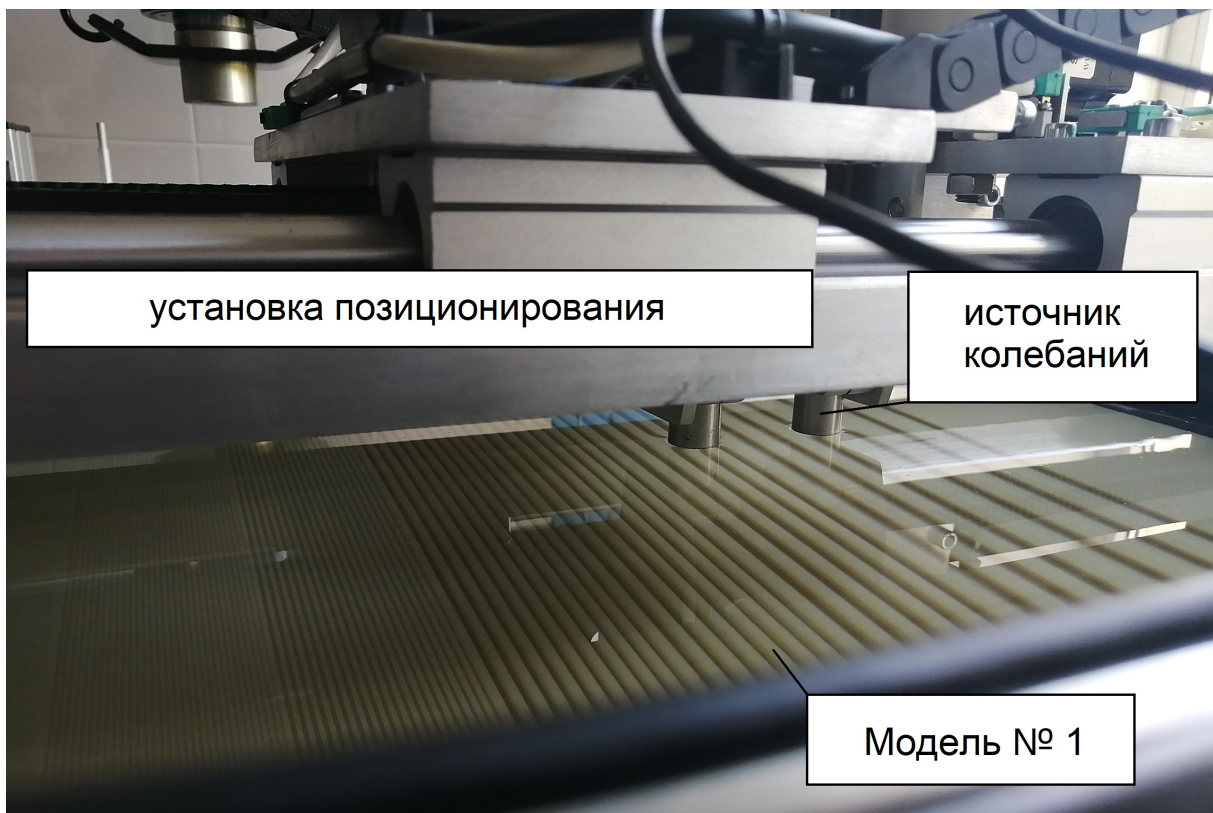


Рис. 18: Модель 1 в баке с водой во время съёмки. Пьезокерамические датчики проходят над участком шероховатой границы (поверхность капролона с пропилами).

Анализ полученных многоканальных сейсмограмм, одноканальных временных разрезов и результатов обработки данных приведен в последнем разделе данной работы - «Анализ полученных результатов».

Модель 2. Пластина из оргстекла над блоком из капролона.

В качестве второй модели была выбрана пластина из оргстекла толщиной 2.1 мм (42 м в масштабе), которая на специальных подставках размещалась над капролоновым блоком, установленным на дно бака шероховатой границей вниз. На предмет затухания амплитуд изучалось отражение от кровли капролона. На рис. 19 изображена математическая модель среды, построенная в Tesselal для подбора оптимальных параметров высоты подставки. На рис. 20 показаны расчётные времена прихода отражений от кровли оргстеклянной пластины и кровли капролона для указанных параметров модели.

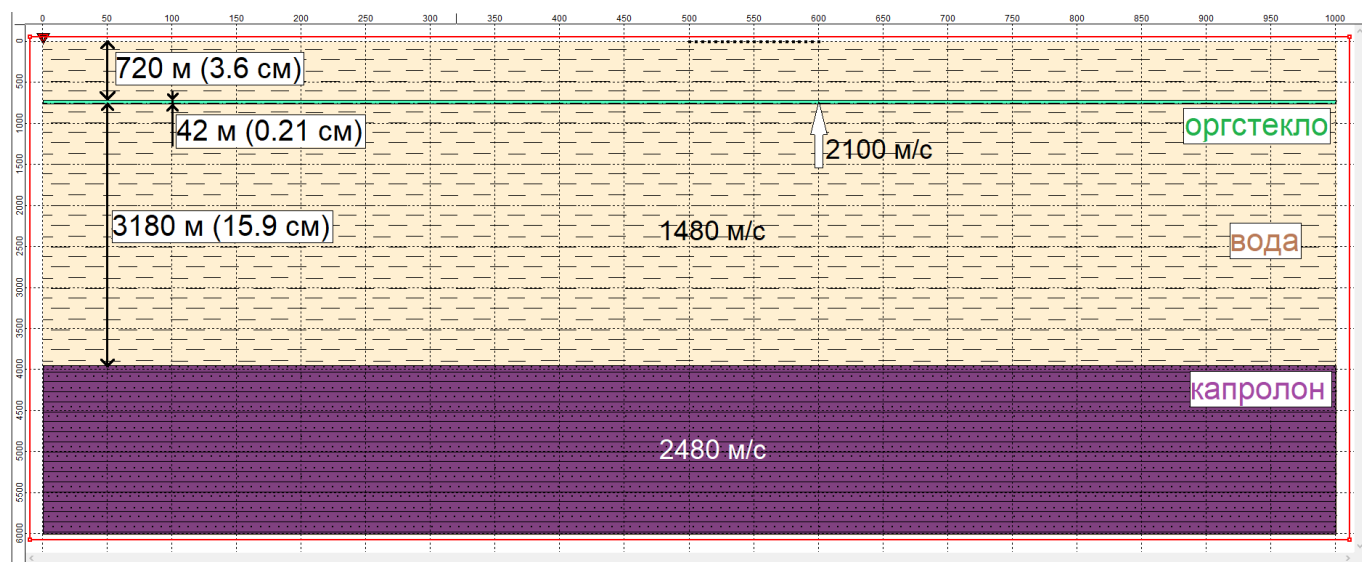


Рис. 19: Математическая модель среды, построенная для расчёта времен прихода отражений от кровли оргстеклянной пластины и капролонового блока.



Рис. 20: Модель 2. Расчёт времен прихода отражений от кровли оргстеклянной пластины и капролонового блока в программе Tesselal.

С использованием модели №2 осуществлена одноканальная съёмка с параметрами системы наблюдения, аналогичными тем, что использовались при изучении модели №1. При съёмке оргстеклянная пластина перекрывает капролон не на всей площади, т.е. по бокам модели присутствуют участки, где источник и приёмник проходят только над капролоном. Интересные результаты получены для съёмки над границей модели. Они описаны в разделе «Анализ полученных результатов».

Модель 3. Пластина из оргстекла с перфорациями над капролоном.

В оргстеклянной пластине, аналогичной той, что использовалась в модели №2, были высверлены отверстия разного диаметра. Параметры заглубления пластины, т.е. высота подставок, была выбрана такой же, как и ранее. На рис. 21 изображена оргстеклянная пластина с перфорациями, а также различные реализации подставок под пластину и капролоновый блок, изготовленные из Lego. С использованием данной модели осуществлена одноканальная съёмка с аналогичными выше описанным параметрами системы наблюдений.

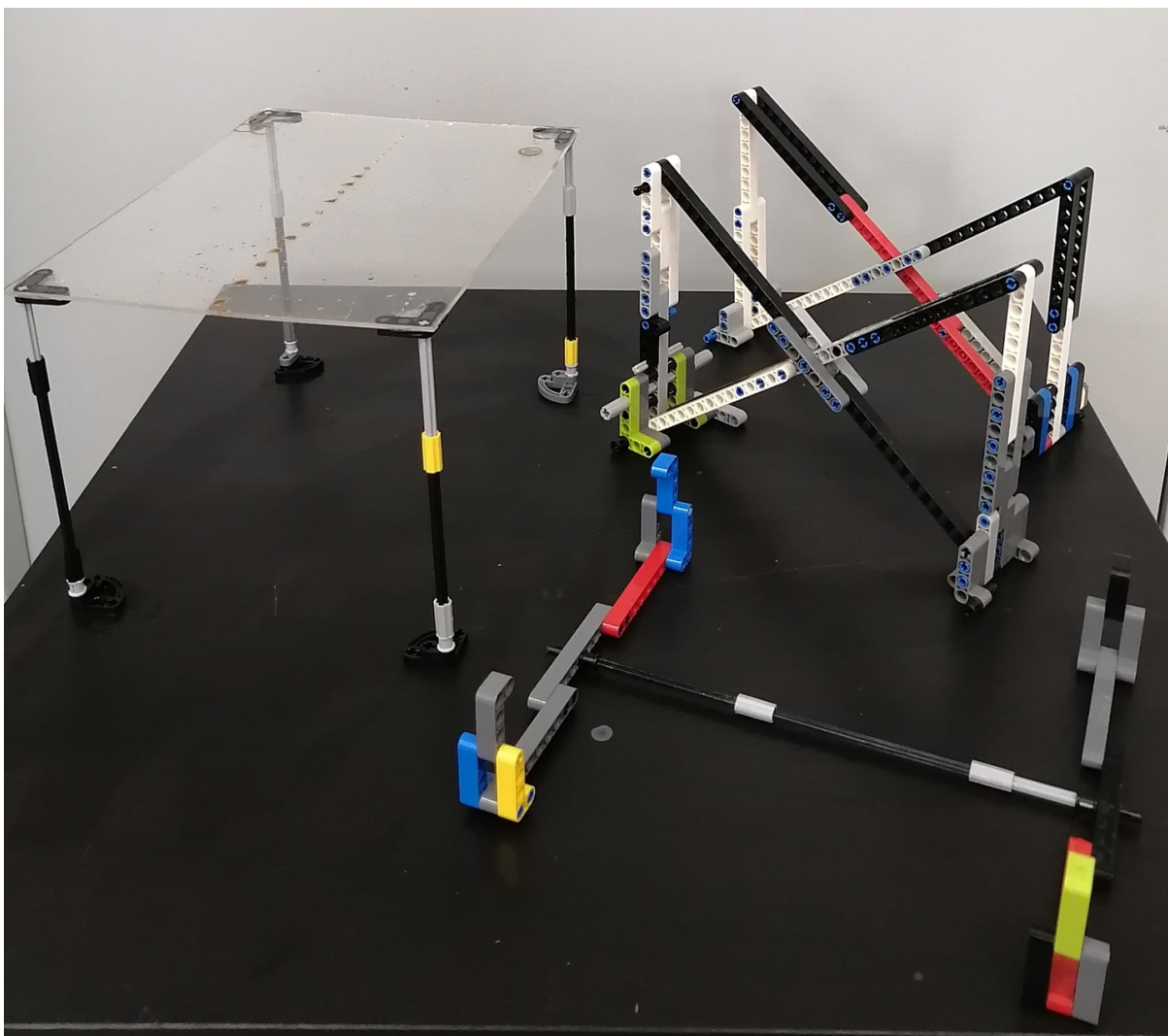


Рис. 21: Модель 3. Пластина из оргстекла с перфорациями и различные виды подставок из Lego под пластину и капролоновый блок.

Модель 4. Пластина из оргстекла с перфорациями и металлическими дифрагирующими объектами над капролоном.

В качестве указанных в названии модели металлических дифрагирующих объектов выбраны шарики от подшипников. Они устанавливались в перфорации в пластине, диаметр которых соответствовал диаметру самих шариков. На рис. 22 изображена оргстеклянная пластина со вживленными металлическими шариками. Заглубления пластины и параметры системы наблюдения аналогичны описанным для модели №3.

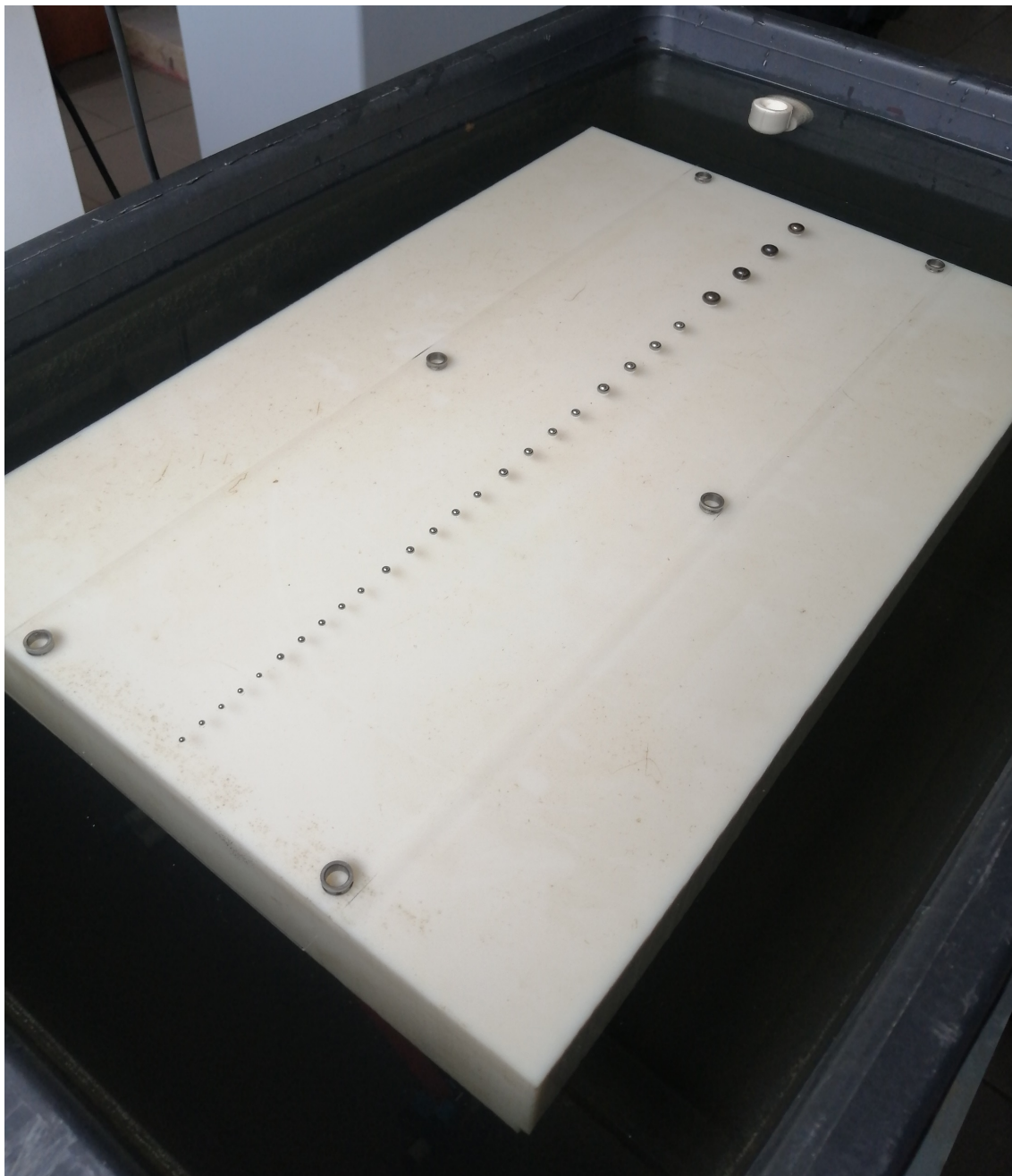


Рис. 22: Модель 4 (без подставок). Пластина из оргстекла с металлическими шариками над блоком капролона.

4 Анализ полученных результатов

Результаты, полученные для модели 1.

Выделение отражения от подошвы капролона на сейсмограммах оказалось затруднено вследствие высокой фазности сигнала, обусловленной сигнатурой источника. На рис. 23 приведена одна из сейсмограмм ОПВ, полученная при многоканальной съёмке. Цветными линиями отмечены вступления прямой, преломленной, отраженной от подошвы капролона волн. Также отмечены дифрагированные волны, легко различимые благодаря противоположному по отношению к другим волнам наклону участков осей синфазности. На рис. 24-26 приведены сейсмограммы ОПВ, полученные над участками шероховатой границы с разной частотой П-образных пропилов: более близкое расположение осей синфазности дифрагированных волн на сейсмограммах (рис. 26) отвечает участку с меньшими размерами пропилов.

Примечание: приведенные на рис. 24-28 сейсмограммы и сейсмические разрезы получены для заглупления кровли капролона на 420 метров (2.1 см), на котором первоначально производилась съёмка. Это заглупление оказалось неоптимальным (времена прихода трехкратной отраженной от кровли капролона и однократной отраженной от подошвы капролона волн близки по временам прихода на минимальных удалениях), оно было выбрано из-за ошибки в расчёте модельного волнового поля.

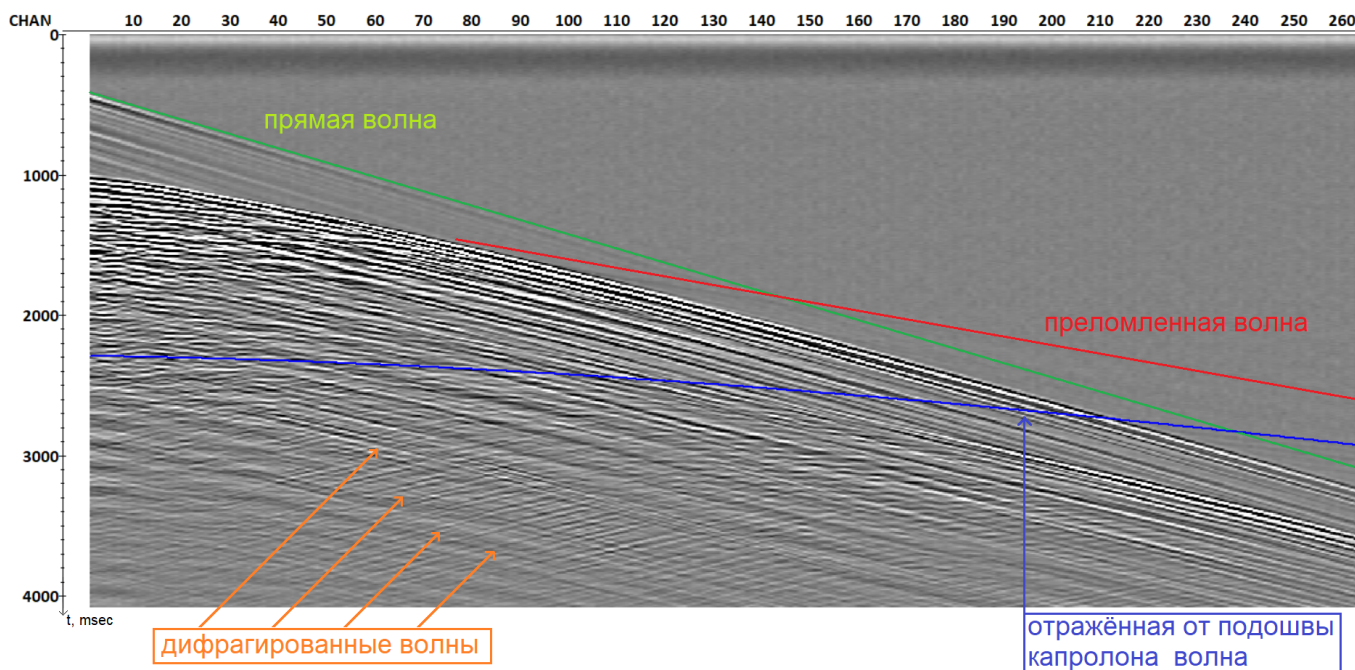


Рис. 23: Сейсмограмма ОПВ, модель 1. Низкая временная разрешенность обусловлена сигнатурой источника колебаний. Цветными линиями показаны вступления разных типов волн.

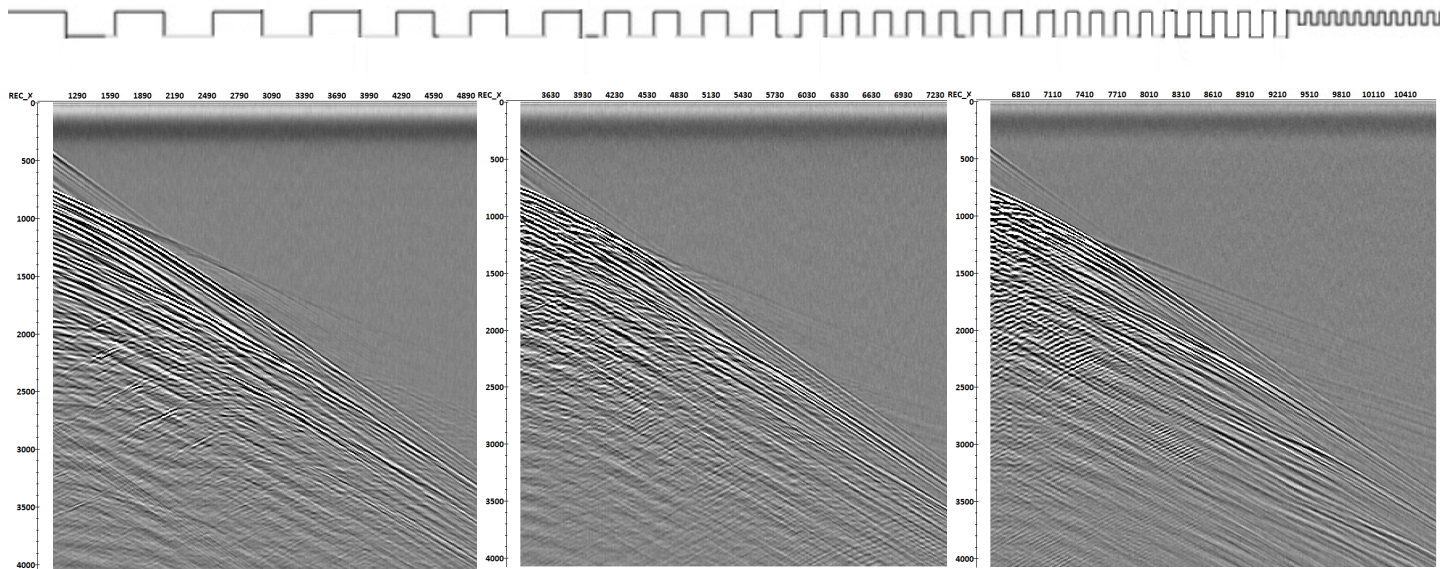


Рис. 24: Редкие оси синфазности дифрагированных волн.

Рис. 25: Оси синфазности дифрагированных волн средней частоты.

Рис. 26: Частые оси синфазности дифрагированных волн.

По результатам одноканальной съёмки получен сейсмический разрез, приведенный на рис. 27. Разрез осложнен регулярными горизонтальными помехами, затрудняющими выделение полезного сигнала. На разрезе можно выделить дифрагированные и рассеянные волны, связанные с геометрической шероховатостью поверхности модели (отмечены стрелками). Прямоугольниками на рисунке выделены области с различной степенью прослеживаемости отражённой от подошвы капролона волны [5].

На рис. 28 приведён сейсмический разрез ОСТ, полученный в работе [5] по данным многоканальной съёмки.

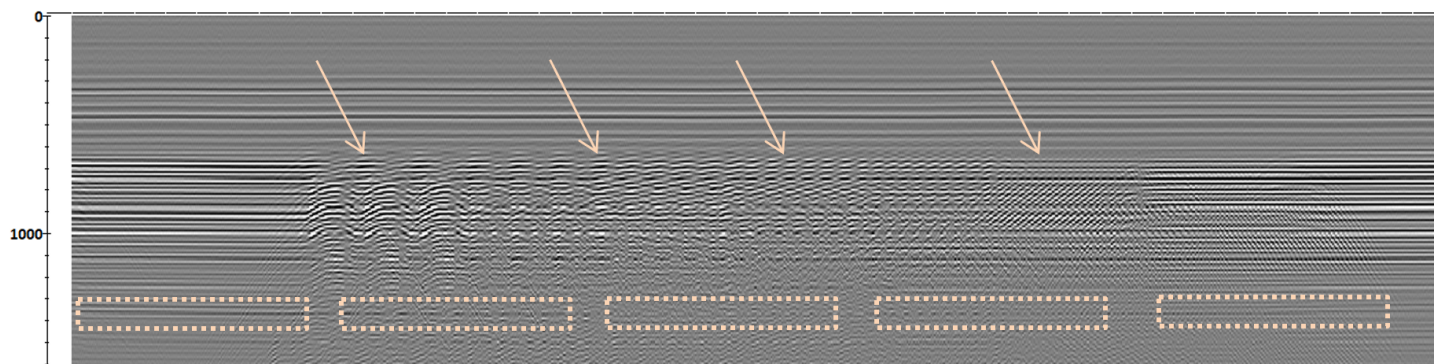


Рис. 27: Одноканальная съёмка на модели №1, стрелками показаны дифрагированные волны, прямоугольниками – участки отражения ото дна с разными амплитудами [5].

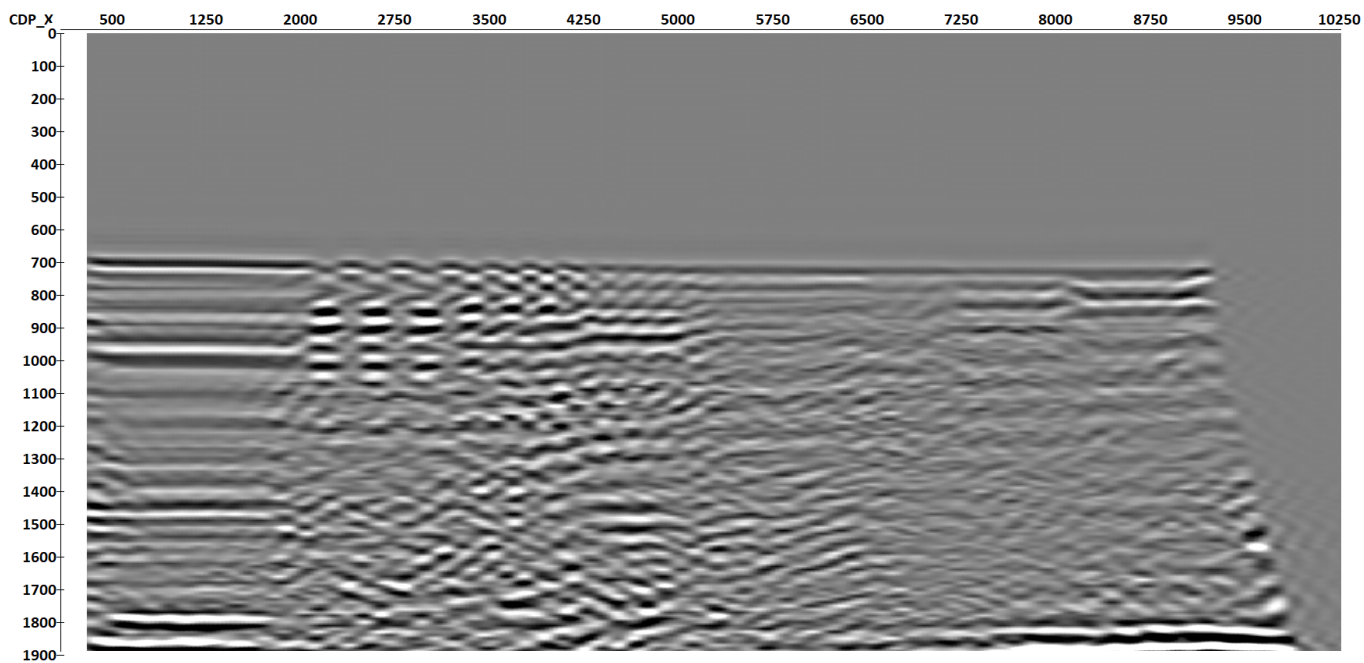


Рис. 28: Сейсмический разрез вдоль модели №1 после процедур обработки [5].

Численной оценки затухания здесь не проведено, однако отчетливо видно проявление фактора дифракционного рассеяния как механизма затухания амплитуд сейсмического сигнала. Прослеживаемость глубинного рефлектора (подшвы капролона) падает под шероховатой границей.

Как показали эксперименты, даже для оптимального заглубления не удаётся достичь хорошей временной разрешённости сигнала для сейсмического изображения модели №1. Причина этого состоит в том, что из-за неоптимальной сигнатуры источника (очень длинный сейсмический импульс – более 1 сек) отражение от кровли накладывается на отражение от подошвы. Поэтому для оценки вклада дифракционного рассеяния в формирование волнового изображения геологической среды было решено произвести эксперименты на других моделях, где плоскость с объектами рассеяния и прослеживаемый горизонт разнесены на большее расстояние.

Результаты, полученные для модели 2.

На рис. 29 показан одноканальный сейсмический разрез над моделью №2. Анализировались амплитуды вдоль оси синфазности, соответствующей вступлению отражения от дна капролона на временах около 5300 мс. Для этого с помощью специального модуля в программе RadExPro из сейсмограмм были извлечены значения амплитуд на соответствующих временах и выгружены в программу excel. На рис. 30 показано распределение амплитуд отражения от дна капролона вдоль профиля, визуализированное в excel, а также левая схема съёмки.

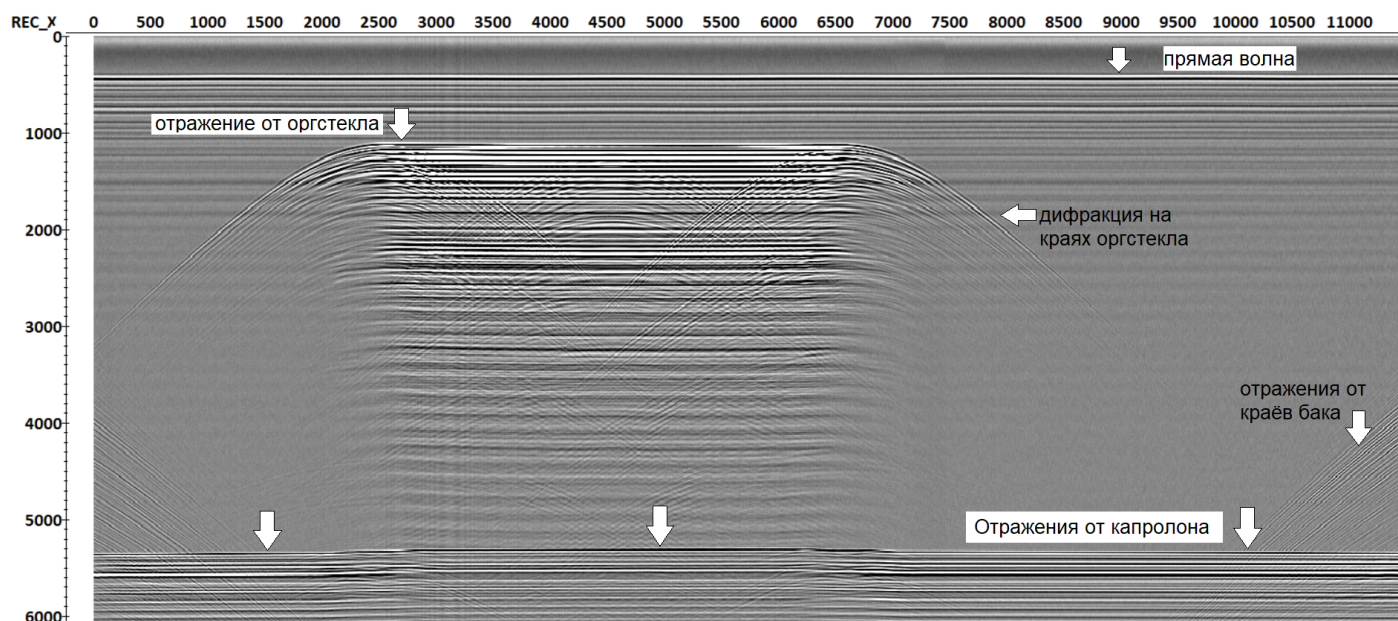


Рис. 29: Одноканальный сейсмический разрез над моделью №2.

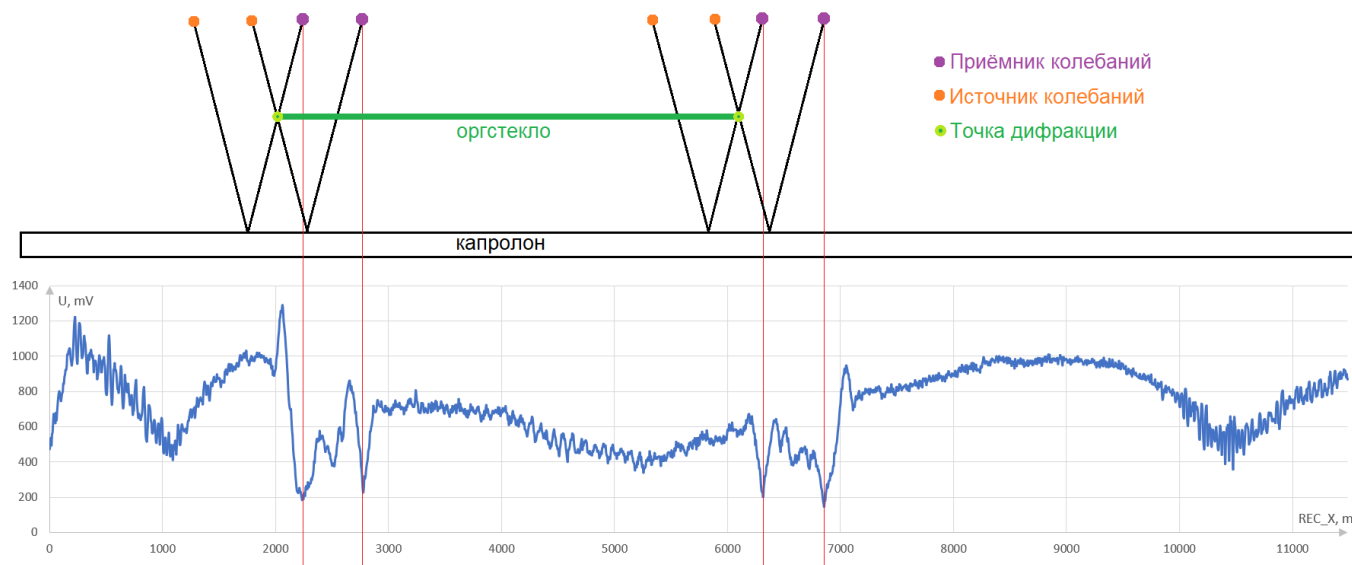


Рис. 30: Распределение амплитуд вдоль отражения от дна капролона и лучевая схема.

Наличие дифракции в центре пластины на рис. 29 объясняется тем, что в качестве оргстеклянной пластины без перфораций была вята пластина из модели №3, но установлена она была так, чтобы проходящая через перфорации линия была перпендикулярна сейсмическому профилю. Это было сделано из-за отсутствия пластины без перфораций. Вертикальным масштабом кривой амплитуд (рис. 30) являются милливольты - т.е. величина сгенерированного пьезокерамическим приёмником сигнала, пропорциональная амплитуде зарегистрированного механического возмущения в среде. Показанная на лучевой схеме пластина из оргстекла в дальнейших выводах считается тонким пластом. Резкая неоднородность уровня амплитуд по бокам модели, где источник и приёмник проходят только над капролоном, объясняется негативным влиянием отражений от бортов бака. Пониженный уровень амплитуд под оргстеклом объясняется наличием слоистого рассеяния. Просадка амплитуд под центром оргстеклянной пластины связана с неоднородностью самого капролонового блока. На рис. 31 показано сильно неоднородное распределение амплитуд отражения от кровли капролона для двухслойной среды вода-капролон. Для сравнения приведена амплитуда прямой волны, остающаяся примерно на одном уровне. Даже без анализа величины амплитуд видно, насколько неоднороден капролоновый блок - оси синфазности под отражением от его кровли не регулярны, что объясняется латеральной изменчивостью материала среды.

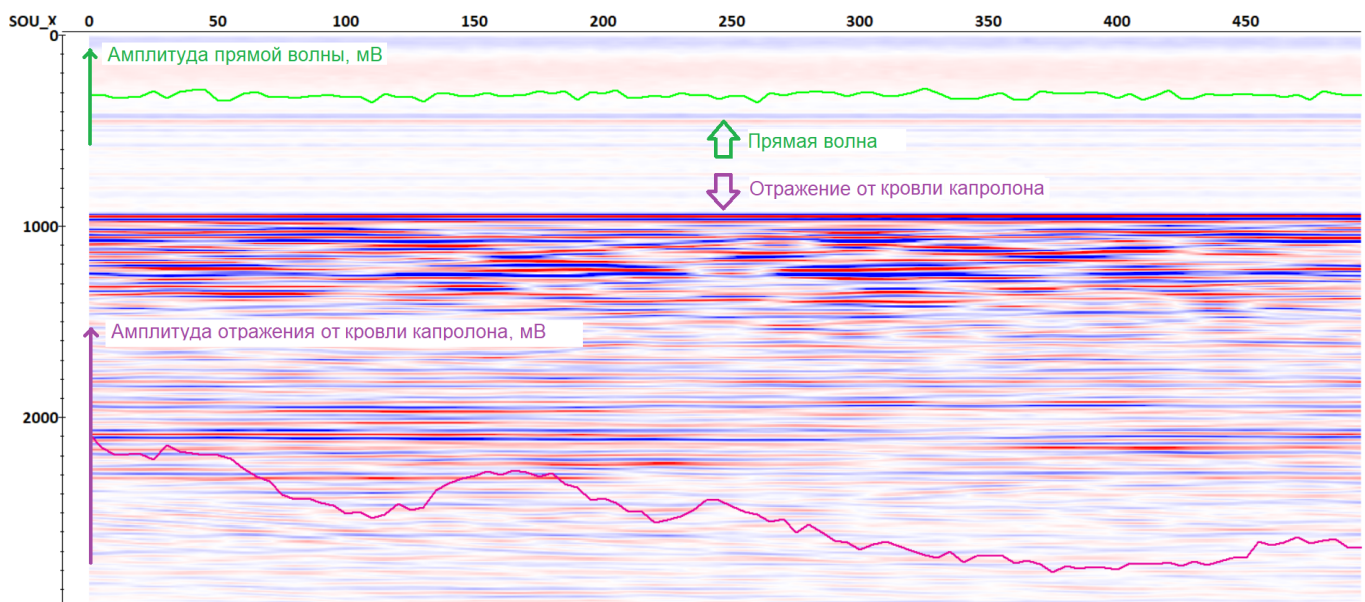


Рис. 31: неоднородность капролонового блока

Сопоставление кривой амплитуд с лучевой схемой (рис. 30) показывает, что зафиксированные минимумы энергии соответствуют тем положениям источник - приёмник, когда падающий или отраженный луч попадал в точку дифракции - край оргстеклянной пластины. Если бы энергия не расходовалась на дифракцию, переход был бы ступенчатый: рис. 32. Оценки ослабления амплитуд по отношению к предполагаемому уровню составляют 60–80 % (рис. 33).



Рис. 32: Кривая амплитуд и лучевая схема. Красной линией показано предполагаемое распределение амплитуд вдоль профиля в отсутствие дифракционного рассеяния.

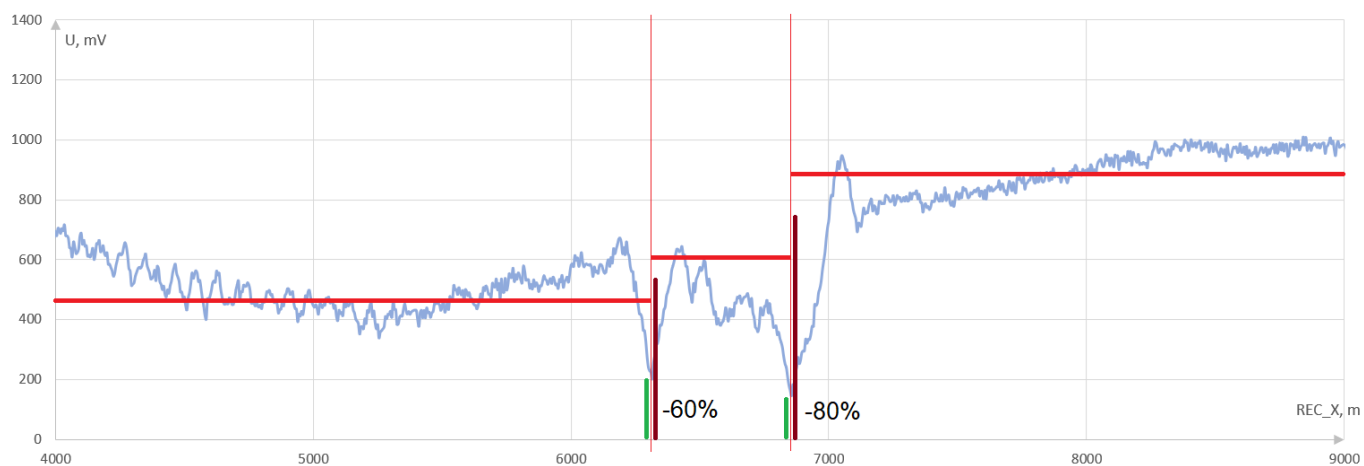


Рис. 33: Ослабление амплитуд отражения в процентах относительно предполагаемого уровня при отсутствии дифракционного рассеяния (за предполагаемое взято среднее значение между соседними ступенями).

Результаты, полученные для модели №3.

На рис. 34 показан одноканальный сейсмический разрез, полученный для модели №3. Красным прямоугольником выделен участок, в увеличенном масштабе изображенный на рис. 35. Желтая кривая на рис. 35 иллюстрирует распределение амплитуд сигнала вдоль отражения от дна капролона под рассматриваемым участком профиля.

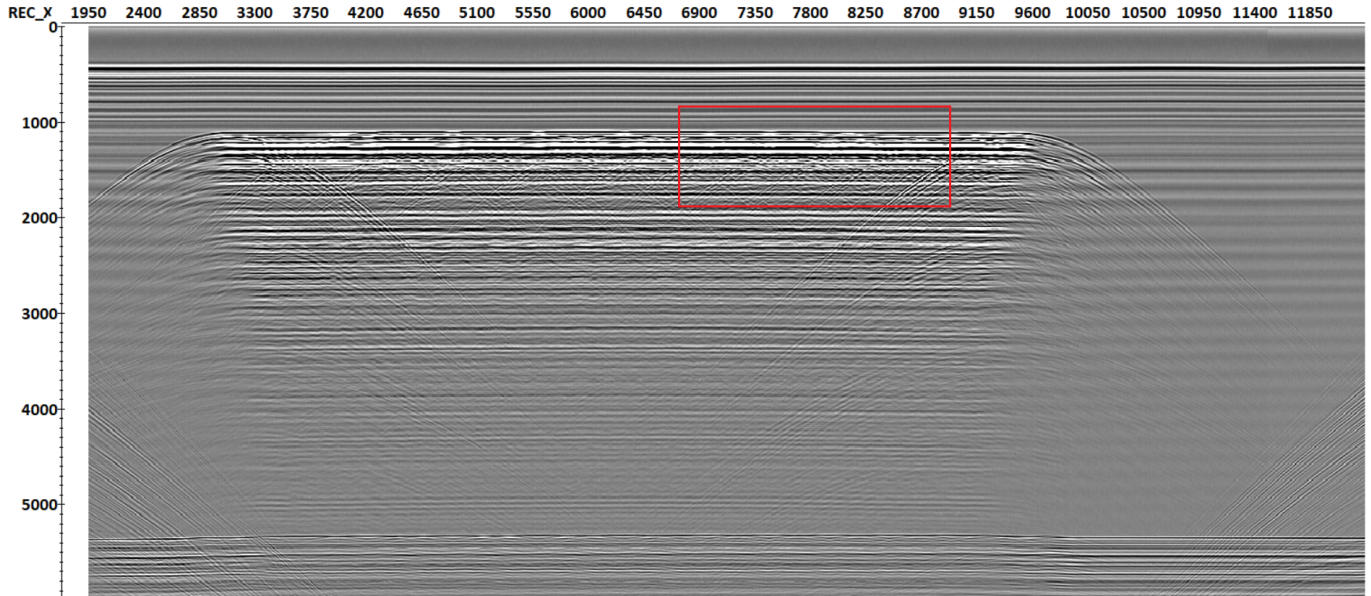


Рис. 34: Одноканальный сейсмический разрез над моделью №3. Красным прямоугольником показан участок профиля, анализирующийся далее в работе.

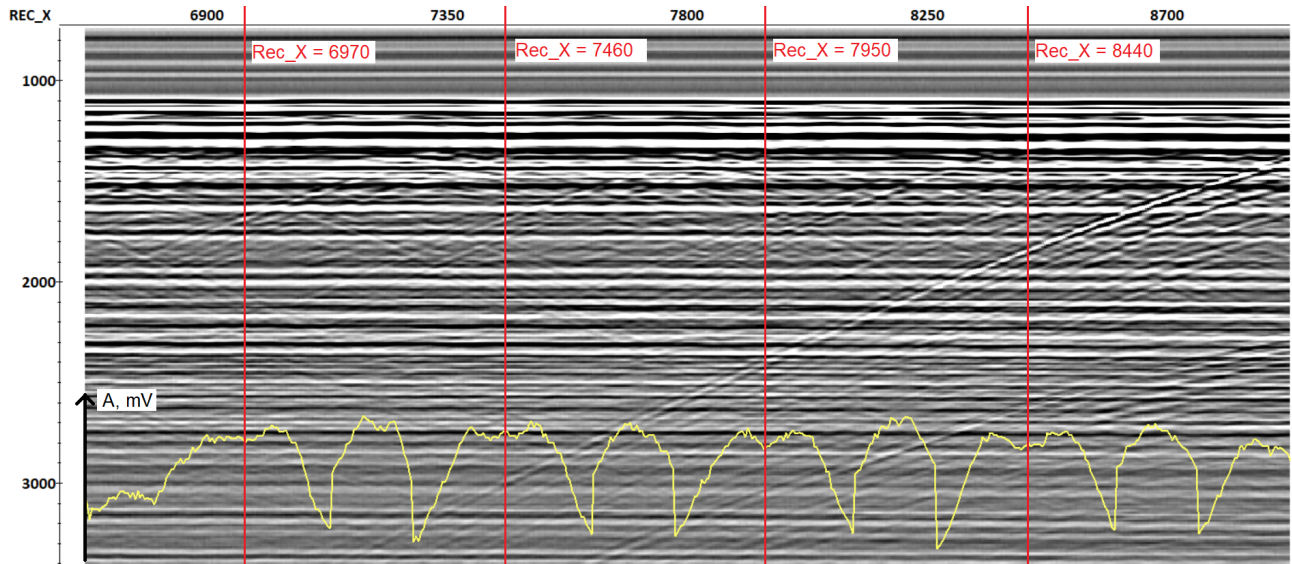


Рис. 35: Фрагмент одноканального сейсмического разрез над моделью №3. Желтая кривая - распределение амплитуд сигнала вдоль отражения от поверхности капролона.

Из сопоставления координат системы наблюдений и положения объектов на сейсмическом разрезе, можно заключить, что максимумы, наблюдаемые на кривой распределения энергии вдоль отражения от капролона (рис. 35), располагаются под сейсмическим изображением объектов дифракции (перфораций в оргстеклянной пластине), а также между ними. Данное явление легко объяснить, построив лучевую схему - рис. 36.

Изображение точки дифракции возникает на сейсмическом разрезе, когда луч, падающий на пластину из оргстекла, попадает в препятствие (перфорацию). В это же время луч, идущий до поверхности оргстекла, не встречает на своём пути преград в виде точек дифракции. Смещение системы наблюдений приводит к тому, что падающий луч попадает в препятствие. Этим объясняется возникновение минимума на кривой амплитуд. Второй минимум возникает при попадании в препятствие отраженного от капролона луча, восходящего к поверхности.

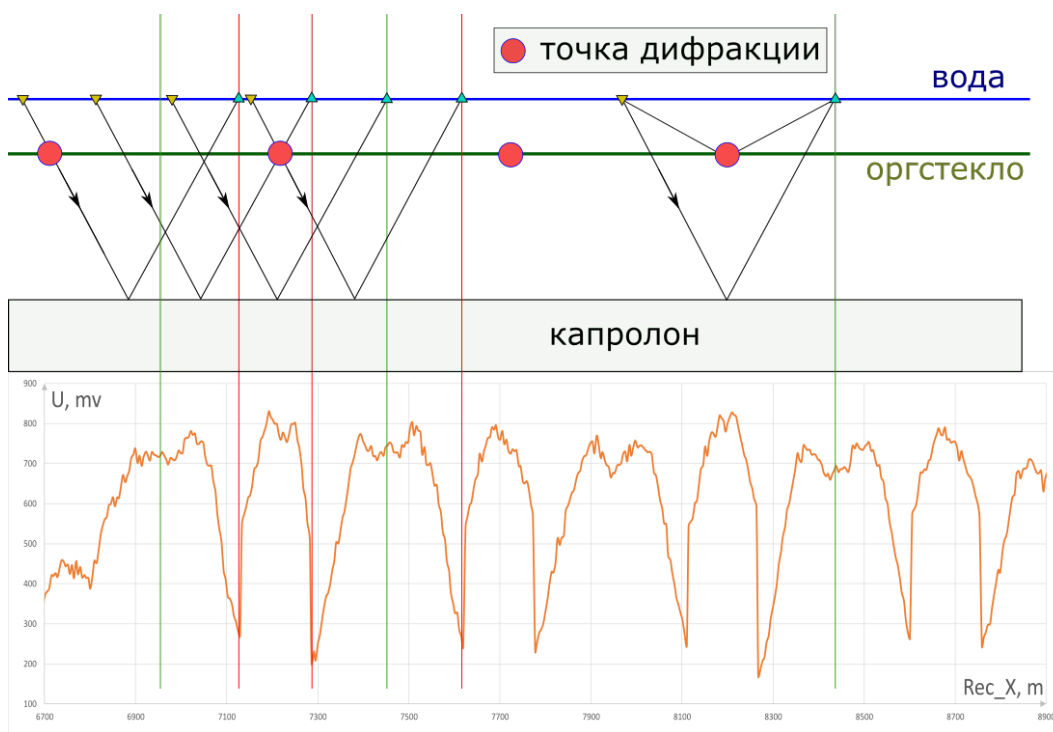


Рис. 36: Сопоставление лучевой схемы и кривой распределения амплитуд отраженной от капролона волны на рассматриваемом участке профиля для модели №3.

По кривой, приведенной на рис. 36 можно в процентах оценить величину затухания амплитуд вследствие рассеяния на одиночных объектах дифракции. Для этого сравним фоновый уровень амплитуд (700 мВ) и среднее значение минимума (200 мВ). Полученная величина составляет около 70%.

Результаты, полученные для модели №4

На рис. 37 показан одноканальный сейсмический разрез, полученный для модели №4. Красным прямоугольником выделен участок, в увеличенном масштабе изображенный на рис. 38. Желтая кривая на рис. 39 иллюстрирует распределение амплитуд сигнала вдоль отражения от дна капролона под рассматриваемым участком профиля.

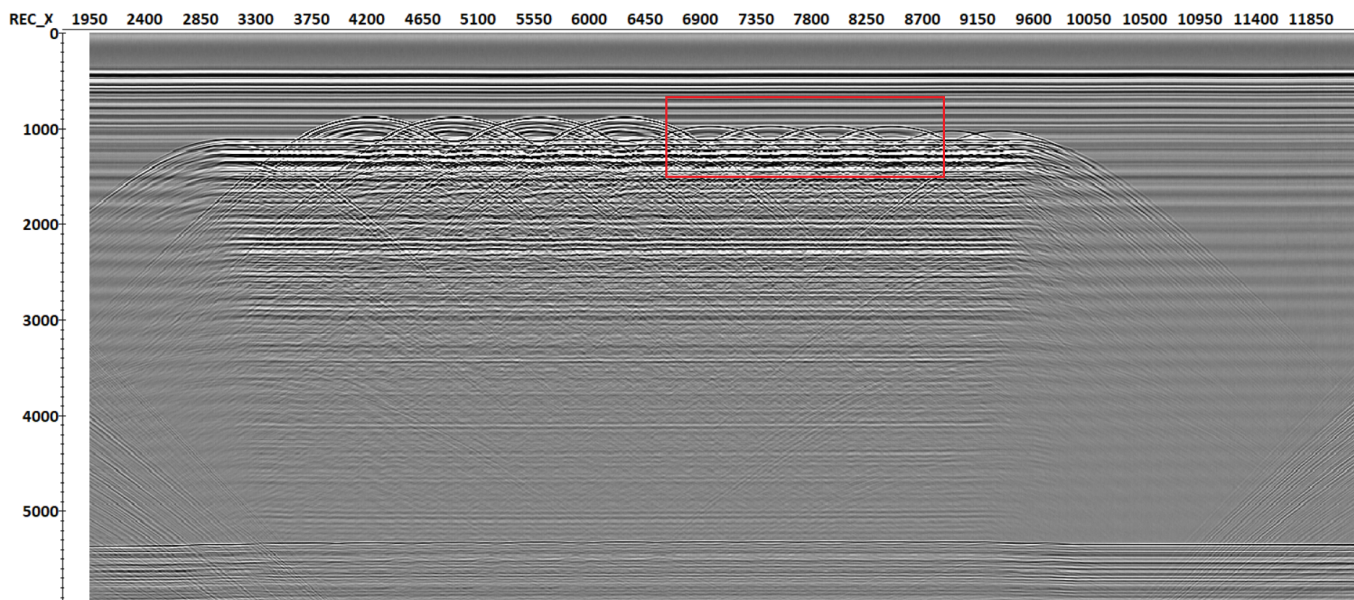


Рис. 37: Одноканальный сейсмический разрез над моделью №4. Красным прямоугольником показан участок профиля, анализирующийся далее в работе.

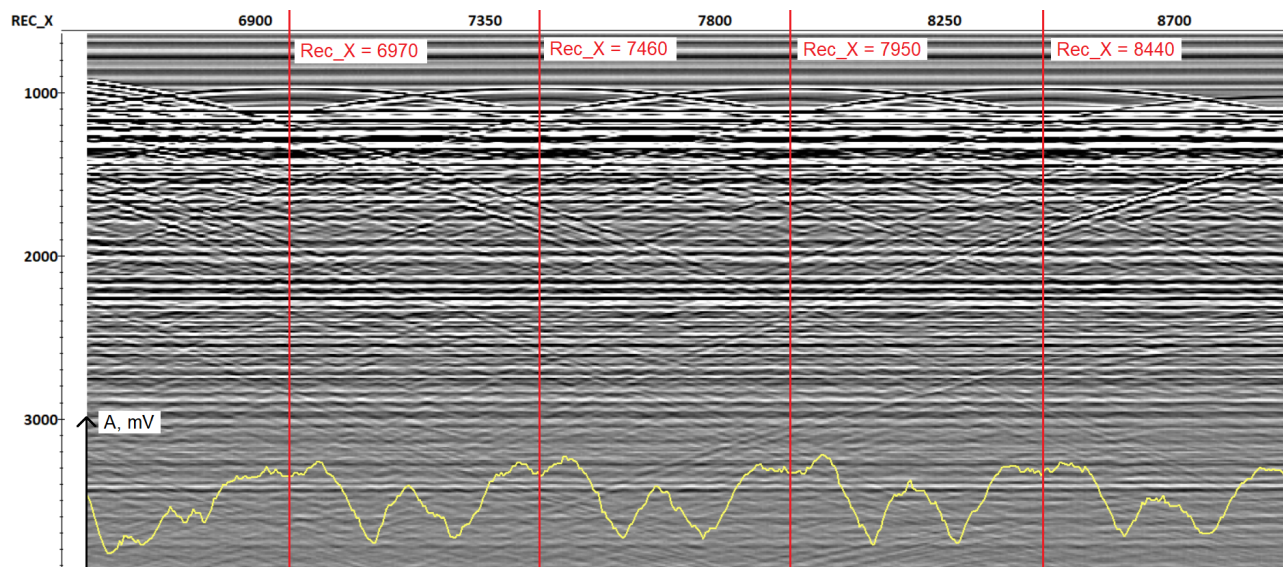


Рис. 38: Фрагмент одноканального сейсмического разрез над моделью №4. Желтая кривая - распределение амплитуд сигнала вдоль отражения от поверхности капролона.

Из сопоставления координат системы наблюдений и положения объектов на сейсмическом разрезе, можно заключить, что максимумы, наблюдаемые на кривой распределения энергии вдоль отражения от капролона (рис. 38), располагаются под сейсмическим изображением объектов дифракции (перфораций в оргстеклянной пластине), а также между ними. Данное явление легко объяснить, построив лучевую схему - рис. 39.

Изображение точки дифракции возникает на сейсмическом разрезе, когда луч, падающий на пластину из оргстекла, попадает в препятствие (металлический шарик). В это же время луч, идущий до поверхности оргстекла, не встречает на своём пути преград в виде точек дифракции. Смещение системы наблюдений приводит к тому, что падающий луч попадает в препятствие. Этим объясняется возникновение минимума на кривой амплитуд. Второй минимум возникает при попадании в препятствие отраженного от капролона луча, восходящего к поверхности. Отличие от кривой, приведенной на рис. 38, состоит в том, что пики между максимумами под точками дифракции не так хорошо выражены. Это объясняется возвышением металлических шариков над плоскостью оргстеклянной пластины, что создаёт за ними область геометрической тени.

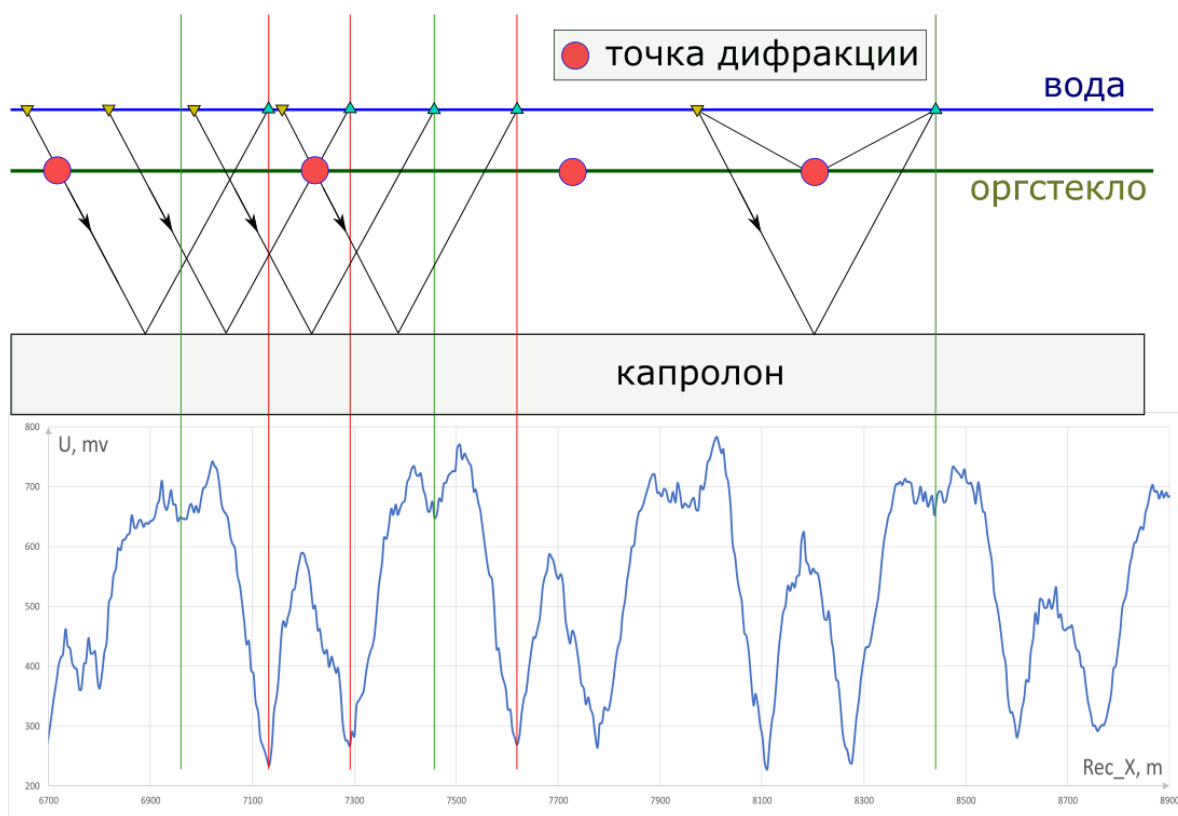


Рис. 39: Сопоставление лучевой схемы и кривой распределения амплитуд отраженной от капролона волны на рассматриваемом участке профиля для модели №4.

По кривой, приведенной на рис. 39 можно в процентах оценить величину затухания амплитуд вследствие рассеяния на одиночных объектах дифракции. Для этого сравним фоновый уровень амплитуд (650 мВ) и среднее значение минимума (250 мВ). Полученная величина составляет около 60%.

Заключение

В течении года было выполнено порядка тридцати экспериментов на установке физического моделирования. Далеко не все съёмки описаны в данной работе, т.к. многие из них носили предварительный, тестовый характер. Их целью являлся оптимальный подбор всех регулируемых параметров установки и системы наблюдений.

С помощью инструмента физического моделирования дана оценка величине затухания амплитуд сейсмического сигнала вследствие дифракции на одиночных препятствиях. Работа по данной теме может быть существенно расширена за счет рассмотрения новых моделей. По результатам проделанной работы можно сформулировать ряд выводов.

Выводы:

- Наличие дифрагирующих объектов осложняет волновое поле и может приводить к интерференции дифрагированных волн и целевого сигнала, как следствие, снижать разрешающую способность данных.
- Рассеяние энергии на неоднородностях приводит к затуханию сейсмического сигнала и, в отличие от сферического расхождения, слоистого рассеяния и поглощения, математический учёт вклада этого фактора в затухание амплитуд сигнала затруднён.
- Результаты физического моделирования показали, что при наличии одиночных дифракторов амплитуда сигнала падает на 60-80 процентов. При наличии большого числа таких объектов энергия может снизиться до уровня шума.
- Применительно к профилю AP1403 наличие только сильно расчленённого рельефа морского дна не может являться причиной отсутствия нижележащих рефлекторов. Однако это возможно при наличии подстилающих морское дно дифрагирующих объектов.

Список литературы

- [1] Боганик Г.Н., Гурвич И.И. «Сейсморазведка» АИС, Тверь, 2006 г., 744 стр.
- [2] Бондарев В.И. «Сейсморазведка», Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 2007 г., 703 стр.
- [3] Воскресенский Ю.Н. «Построение сейсмических изображений», Москва, 2006 г., 116 стр.
- [4] Половков В.В. Отчёт о НИР, 2019 г.
- [5] Половков В.В. Отчёт о НИР, 2020 г.