

**ПРИОРИТЕТНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ «ОБРАЗОВАНИЕ»
РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ**

О.В. МАКАРОВСКИЙ

**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ**

Учебное пособие

**Москва
2008**

Аннотация лекций и практических занятий.

Лекции.

1-я тема. Применение комплекса геофизических методов на различных этапах поисков и разведки залежей нефти и газа.

Перечисляются принципы комплексирования методов геофизики.

Задача обнаружения залежей углеводородов размером от сотен метров и толщиной от десятков метров на глубинах в несколько километров экономически выгодно решать только с помощью геофизических методов. Это возможно, так как залежь и изменения пород вокруг нее представляют собой значительную неоднородность в различных физических полях. Сначала по данным нескольких геофизических методов выделяют участки с максимальной толщиной осадочного чехла, в их пределах ищут крупные структуры, прогнозируют условия осадка накопления, изучают историю тектонической деформаций, и по этим данным выделяют наиболее перспективные локальные участки.

В их пределах выполняют детальные поиски потенциальных ловушек. Все эти задачи решают для каждого этапа комплексом геофизических методов с соблюдением принципов:

1. последовательного приближения;
2. полноты;
3. аналогии;
4. наибольшей эффективности и экономической целесообразности.

На этапе региональных работ используют космо - и аэрофотосъемку, аэрометоды: гравиметрию, электрометрию и магнитометрию. Теми же методами в наземном варианте и с применением глубинных сейсмических зондирований изучают разрез до границ Мохоровичича и выделяют крупные структуры. Затем выбирают наиболее перспективные участки для оценки их нефтегазоносности. Ведущим методом становится сейсморазведка, а магниторазведка, гравиразведка и электроразведка становятся дополнительными. Приводятся примеры применения комплекса геофизических методов для поиска некоторых наиболее распространенных и крупных типов ловушек.

На этапе поисков ловушек выполняется преимущественно сейсморазведка, все более детальная вплоть до 3Д сейсморазведки в комплексе с электро -разведкой также в площадном варианте. На наиболее перспективных ловушках при благоприятных условиях ставятся прямые методы поисков залежей. Наибольшее количество признаков залежей дает сейсморазведка, но и данные магнитометрии, гравиметрии и электрометрии увеличивают достоверность их обнаружения.

После проверки бурением продуктивности ловушек и открытия месторождения ведущая роль переходит к геофизическим исследованиям в скважинах (ГИС), а сейсморазведка играет подчиненную роль для наблюдения между скважинами, особенно в случае сложного строения разреза и изменчивых фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) коллекторов.

2-я тема. Основы теории сейсморазведки.

Понятие луча и фронта упругой волны. Формы лучей и фронтов для однородной среды и для среды с ростом скорости с глубиной и с акустическими границами в ней.

Закон Снеллиуса. Отражение, преломление, полное внутреннее отражение и формирование головных волн. Продольные и поперечные волны. Обмен. Годографы ОВ и головных волн. Использование этих волн для решения геологических и геофизических задач.

3-я тема. Источники, формы и спектры упругих колебаний. Деконволюция.

Особенности и возможности сейсмического метода. Переход от колебаний, вызванных землетрясениями к колебаниям, вызванными взрывами. Модель взрыва - функция Дирака, ее форма. Модель, иллюстрирующая переход от удара к гармоническим колебаниям. Понятие спектра. Преобразование Фурье. Понятие ноль - фазовой функции.

Соотношение между длиной функции и шириной спектра. Типичная форма колебания частиц, вызванного взрывом. Взаимодействие упругих колебаний с породой, изменение спектра упругих колебаний с ростом длины пути волн по породам разреза. Порода как фильтр.

Вибратор - источник упругих колебаний, форма и спектр излучаемых им колебаний. Укорочение длительности колебаний с помощью вычисления функции взаимной корреляции, форма которой близка к форме колебаний, распространяющихся из источника. Полученная кореллограмма позволяет раздельно проследить все отражения.

Это преобразование называется деконволюцией или обратной фильтрацией. Другой способ выполнения деконволюции - вычисление оператора обратной фильтрации и свертка его спектра со спектром колебания, излучаемого вибратором. Предсказывающая деконволюция. Деревверберация - разновидность деконволюции, применяемая для устранения кратных отражений при морской сейсморазведке.

4-я тема. Поправки за зону малых скоростей (ЗМС). Борьба с помехами.

Неоднородность литологического состава пород и их скоростей, а также изменчивость толщины ЗМС вызывают взаимное смещение каналов, искажающих форму отражающих границ. Этапы внесения поправок. 1-й этап: Учет рельефа местности и учет изменения скорости ЗМС, вычисленное по форме годографа головной волны от подошвы ЗМС или с помощью рефрагированной волны, если отсутствует контрастная подошва ЗМС. Уточнение изменения скорости по вертикальным временам в пунктах взрыва.

2-й этап: Устранение погрешностей вычисления скоростей ЗМС взаимным смещением трасс после осреднения сдвигов между каналами на малых базах.

3-й этап: При необходимости точного внесения поправок - вычисление функции взаимной корреляции между каналами для уточнения величин взаимного смещения каналов. Дается пример результатов внесения поправок за ЗМС.

Виды помех сейсмической записи. Волна Релея - низкочастотная, низкоскоростная, и ее моды. Свойства волны Релея. Способы борьбы: фильтрация и группирование.

5-я тема. Обработка сейсмических данных по методике общей глубинной точки (МОГТ).

Кинематическая поправка в годографы отраженных волн для получения изображения отражающих границ разреза выполняется по МОГТ с одновременным сложением многократных отражений от каждой отражающей точки каждой отражающей границы. Для получения исходных данных применяется система наблюдений, предусматривающая, при углах наклона отражающих границ больше 3-5 градусов, происходит расфокусирование отражающих границ. Частично-кратные волны-помехи и условия их подавления: амплитуда уменьшается в 6-10 раз при расхождении годографов однократной и частично-кратной ОВ не менее чем на половину периода. Применяется статистическое группирование сейсмоприёмников на малой базе для уменьшения фона случайных помех.

Результаты применения МОГТ:

1. Увеличение интенсивности отражений.
2. Подавление частично-кратных отраженных волн-помех.
3. Построение временного разреза.
4. Построение скоростного разреза, в том числе изучение изменения скорости вдоль пласта.

6-я тема. Факторы, влияющие на плотность и скорость в породах разреза.

Знание этих факторов позволяет прогнозировать контрастность различных геологических объектов в поле акустических жесткостей и таким образом обосновано выбирать геологические задачи для решения их сейсморазведкой, а также извлекать геологическую информацию из данных сейсморазведки, например, объяснять геологические причины смены фазы ОВ.

1. Литология и пористость. Распространение волны по минеральному скелету и веществу, заполняющему поры, незначительный разброс физсвойств в минералах, входящих в состав терригенных пород. Зависимость скорости и плотности от пористости, заполняющих их флюидов и вещества цемента. Зависимость скорости и плотности от степени метаморфизма. Стабильность физсвойств магматических пород. Влияние диагенетических изменений пород на их физсвойства.

2. Рост давления и глубины залегания пород увеличивает контакт между частицами, разделенными порами или трещинами и увеличивает их скорость и плотность. В малопористых магматических, метаморфических породах и в солях плотность и скорость меньше зависят от давления и глубины их залегания. В трещиноватых породах и глинах наблюдается анизотропия скорости, и влияние давления зависит от его направления. Природа аномально высокого порового давления и его влияния на скорость. Рост температуры снижает скорость.

3. Связь плотности и скорости в породах. Эмпирические формулы, описывающие эту осредненную связь различны для различных пород и регионов.

4. С возрастом плотность и скорость растут в связи с цементацией терригенных пород, уплотнением глин и песчаников, перекристаллизацией. Связь энергетического режима осадконакопления со степенью уплотнения. Формирование отражающих границ между породами различного возраста, связанное с перерывами осадконакопления.

5. Газо- и нефтенасыщенность уменьшают плотность и скорость в породах. Сжимаемость газа, рост растворимости газа в нефти с ростом глубины и давления. Независимость скорости поперечной волны от газо- и нефтенасыщения. Газовые пузырьки заметно снижают скорость продольной волны, даже если плотность при этом меняется незначительно.

6. Информация о литологии и нефтенасыщении содержится в отношении скорости продольной волны к скорости поперечной волны.

7. Связь распределения скорости и ее перепадов на границах пластов с условиями осадконакопления (например, континентальные, прибрежные, шельфовые). Измерение скорости.

Наиболее точное и детальное измерение скорости осуществляется при геофизических исследованиях в скважинах, а самые массовые определения - при обработке МОГТ. Определение скорости для наклонных и криволинейных границ и по данным встречных годографов. Поглощающие свойства горных пород несут информацию о тектонических зонах, коллекторах, залежах нефти и газа. Потеря энергии упругих колебаний за счёт трения и рассеяния упругой энергии на неоднородностях. Поглощение характеризуется коэффициентом поглощения (уменьшением амплитуды с ростом пути по породам и с ростом частоты колебаний) и декрементом затухания (изменением амплитуды на пути, равном длине волны). С ростом давления поглощение уменьшается, а с ростом температуры и пористости увеличивается. В рыхлых породах декремент затухания изменяется от 0,1 до 0,7, а в плотных породах от 0,02 до 0,04. Поглощение поперечных и продольных волн различно в высокопористых породах. Приведен разрез поглощений с аномалиями в залежах нефти.

7-я тама. Разрешающая способность сейсморазведки.

Потребность в обнаружении некрупных залежей и продуктивных пластов. Определения горизонтальной и вертикальной разрешающих способностей. Объяснение величины вертикальной разрешающей способности, равной четверти длины волны, на модели отражений от кровли и подошвы клина. На этапе разведки, когда есть пересечения пластов скважинами, их толщину можно проградуйровать по амплитуде отражения, и тогда разрешающая способность становится равной одной восьмой части длины волны, а для контрастных и ровных границ она еще меньше.

Для объяснения величины горизонтальной разрешающей способности рассматривается круг диаметром, равным первой зоне Френеля, обратно пропорциональной корню из частоты колебаний. Определению положений краев границы, меньших этого диаметра, препятствует дифрагированная волна от края границы.

Рассматриваются динамические особенности дифрагированной волны по сравнению с ОВ и результаты сложения этих волн вблизи краев отражающих границ. Таким образом, разрешающая способность по горизонтали и вертикали зависит от частоты волны.

Улучшение разрешающей способности достигается повышением частоты колебаний за счёт а) уменьшения заряда или более частого колебания плиты вибратора, б) выбора наилучшей среды для создания колебаний, в) ряда приемов, улучшающих регистрацию высокочастотных колебаний.

Наилучшая разрешающая способность достигается при работе на море, где нет рыхлой ЗМС, а в воде колебания всех частот затухают мало. Рассматриваются задачи, решаемые при морских сейсмических работах, способы создания колебаний (типы источников), техника и методика работ.

8-я тема. Миграционные преобразования сейсмических данных.

Излагается понятие о сейсмическом сносе, способ построения положения истинной наклонной отражающей границы по кажущейся границе с помощью фронтов падающей волны от серии источников и с помощью годографов дифрагированной волны с вершинами в точках на истинной отражающей границе. Выводится уравнение миграционного оператора. Рассматриваются искажения вогнутого и выпуклого изломов отражающей границы за счёт сейсмического сноса (заходы, разрывы). Описывается простой способ миграции методом общих касательных к дугам окружностей - фронтам падающей волны. Описываются и иллюстрируются искажения антиклиналей и синклиналей за счёт сейсмического сноса. Дается определение миграции.

Современные способы выполнения миграции основаны на решении волновых уравнений.

1 способ - решение уравнений Кирхгофа или дифракционное преобразование. Рассматривается принцип и процесс этого преобразования, а также условия успешного результата миграции, в том числе в случае горизонтальной плоской, наклонной плоской границы или границы, деформированной разрывными или пликативными нарушениями, а также в случае криволинейной границы.

2. Группа способов миграции решением волновых уравнений в частных производных.

Показана невозможность получить данные для решения волнового уравнения и поэтому оно упрощается, сохраняя возможность восстановления отражающих границ. Для этого ограничиваются вертикальным разрезом, вводится новая система координат и опускаются два последних члена уравнения, что лишает возможности учитывать преломление на промежуточных границах раздела пород.

2а. Волновое уравнение представляется на основе волновой теории в приближенной форме конечных разностей в виде пятнадцатиградусной аппроксимации. Способ конечных разностей учитывает латеральные изменения скорости.

2б. Волновое уравнение решается с помощью преобразования Фурье и называется миграцией в частотно-волновой области. Метод экономичен, но не учитывает латерального изменения скорости.

2в. Миграция путем моделирования лучевых траекторий применяется в случае сложных разрезов, например при наличии соляных диапиров. При этом учитываются промежуточные преломления.

Все остальные способы не учитывают промежуточных преломлений и поэтому может возникнуть ошибка, смещающая предполагаемую ловушку на величину, равную или больше ее размера, так что скважина минует ловушку.

Ошибки за промежуточные преломления устраняются с помощью глубинной миграции:

А. На основе лучевой теории итеративным методом с использованием сведений о изменении скорости в плоскости разреза $V(x,z)$ и с использованием закона Снеллиуса.

Б. На основе волновой теории с помощью решения параболического приближения Френеля с использованием данных о $V(x,z)$, итеративно их уточняя.

При положении профиля не вкрест структуры используют данные 3Д - сеймики, но для удешевления миграции строят серии параллельных друг другу вертикальных профилей.

9-я тема. Прямые поиски залежей нефти и газа.

Залежи нефти и газа представляют собой значительную неоднородность в различных физических полях и поэтому при благоприятных условиях могут быть обнаружены несколькими геофизическими методами. Модель залежей включает в себя: скопление углеводорода, ограниченное кровлей флюидоупора и межфлюидальными границами;

зону сжатия и растяжения над границей залежи до дневной поверхности; зону восстановления и окисления над всей площадью залежи. В залежи уменьшается скорость продольной волны и до пятнадцати раз растет затухание упругих волн при сохранении величины скорости поперечной волны, а в зоне проникновения небольшого количества углеводородных газов в флюидоупор скорость продольной волны и плотность снижаются.

Плотность залежи ниже, чем плотность флюидопоров. Удельное электрическое сопротивление и поляризуемость в залежи больше, чем в водонасыщенном коллекторе.

В зоне растяжения падает скорость и растет проницаемость для тепла и радиоактивных газов; на границе зон восстановления и окисления образуются ферромагнетики.

Наибольшее количество признаков залежи проявляется в данных сейсморазведки: "светлое (или блеклое) пятно"; отражения от флюидопоров; аномалия повышенного затухания колебаний; понижение пластовой скорости; понижение мгновенных амплитуды и частоты в отражении от подошвы залежи; смена полярности отражения от кровли залежи; падение отношения скорости продольной волны к скорости поперечной волны. В данных магниторазведки над залежью регистрируется положительная аномалия. Пересчет ее в нижнее полупространство позволяет определить глубину расположения залежи или даже двух залежей, расположенных друг над другом на разных глубинах.

Гравиметрический метод фиксирует отрицательную аномалию шириной приблизительно равной ширине залежи. Эта аномалия позволяла открывать новые залежи.

Из всех методов электроразведки наиболее эффективным для прямых поисков залежей оказался метод зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБЗ). Этот метод отмечает суммарный эффект от повышенного сопротивления и повышенной поляризуемости в залежи при глубине ее залегания до 4 км.

10-я тема. Мгновенные параметры.

Сейсмическая волна может быть представлена как аналитический сигнал, состоящий из действительной и мнимой частей, но только действительная часть записывается сейсмоприемником. Она является формой колебания частиц почвы и вместе с ними сейсмоприемника при приходе упругой волны и она же - кинетическая энергия движущейся частицы почвы. При этом движении среда (порода) с одной стороны от движущейся частицы находится в сжатом состоянии, с другой - в состоянии растяжения, создавая потенциальную энергию или мнимую часть колебания, смещенную по фазе относительно кинетической энергии (или действительной части) на девяносто градусов.

Изменение кинетической энергии можно представить в виде: $g(t) = R(t) \cos \Theta(t)$, а изменение потенциальной энергии в виде: $h(t) = R(t) \sin \Theta(t)$. Здесь $R(t)$ - амплитуда колебаний, а $\Theta(t)$ - его фаза. Тогда весь процесс распространения упругой волны можно представить в виде аналитического сигнала с действительной и мнимой частями:

$G(t) = R(t) \cos \Theta(t) + iR(t) \sin \Theta(t)$. Имея действительную часть в виде сигнала, пришедшего от сейсмоприемника можно, повернув его фазу на девяносто градусов, вычислить его мнимую часть и далее анализировать весь процесс распространения упругой волны как непрерывный процесс перехода кинематической энергии в потенциальную и обратно.

Тогда величину $R(t) = [g^2(t) + h^2(t)]^{1/2}$ можно назвать мгновенной амплитудой. Она представляет собой огибающую действительной и мнимой частей и полнее характеризует динамику волны, чем амплитуда изменения только кинетической энергии, записанная сейсмоприемником. Разрез мгновенной амплитуды контрастно подчеркивает изменение только амплитуды колебательного движения и изображается в двух осях и цветом, т.е. изображает три переменных параметра: x , t и $R(t)$. На таком разрезе контрастно выделяются те элементы разреза, которые влияют на амплитуду колебаний, например тектонические зоны, шероховатые участки отражающих границ, скопления углеводородов.

Другой параметр волны: $\Theta(t) = \arctg h(t)/g(t)$ называется мгновенной фазой и не зависит от амплитуды. Поэтому на разрезе мгновенных фаз можно проследить границы с сильно изменчивой амплитудой, лучше проследить мелкие детали разреза, например выклинивание пласта и др. На разрезе мгновенных фаз нельзя проследить смену фазы на обратную. Для этого используют разрез полярности.

Производная мгновенной фазы по времени называется мгновенной частотой. На разрезах мгновенных частот контрастно выделяются элементы разреза, влияющие на частоту колебаний: тектонические зоны дробления пород, залежи углеводородов, выклинивания пластов, отличаются цветом толстые пласты от тонких (по сравнению с длиной волны).

Разрез полярности выделяет границы, на которых происходит смена фазы колебаний на обратную при отражении от кровли пластов с пониженной акустической жесткостью. Самый контрастный случай - это отражение от продуктивных пластов - коллекторов, особенно если они вмещают газовую залежь.

Приведена таблица типичных элементов разреза, хорошо выделяющихся на перечисленных разрезах мгновенных параметров.

11-я тема. Структурно-временной анализ (СВАН).

Понятие о циклитах. Особенности смены гранулометрического состава осадков, смены акустической жесткости и толщин слоев при трансгрессии и регрессии. Роль исходного материала, переносимого реками и роль эрозии в наборе разных пластов, составляющих цикллит. Характер отложений от "тонких" и "толстых" (по сравнению с длиной волны) слоёв отложений, слагающих циклиты. Интерференция отражений от кровли и подошвы слоя, толщина которого сравнима с длиной волны. Связь частот отложений (в пределах спектра волны) с толщиной пласта. Прозрачность "тонких" пластов и сохранение спектра падающей волны в волне, отраженной от "толстого" пласта и от наиболее контрастных границ. По изменению амплитуд отражений в различных участках спектра падающей волны различают циклиты, сформировавшиеся при трансгрессии и регрессии.

При анализе отражений от шероховатых границ выделяют матовые, шероховатые и гофрированные границы, которые различаются по их частотной характеристике (первые два типа) или по форме отражающей границы (гофрированная граница).

СВАН - анализ позволяет восстановить отрезки времени и соответствующие им участки разреза, когда происходили трансгрессии и регрессии. Это позволяет прогнозировать положения коллекторов, которые могут быть продуктивными, а также выделять эродированные границы. Другой результат - определение амплитуды смещения по разлому в случае, когда другим способом сделать это не удастся.

При анализе значительных толщ осадков СВАН - анализ позволяет оценивать пачки и границы по их "рангам" - т.е. временным масштабам изменения условий осадконакопления.

12-я тема. Объемная 3Д сейсморазведка.

Для изучения сложных структур или поиска ловушек площадью менее 1 квадратного километра профильных наблюдений недостаточно, необходимы площадные (3Д) наблюдения. Последние позволяют также детально изучить территорию с залежами нефти и газа, проследить продуктивные пласты и построить рельеф их поверхности, иногда даже изучить фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) коллекторов.

Простейшими системами площадных наблюдений могут быть крестовые наблюдения.

При сложных поверхностных условиях, когда нужно обойти болота, скалы, источники промышленных помех, применяется криволинейная (слаломная) трасса. Если необходимо связать площадными наблюдениями ряд опорных скважин, или детально изучить разрез вблизи тектонического нарушения с возможными ловушками, либо изучить характер выклинивания пласта вдоль линии выклинивания, можно применить "широкий профиль".

В лесной местности располагают источники и приемники вдоль сторон лесных квадратов, на просеках. В море или в степи выполняют наблюдения вдоль необходимого количества параллельных профилей. Во всех этих случаях точки отражения располагаются на всей исследуемой площади в шахматном порядке с шагом вдвое меньшим, чем расстояние между сейсмоприемниками. Одинаковая кратность наблюдений достигается только при наблюдениях на параллельных профилях. Результаты объемных (3Д) площадных наблюдений:

1. Обоснованный выбор положения разведочных скважин.
2. Построение структур и формы ловушек в пространстве.
3. Устраняются невязки, вызванные например анизотропией скорости.
4. Достигается точность работ, необходимая для поисков малоамплитудных структур и детальность, достаточная для обнаружения малых по площади ловушек.
5. Построение горизонтальных срезов позволяет проследить контур нефтеносности, детализировать рельеф границ продуктивных пластов, и пр.

13-я тема. Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП).

Один из видов геофизических исследований в скважинах (ГИС), ВСП отличается от других методов ГИС тем, что позволяет улучшить геологическое истолкование и геологическую привязку данных поверхностных сейсмических исследований.

Техника ВСП, возможность поляризационных исследований. Система взрывных скважин. Преимущества ВСП:

1. Волна не проходит через ЗМС, поэтому имеет более высокую частоту, сейсморазведка - большую разрешающую способность.
2. Поляризационные наблюдения позволяют опознать поперечные волны.
3. Возможность точной привязки данных поверхностной сейсмике к геологическим границам.
4. Регистрация неискаженной зоной малых скоростей формы сейсмических колебаний для качественной деконволюции.
5. Точное измерение зависимости скоростей продольных и поперечных волн от глубины и затуханий вдоль всех слоев разреза.
6. Точное опознание частично-кратных волн.
7. Детальное изучение строения околоскважинного пространства.
8. Регистрация всех отражений, в том числе слабых.
9. Регистрация отражений от крутопадающих границ.
10. Детальное изучение разреза на глубину, превышающую глубину скважин на 1-1,5 км позволяет выявить возможные ловушки, либо уточнить их положения и исправить направление бурения для надежного пересечения их скважиной.

В процессе эксплуатации залежей повторные ВСП позволяют проследить изменения межфлюидальных границ, выявить новые залежи и изучить ФЕС коллекторов.

14-я тема. Высокоразрешающая 3Д - сейсморазведка для изучения сложнопостроенных резервуаров нефти и газа.

Необходимость в трехмерной модели открытого месторождения для подсчета запасов и проектирования схемы разработки. Сложную залежь не удастся изучить только бурением. Экономически выгоднее выполнять доразведку высокоразрешающей 3Д-сейсмикой, способной выявить новые залежи или случаи прерывания залежи, опираясь на данные бурения и уточняя их в межскважинном пространстве. Преимущества 3Д-сейсмике:

1. Увеличение отношения сигнала к помехе, так как а) при суммировании по МОГТ по площади растет амплитуда ОВ, б) лучше подавляется помеха на площади, в) лучше выполняется миграция на площади (подавляются искажения и дефрагированные волны).
2. Улучшение горизонтальной разрешающей способности:
 - а) при трехмерной коррекции сноса;
 - б) более точное трехмерное построение криволинейных поверхностей;
 - в) более точное построение тектонических зон.
3. Возможность строить горизонтальные срезы как угодно часто позволяет:
 - а) уточнять форму сложных отражающих границ;
 - б) изучать изменение амплитуды ОВ, т.е. выделять коллекторы, "светлые" и "тусклые" пятна, изучать ФЕС коллекторов.

На следующем этапе построения модели месторождения совместно используются 3Д-сейсморазведка, системы параллельных разрезов и горизонтальных срезов, данные ВСП, ГИС, бурения, поглощение воды в скважинах законтурного обводнения. На основе полученных результатов выбирают схему развития сети эксплуатационных скважин. Строят кровли и подошвы всех продуктивных пластов, отмечая тектонические нарушения, изменения ФЕС, положения межфлюидальных границ. Выполняют палеотектоническую реконструкцию для получения исходных форм осадочных тел, изучают результаты эрозий, прослеживают даже самые сложные ловушки, например в палеодолинах рек. Модель включает в

себя сведения о пористости, проницаемости, нефтегазонасыщенности, о формах осадочных тел с точностью до 4 м и с горизонталями через 10 м.

Особый интерес представляет обнаружение зон деструкций, если они есть в пределах изучаемой площади. В этих зонах можно ожидать повышенный на порядок приток нефти.

В ее пределах жесткие коллекторы оказываются передробленными и отражение от них ослаблено или вовсе отсутствует, а отражение от флюидоупоров сохраняются.

При повторной высокоточной топографической съемке оказывается, что на дневной поверхности вблизи центра зоны деструкции, которая обычно имеет в плане размер в сотни метров, абсолютная отметка увеличивается на 0,5-1м в год.

Практические занятия.

Выполняются для закрепления и более тесного знакомства с темами лекций.

Практическое задание 10.

Разрезы мгновенных параметров.

1 задание. На приведенном временном разрезе мгновенных фаз найти поверхность несогласия. Почему она следится только на одном из этих разрезов? Какое значение для поисков ловушки имеет знание точного положения линии несогласия?

2 задание. Рассмотреть временные разрезы и разрезы мгновенных параметров для участков акватории Луизианы и западной Канады и изучить описания этих материалов. В каких структурах локализованы здесь залежи нефти и в каких газа? Как, по каким геологическим и физическим причинам они отражены на всех приведенных разрезах? Какова полярность отражений от кровли и подошвы газовой залежи и почему она такая? Как отличаются друг от друга спектры этих отражений и почему?

3 задание. Изучить разрезы мгновенных параметров для двух профилей. Как отображаются на них тектонические зоны дробления? На каком из разрезов мгновенных параметров они характеризуются полнее? Где можно увидеть признаки подвижного и неподвижного блоков по обе стороны от разлома? На каких из разрезов можно лучше увидеть самые толстые и самые тонкие пласты- непосредственно и по величине мгновенного параметра? Где можно легче всего найти выклинивание пластов и другие мелкие детали разреза и почему именно на разрезе этого мгновенного параметра они видны лучше всего? Найдите локальный изометрический блок пластов, отличающийся повышенной гладкостью границ, линзу над ним и пласт, изогнутый в результате обтекания линзы.

Практическое занятие 1.

Изучение сейсмической записи и построение годографов отраженных волн.

Студентам выдается необработанная осциллографическая запись сейсмических колебаний. Он знакомится с формой годографов ОВ, изменением этой формы с ростом времени прихода волны, с формой упругих колебаний. Это готовит его к пониманию способа обработки данных по МОГТ. Знакомясь с криволинейностью годографов, студент видит искажения за счет ЗМС. Разница в искривлениях годографов на разных временах знакомит его с влиянием неоднородностей разреза и возможной кривизной отражающих границ. В построенный годограф будут внесены кинематические поправки, и будет построено изображение отражающей границы.

В случае, если годограф имеет разрыв со смещением, а после некоторого времени все годографы меняют свой наклон, студент получает возможность объяснить это тектоническим разрывом со смещением и имеющейся в разрезе границей несогласия.

Практическое занятие 2.

Изучение формы сейсмического сигнала. Студенту даются формы сигналов, записанных сейсмоприемником в случаях прихода прямой, Релеевской, отраженной и головной волн и скорости распространения этих волн. Студент измеряет периоды и длительности колебаний, а затем рассчитывает частоту колебаний для каждой из этих волн и длину каждой волны. Студенту предлагается объяснить причину различия в периодах и скоростях распространения прямой и Релеевской волн, а также причину различия в периодах и длительностях колебаний ОВ и головной волны от фундамента.

Какая разница в спектрах отраженной и головной волн?

Занятие готовит студента к усвоению физических основ применения фильтрации и группирования для борьбы с волной Релея.

Для усвоения понятия спектра студент складывает три синусоиды разных частот и с разной амплитудой, получая сигнал иной формы, чем синусоида, а также строит его спектр, зная частоты и амплитуды составляющих его синусоид.

Практическое занятие 3.

Вычисление кинематических поправок для годографа ОВ.

Студенту даются формулы для вычислений и таблица. Он видит, что в точке минимума годографа поправка равна нулю, а затем быстро растет с удалением от источника. Внесение поправки в построенный студентом годограф на занятии №1 оставляет в данных сейсмике только геологические сведения, а именно - глубину залегания и форму отражающей границы. При этом устраняется влияние расстояния источник-приемник. Время прихода волны по наклонным лучам заменяется на вертикальное время для каждой точки отражения, что впоследствии позволит понять, как строится временной разрез после обработки сейсмических данных по МОГТ.

Практическое занятие 4.

Изучение результатов применения фильтрации, группирования и деконволюции.

Студент изучает два примера сейсмической записи - до и после применения фильтрации. находит прямую и Релеевскую волны и поле отраженных волн. После фильтрации Релеевская волна удаляется. Студент должен усвоить способ отсчета периодов и оценки скоростей Релеевской и ОВ на сейсмической записи, а также влияние фильтрации на Релеевскую и ОВ. Какая разница в свойствах Релеевской и ОВ позволяет удалить Релеевскую волну фильтрацией?

Затем студент изучает сейсмическую запись до группирования сейсмо-приемников и после него. Как изменились Релеевская и отраженные волны в результате группирования?

Какая особенность распространения Релеевской и отраженной волн позволяет ослабить Релеевскую волну и почему только ослабить, но не уничтожить? Почему отраженная волна усиливается?

Рассмотрение результатов деконволюции начинается с сравнения сейсмического временного разреза до выполнения деконволюции и после него. Студент должен увидеть количество линий максимумов колебаний вблизи слоистой пачки и понять, чему равно расстояние между линиями максимумов на обоих разрезах. После ответа на этот вопрос становится ясен геологический смысл деконволюции. Затем рассматривается несколько примеров получения новой геологической информации в результате применения деконволюции. Деконволюция в низкочастотной области спектра позволяет лучше проследить отражение от глубоко залегающей границы, т.к. на более длинном пути распространения волны ее спектр теряет высокочастотную часть и колебание становится более низкочастотным.

Деконволюция в высокочастотной части спектра волны позволяет увеличить разрешающую способность сейсморазведки и обнаружить мало-амплитудную антиклиналь.

Деревербация позволяет уничтожить кратные отражения от границ водного слоя при морских работах. Студент учится различать эти кратные отражения от однократных отражений от границ разреза. Все перечисленные примеры иллюстрируются рисунками.

Практическое занятие 5.

Изучение результатов обработки сейсмических материалов по методу общей глубинной точки (МОГТ).

Исходный материал для обработки по МОГТ – «ряды», результат наблюдений методом общего источника, сравнивается с результатом обработки этим методом. Наблюдается улучшение прослеживания отражения. Студент должен ответить, как называются линии максимумов на исходном материале (годографы) и как – на результате обработки (изображения отражающих границ). Процесс обработки по МОГТ иллюстрируется рисунком с изображением сейсмической записи, на которой видны годографы и способ построения зависимости скорости от глубины, проведенной по более интенсивным однократным изображениям. Здесь же видны частично – кратные отраженные волны, имеющие меньшие скорости и меньшие амплитуды, чем у однократно отраженных волн. Способ подавления частично-кратных отражений иллюстрирует схема наблюдений и суммировании импульсов многократного отражения от ОГТ.

Из сравнения сейсмического временного разреза, полученного при однократном прослеживании МОВ и многократном прослеживании МОГТ видно, что частично-кратных отраженных волн в несколько раз больше, чем отражающих границ и, соответственно, больше чем однократно отраженных волн. На разрезе, полученном по МОГТ, видна динамика отражений, особенности строения пачки: выклинивания, врезы, зоны отсутствия слоистости, и пр. В материалах МОВ вся эта информация перечеркнута ложными отражениями, построенными по частично-кратным отраженным волнам.

Приведен пример прослеживания слабых отражений полученных в результате сложения импульсов многократных отражений. На материалах МОВ эти отражения не прослеживаются.

Для обработки по МОГТ строится приближенная зависимость скорости от глубины методом сканирования скоростей. Здесь же приведены исходные данные для сканирования. На следующей иллюстрации видно влияние изменения диапазона расстояний источник-приемник на прослеживаемости волн. Выбор этого диапазона влияет на степень подавления частично-кратных волн-помех.

На спектре скоростей видно, что глубже 2,5 сек. перестают следиться однократно отраженные волны. Студент должен ответить, как называется часть временного разреза от 0 до 2,5 сек., сложенная слоистой средой и как называется часть разреза глубже 2,5 сек., лишенная однократных отражений. Почему глубже 2,5 сек. наблюдается большое количество частично-кратных отраженных волн?

Практическое занятие 6.

Миграционные преобразования.

Цель занятия понять физический смысл миграционного преобразования сейсмического временного разреза, восстанавливающего истинную форму его элементов, искаженную сейсмическим сносом.

Используется способ общей касательной к дугам окружностей (фронтов падающей волны). С его помощью легко убедиться, что горизонтальные плоские границы не искажаются сейсмическим сносом. Кажущееся положение наклонной отражающей границы (в данном случае плоскости сместителя взброса) легко исправляется этим методом до его истинного положения, совпадающего с зоной разрывов и смещений границ. На фрагменте временного разреза с разрывными нарушениями видно ложное положение отражения от плоскости сместителя, а положение его расположена зона флексур вместо зоны разрывов со смещениями границ. Флексуры разнонаправленные, чего не может быть в реальном разрезе, так как они тоже ложные, сформированные годографами дифрагированных волн (ДВ) от ребер ступеней, образованных сбросом. Студенту предлагается начертить на исходной модели разреза положения таких годографов ДВ, формирующих разнонаправленные флексуры. На том же фрагменте временного разреза, но после выполнения миграции, четко видна линия смещения границ вдоль плоскости сместителя взброса. Остальные разрывные нарушения со смещениями на том же фрагменте разреза демонстрируют типичные особенности таких нарушений. Раздвоения и снова слияния зон сместителей; несколько сближенных сместителей, то сближающихся, то расходящихся друг от друга.

Два других задания состоят в восстановлении ложных фрагментов временного разреза до их истинных форм также способом общих касательных дуг окружностей. Первый из ложных фрагментов называется петлей. Она сформирована всеми отражениями приходящими к сейсмоприемникам от одной, двух или трех точек отражающей границы. При этом если в данной точке касательная к границе горизонтальна, то ее смещения не происходит. Такие точки служат для проверки правильности построения истинной формы границы. В результате построения место петли занимает синклиналь. В результате такого же построения антиклиналь становится круче. Петля образуется, если центр кривизны антиклинали расположен ниже дневной поверхности. Если же центр кривизны располагается выше дневной поверхности, то синклиналь только сужается. Студенту предлагается увидеть все эти искажения синклиналей и

антиклиналей на фрагменте временного разреза до миграции, сравнивая его с тем же фрагментом после миграции.

На второй модели изображена выпуклая кривая. Все дуги окружности пересекаются в одной точке. Если построить в этой точке все касательные к этим дугам, то они тоже пересекутся в этой же точке. Таким образом, общая касательная к дугам окружностей имеет в этом случае нулевую длину. Если одна точка проявилась на разрезе в виде такой кривой, то она представляет собой годограф ДВ, а точка это дифрагирующий объект. Студент должен найти на немигрированном фрагменте временного разреза выпуклую дугу, которая полностью исчезла после миграции. Вблизи вершины годографа ДВ на мигрированном разрезе студент может увидеть дефрагирующий объект-ребро ступенчатой тектонической структуры.

Практическое занятие 7.

Примеры миграционных образований.

Миграционные преобразования не всегда приводят к устранению всех искажений разреза, связанных с сейсмическим сносом. Например, при ориентации профиля не вкрест простиранию границы.

На [рисунке 1](#) показано, как и почему к одному сейсмоприемнику могут приходиться отражения от нескольких точек к каждой из криволинейной границы.

На [рисунке 2](#) показаны примеры «заходов».

На [рисунке 3](#) представлена модель с серией криволинейных границ. Чем сильнее кривизна границы, тем шире «заходы».

На [рисунке 4](#) изображена модель с тремя границами, смятыми в синклинальную складку. Верхняя синклиналь в результате сейсмического сноса стала уже, а две нижележащие превратились в петли тем шире, чем глубже расположена синклиналь и чем больше амплитуда складки.

На [рисунке 5](#) представлена модель с двумя парами границ, смятыми в антиклинальные складки. Вогнутые фрагменты границ исказились с образованием «заходов», а выпуклых разрывов.

На [рисунке 6](#) представлена ступенчатая тектоническая структура. На немигрированном разрезе в местах смещений видны флексур, сформированные годографами ДВ от ребер ступеней, а на мигрированном разрезе видны смещения границ.

На [рисунке 7](#) студент может увидеть «заходы», годограф ДВ и сужение антиклинальных складок на немигрированном разрезе, а на мигрированном разрезе эти искажения устранены.

На [рисунке 8](#) криволинейная эродированная граница с вогнутым участком перекрыта слоистыми отложениями с облеканием и выполаживанием этого изгиба. До миграции такое искривление границ отражено на разрезе серией петель различной ширины, в зависимости от амплитуды вогнутого фрагмента границ.

На [рисунке 9](#) сложная криволинейная эродированная поверхность хорошо следует на мигрированном разрезе. На немигрированном разрезе видны две петли и три годографа ДВ. Студент должен увидеть эти два типа искажений и определить геологическую природу кривизны границы.

На следующем фрагменте временного разреза видна осложненная тектоникой положительная структура, вскрытая скважиной. На немигрированном разрезе видно, что скважина прошла две пачки слоев, смятых в антиклинальную складку, но недобурена до третьей пачки, форма которой также напоминает антиклиналь. Студенту предлагается ответить, почему скважина недобурена до этой третьей пачки? На мигрированном разрезе видно, что третья самая глубокая изогнутая в антиклиналь пачка исчезла, следовательно, это - годографы ДВ.

На следующем рисунке изображена модель сложнопостроенного участка с синклиналью и антиклиналью в нижней части и уступом в верхней части разреза. На временном разрезе до миграции видны «заходы» и годографы ДВ. После первого варианта миграции эти искажения стали только уже, а после второго варианта искажения исчезли, и разрез стал близким к исходной модели. Студенту предлагается объяснить, при каких условиях получены два таких разных мигрированных разреза.

Два результата миграции представлены для фрагмента временного разреза. Первый вариант это-обработка материалов профильных(2Д), а второй площадных (3Д).

На следующем рисунке изображена модель криволинейной границы, искаженная двумя петлями и одним «заходом». Обработка способом решения уравнения Кирхгофа дала возможность проследить по сейсмическим данным все участки этой отражающей границы, если они имеют наклон менее

60°. Миграция другим способом восстанавливает криволинейную границу при углах наклона ее фрагментов не более 15°.

На следующих рисунках показаны сложно дислоцированный разрез, до миграции и он же после выполнения тех же видов миграции. Студенту предлагается оценить качество мигрированных разрезов и указать на вид границ, которые плохо следятся при миграции способом решения уравнения Кирхгофа.

Практическое занятие 8.

Площадные (3Д) сейсмические наблюдения.

1 задание. Построить в плане точки отражения как середины между каждым источником и всеми сейсмоприемниками. Все источники и сейсмоприемники располагаются на сторонах прямоугольника. Студент должен убедиться, что точки отражения равномерно располагаются на всей площади прямоугольника. Студент считает кратность наблюдений на каждой точке и отвечает на вопрос, какая геологическая информация теряется из-за различной кратности в различных точках площади прямоугольника; как дополнить систему наблюдения, чтобы эта кратность во всех точках отражения менялась бы меньше.

2 задание. Построить положения всех точек отражения для трех параллельных профилей приемников и нескольких перпендикулярных им профилей источников. Такие системы наблюдения применяются при работе на море. Какова здесь разница в кратности наблюдений в точках отражений? Каково расстояние между этими точками по сравнению с расстоянием между приемниками и профилями?

3 задание. Рассмотреть иллюстрацию с блоком из шести рисунков. Что на них изображено? Рельеф, какой поверхности (а)? Какие признаки залежи есть на рисунке (б)? Как на остальных рисунках увидеть границы залежи в плане и все горизонталы рисунка (а)?

4 задание. Рассмотреть «куб» из разрезов. Из скольких вертикальных разрезов он состоит? Как геологически целесообразно выбрать ломаную линию разрезов? Какие серии разрезов можно построить по результатам площадных наблюдений (на примере заданий 1 и 2).

Практическое занятие 9.

Знакомство с комплексами геофизических методов при поисках наиболее распространенных и крупных ловушек.

К наиболее распространенным и крупным ловушкам можно отнести соляные купола, антиклинальные складки и рифы.

Сложность строения и разнообразие типов ловушек в районах с солянокупольной тектоникой. В надсолевой толще можно встретить антиклинали, грабены и горсты, выклинивающиеся пласты, ловушки, экранированные соляными козырьками. Подсолевые отложения деформированы тектоническим нарушением, которое и создало в более позднее время условие для формирования соляных куполов. Эта тектоническая деформация могла создавать условия для формирования в подсолевых отложениях тектонически экранированных ловушек, рифов, речных русел и пр.

Соль имеет плотность 2,1-2,2 г/см³, а вмещающие породы от 1,8 до 2,8 г/см³. Поэтому купола проявляются в виде минимумов сил тяжести, иногда осложненных небольшим максимумом, связанным с более плотным кепроком. В сульфатно-карбонатных солях скорость от 5,8 до 6 км/сек, а в галите 4,2-4,7 км/сек. Сейсморазведка прослеживает кровлю слоистой присводовой части соляных тел, а сама соляная толща лишена слоистости. Электроразведка и гравиразведка могут уточнить положение кровли сплошных солей. Для прослеживания подошвы соли часто нет точных сведений о скоростях, и тогда применяют ЗСБЗ и гравиразведку, а затем методом итераций строят модель участка.

Для изучения подсолевых толщ сейсморазведкой применяют миграцию методом лучевого моделирования разреза, уточняя сведения о физсвойствах пород по данным ГИС и ВСП.

Склоны соляных тел изучают электроразведкой и гравиразведкой, а также сейсморазведкой по двойному отражению и по данным ВСП.

Антиклинальные ловушки легче всего прослеживаются сейсморазведкой, на и до ее применения они могут быть выделены по положительным аномалиям сил тяжести, а иногда по концентрическому рисунку, созданному разноцветными разновозрастными глинами в случае унаследованности антиклинали (в татарском Поволжье). Крупные положительные структуры, особенно

связанные с положительными структурами в фундаменте, (магнито-теллурические методы), гравиразведкой и магниторазведкой. Совпадение аномалий нескольких методов повышает достоверность исследований.

Неантиклинальные ловушки (выклинивания, песчаные бары, пески в клиноформах, и др.) лучше всего выявляются высокоточной 3Д-сейсморазведкой.

Рифы могут отмечаться положительной аномалией в 1-2 мЛг. в поле сил тяжести при плотности пород рифа 2,5-5 г/см³ и при плотности вмещающих их солей 2,1 г/см³. Пористые рифы могут быть менее плотными, чем вмещающие их породы на 0,3-0,4г/см³, и тогда они отмечаются минимумом в 1-2 мЛг.

При большой разнице в проводимости пород крупного рифа по сравнению с вмещающими их породами, риф обнаруживается электроразведкой, например методом ЗСБЗ по смене формы кривой на краях рифа.

В сейсмических материалах в теле рифа меньше слоев или они вовсе отсутствуют, а тело имеет характерную форму (барьерные, столбчатые рифы, атоллы). Скорость в порода рифа зависит от их пористости и может создавать ниже рифа ложные синклинали или антиклинали.

Обнаружению барьерных рифов может помочь различие в особенностях поля сил тяжести по обе стороны от кромки шельфа, в пределах которого локализуются рифы.

В сейсмических материалах хорошо опознаются серии клиноформ, расположенных мористее кромки шельфа. С рифом может быть связано снижение мгновенной частоты и амплитуды отражений от границ ниже шельфа.

Практическое занятие 11.

Высокоразрешающая 3Д-сейсморазведка для изучения сложнопостроенных резервуаров нефти и газа.

Занятие заключается в знакомстве с результатами 3Д-сейсморазведки по фрагментам временных разрезов, сериям горизонтальных срезов и пространственному изображению участка с залежами («куб»).

Из сравнения результатов применения высокоразрешающей методики и стандартных наблюдений видно увеличение количества прослеженных границ и появление на разрезе мелкой структуры, которая может быть ловушкой. На другом разрезе применение высокоразрешающей сейсморазведки позволило обнаружить палеоврез.

На приведенных горизонтальных срезах видно русло реки, на другом - границы залежи, на третьем примере--детальные, выполненные на разных уровнях срезы выступа фундамента.

На «кубе», составленном из серии вертикальных разрезов, видно несколько органогенных построек.

Практическое занятие 12.

Прямые поиски залежей нефти и газа.

Приведенные иллюстрации позволяют видеть признаки продуктивности в материалах различных геофизических методов.

В материалах сейсморазведки: светлые пятна, отражения от межфлюидальных границ, аномалия повышенного затухания колебаний упругих волн, смена полярности отражения от кровли газовой залежи.

По данным магниторазведки при пересчете поля в нижнее полупространство удалось открыть две новые залежи, расположенные одна над другой.

На материалах гравиразведки видны минимумы сил тяжести над известной залежью и подобные же минимумы за ее пределами, которые после проверки их бурением оказались новыми залежами, а также продолжением уже известной залежи.

Над залежами в рифах по данным электроразведки методом ЗСБЗ получены аномалии, характерные только для залежей. Они позволяют обнаруживать подобные залежи на глубинах до 4 км.

Практические занятия (часть 2) и курсовая работа.

Цель этой практической работы - научиться на глубинном временном разрезе, видеть признаки выполнения поправок за рельеф и ЗМС, признаки обработки по МОГТ, выполнения деконволюции и миграции. Предполагается также дать студенту начальные навыки деления разреза на пачки, каждая из которых отлагалась в различных условиях седиментации, навыки обнаружения неантиклинальных ловушек. Так например, на некоторых разрезах можно обнаружить эрозионные поверхности с эрозионным выклиниванием, тектонические разрывные или плекативные нарушения, речные врезы, рифы и пр.

1 занятие. Разрешающая способность сейсморазведки.

1.1. Вертикальная разрешающая способность. Рассматривается модель клина и сближение отражений от его кровли и подошвы до тех пор, пока толщина клина не становится равной четверти длины волны. Эта величина и равна разрешающей способности сейсморазведки. Длина волны обратно пропорциональна преобладающей частоте и растет с глубиной.

Задание: построить зависимость вертикальной разрешающей способности от глубины для 1,2,3,4,5 сек. Частоты взять из сведений о фильтрах, а скорости - из зависимости скорости от глубины, приведенные на разрезах для выполнения курсовых работ. Разрешающую способность для морских работ до глубины 2,1 сек. можно посчитать по фрагменту временного разреза, полученного при работах на море. Считают, взяв данные из фрагмента временного разреза, полученного при морских работах.

Сравнить полученные данные с минимальным расстоянием между кровлей и подошвой выклинивающихся слоев, которые на разрезе можно еще увидеть. Выполнить эти размеры на различных глубинах и нанести точки на график зависимости разрешающей способности от глубины. При построении таких же точек для варианта морских работ за глубину взять только путь, пройденный по породам разреза, так как при распространении в воде волна практически не затухает и не меняет свой спектр и свою преобладающую частоту.

1.2. Горизонтальная разрешающая способность также зависит от частоты колебаний и от глубины расположения объекта. Она равна диаметру первой зоны Френеля.

Горизонтальная разрешающая способность ограничена влиянием дифрагированной волны, образующейся на конце объекта.

Задание: построить кривую зависимости горизонтальной разрешающей способности от глубин 1,2,3,4 сек., взяв данные о скоростях и частотах, а для морских работ из фрагмента разреза, полученного на море.

На разрезе, предназначенном для курсовой работы, найти самые короткие объекты (например линзообразные тела) на разных временах и их длину нанести в виде точек на график горизонтальной разрешающей способности.

Рассмотрите иллюстрацию того, что отражение происходит от всей площади круга диаметром, равным диаметру зоны Френеля. На рисунке видно, что на разрезе по профилю, проходящему через середину приподнятого блока, отмечен этот поднятый блок. На временном разрезе, проходящем за пределами этого блока, но на расстоянии меньшем радиуса зоны Френеля отражение от этого блока, хотя и слабое, все-таки наблюдается. Отражение происходит от круга диаметром, равным диаметру зоны Френеля, а небольшая часть этого круга располагается над поднятым блоком.

Полученные студентом данные о величинах разрешающей способности позволят оценить минимальные размеры объектов, которые еще можно проследить на разрезе, предназначенном для выполнения курсовой работы.

Занятие 2. Искажение временного сейсмического разреза скоростными неоднородностями. Скоростные неоднородности могут создать ложную ловушку и привести к напрасному бурению разведочной скважины.

Повышенная или пониженная скорости в неоднородности по сравнению с вмещающими породами вызывает искривление нижележащих границ подобные антиклиналям или синклиналям. Рассмотрим несколько примеров.

Низкоскоростное заполнение речного русла искривило нижележащие границы наподобие синклиналей, но их ширина увеличивается, а амплитуда уменьшается с удалением от неоднородности. Это отличает ложную синклиналь от реальной.

Искажение разреза за счет расчлененного рельефа дна моря и за счет переменной толщины слоя воды, играющая роль низкоскоростного объекта. В геологических границах появляются ложные антиклинали.

Разрез с резким ростом глубины моря искажен так, что это может привести к ошибочной оценке перспектив нефтегазоносности.

На разрезе с соляным куполом образовалась под ним ложная антиклиналь, так как купол представляет собой высокоскоростной объект.

Над нефтяной залежью произошло проникновение газа в перекрывающий ее флюидоупор, что понизило здесь скорость. Поэтому появился ложный синклинальный прогиб в области свода антиклинальной складки с залежью. Если не исправить такой прогиб, то скважины, пробуренные в оба положительных изгиба пройдут мимо залежи.

Неоднородность с переменной скоростью вдоль пласта привела к ложному разрушению нижележащих границ на временном разрезе.

Занятие 3. Обнаружение признаков внесения поправок за рельеф и ЗМС.

Рельеф и изменчивая скорость в ЗМС являются причиной сдвига во времени сейсмических сигналов, приходящих к разным сейсмоприемникам (т.е. к сдвигу каналов). Такие сдвиги превращают все гладкие границы в криволинейные. Это исправляется взаимным смещением каналов на величину таких сдвигов, вычисленную по искривлениям годографа головной волны от подошвы ЗМС. Если на разрезе для курсовой работы имеется хотя бы несколько гладких границ, то следовательно поправка за ЗМС внесена в сейсмические данные.

Занятие 4. Доказать, что данный разрез обработан по МОГТ. В результате такой обработки: 1 избавляются от частично-кратных волн-помех; 2 строится скоростной разрез; 3 увеличивается амплитуда однократно отраженных волн;

4 строится временной разрез. Следовательно, если мы имеем временной разрез, это уже является доказательством обработки по МОГТ. Если бы на разрезе не были удалены частично-кратные волны, то на нем не удалось бы обнаружить изменения строения пачек в латеральном направлении: нельзя было бы найти выклинивания пластов, врезы, зоны с различной степенью слоистости. Найдите на своих разрезах такие объекты, что также будет служить доказательством применения МОГТ.

Занятие 5. Доказать, что для данного разреза была выполнена деконволюция.

Когда сейсмическое колебание проходит по породе несколько километров, то короткий сейсмический импульс, распространяющийся от точки взрыва, стал длиннее. Сейсмическая запись становится не разрешенной, многофазной, и расстояния между линиями максимумов на временном разрезе равны периоду колебаний. В результате деконволюции длинное колебание становится коротким с максимумом, совпадающим с моментом прихода волны. Таким образом, расстояние между линиями таких максимумов равно расстоянию, между соседними отражающими границами, т.е. равно толщине слоя. Сейсмический временной разрез приближается к геологическому, если на разрезе удастся найти одну или две линии максимумов, расположенных на расстоянии в 2-3 периода колебаний от соседних границ, то это доказывает, что деконволюция выполнена.

Занятие 6. Доказать, что для данного сейсмического временного разреза выполнены миграционные преобразования.

В результате миграции на разрезе удаляются искажения, связанные с сейсмическим сносом. Это петли, заходы, разрывы. В местах существования дифрагирующих объектов наблюдаются годографы дифрагированных волн. После выполнения миграции заходы и разрывы превращаются соответственно в вогнутые или выпуклые изгибы или изломы непрерывных границ, а петли – в синклинали. Годографы дифрагированных волн заменяются изображениями дифрагирующих объектов. Студент должен найти на своем разрезе объекты, на которых могли бы быть видны искажения или дифракция. Если их нет, то это служит доказательством выполнения миграции.

После выполнения всех этих заданий студент приступает к написанию курсовой работы, заключающейся в анализе разреза и обнаружении возможных ловушек нефти и газа.

Первый этап. Выделение на разрезе фундамента. Он отличается отсутствием отражающих границ, либо заполнен сильно ослабленными ложными границами, построенными по частично-кратным отражениям. Кровля фундамента обычно отражена на разрезе как интенсивная двойная граница.

Второй этап. Разделение осадочного чехла на пачки, отличающиеся друг от друга рисунком сейсмической записи: интенсивностью отражения от границ и ее изменчивостью, протяженностью границ, их криволинейностью. Границами таких пачек служат самые протяженные и интенсивные отражения. Эти пачки формировались в различных условиях осадконакопления.

Третий этап. Прослеживание тектонических нарушений и оценка их роли в формировании возможных ловушек нефти и газа. Выделяется также результат пликативных деформаций, особенно перспективные антиклинальные ловушки.

Разрывные нарушения также могут сопровождаться формированием антиклиналей вблизи сместителей. Сама тектоническая зона может служить экраном, формируя тектонически-экранированные ловушки.

Четвертый этап. В каждой из выделенных пачек необходимо попытаться найти возможные ловушки: седиментационные или эрозионные выклинивания пластов, линзы, врезы. Если пласт утолщается на коротком отрезке, то в пласте возможно содержится органогенная постройка или линза песчаников. Утолщение пачки со структурой облекания над ним может означать, что здесь имеется крупный риф. Выделенные ловушки на глубине менее 3,5 сек. могут быть предложены для разбуривания поисковыми скважинами.

Пятый этап. Построение глубинного разреза по временному разрезу. Для этого используются данные, об изменении скорости с глубиной, построенные для скважин каждого из разрезов. Студент должен понять преимущество глубинного разреза: а) линейность шкалы глубин, в то время как двойное время пробега волны на временном разрезе нелинейно связано с глубиной; б) только на глубинном разрезе можно измерить углы падения, толщины пластов и вертикальные размеры ловушек; в) только в метрах можно задать глубину бурения и удобнее следить за пластами и структурами, пройденными скважиной.

На глубинном разрезе в выбранном масштабе строятся зоны дробления и обнаруженные на временном разрезе ловушки.

Шестой этап. Можно видеть, что скорость растет с глубиной для разных скважин не одинаково. Следует объяснить возможные причины таких отклонений друг от друга кривых зависимости скорости от глубины.

Обязательная литература.

1. Р. Шериф, Л. Гердарт. Сейсморазведка. Москва, 1987 г.
2. П. Кири. Введение в геофизическую разведку. Москва, 1988 г.
3. Ч. Пейтон. Сейсмическая стратиграфия. Москва, 1982 г.
4. О.А.Потапов. Интерпретация данных сейсморазведки. Москва, 1990г.
5. A.W. Bally. Atlas of seismic stratigraphy. Tulsa, Oklahoma, USA

Дополнительная литература.

1. Mike Badly. Practical Seismic Interpretation. BOGOTA, 1988
2. В.П. Номоконов. Сейсморазведка. Москва, 1990 г.
3. Р. М.Бембель. Высокоразрешающая и объемная сейсморазведка. Новосибирск, 1991 г.
4. А.К. Урупов. Методические рекомендации по применению сейсморазведки ОГТ, т.1. Москва, 1975 г.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время углеводороды играют все большую роль в мировой экономике. Это активизирует разработку новых идей о направлениях и методике поисков и разведки нефти и газа.

1. Практически все подводные окраины континентов – это главные зоны нефтегазообразования и нефтегазонакопления. В пределах окраин континентов возникают глубокие линейные вытянутые рифтовые и геосинклинальные прогибы. Здесь происходило длительное прогибание и осадконакопление, которому способствовал прогрев осадков и как следствие – энергичная генерация углеводородов на глубине 2-4 км при температуре 60-100 °С (главная фаза нефтеобразования). При дальнейшем прогибании до глубин 4-6 км и более и при температуре 150-250 °С нефтеобразование сменялось на газообразование. Прогрев осуществлялся продуктами дегазации вещества верхней мантии, состоявшими из паров воды, углекислого газа и водорода. Они извлекают углеводороды из нефтематеринских пород перемещая их в коллекторы и ловушки различных типов, связанных с дельтами и другими береговыми отложениями, с соляно-купольными структурами, органогенными постройками, песчаниками и известняками шельфовых отложений и отложений континентальных склонов и т.д.

К категории межконтинентальных рифтов относятся нефтеносные бассейны Суэцкого залива.

Бассейны окраин плит окаймляют все континенты. Из них наименее изучены окраины Северного Ледовитого океана и окраины Антарктического континента. Первые осваиваются в пределах главным образом евро-пейской части Евразии. Начаты исследования в пределах бассейнов Уэд-делла и Росса у берегов Антарктического континента ([13, с. 84-102](#)).

2. В пределах пассивных континентальных окраин(и не только в них) расположены нефтегазоносные пояса надвигов. Аллохтонное залегание кристаллических пород обнаруживается с помощью глубинного сейсмозондирования.

Формирование поясов надвига начинается с раздвиговых смещений, вертикального погружения и накопления 5-7 км прибрежных или морских терригенных или терригенно-карбонатных осадков, благоприятных для генерации углеводородов (УВ). Затем на этапе сжатия и складкообразования формируются покровы надвиговые зоны, происходит дополнительное прогибание и формирование краевых прогибов. Это активизирует образование УВ и приводит к формированию нефтяных и газовых месторождений и их дополнительному прогибанию и формированию краевых прогибов, а также нефтяных и газовых месторождений и их сохранению надвинутыми чешуями.

На завершающем этапе образуется предгорный прогиб, к которому приурочена самостоятельная нефтегазоносная провинция.

В нашей стране открываются новые перспективы на западных склонах Урала и Верхоянья. На Урале уже открыто Вуктыльское месторождение.

Надвиги обнаружены на Южном Таймыре, на южном склоне Северо-Западного Кавказа, северном склоне Кавказа в пределах Северной Осетии, Чечено-Ингушетии и в Дагестане. Имеются они также на Сахалине и на Камчатке ([13, стр. 423-430](#)).

3. Трапповый магматизм способствовал созданию температурного режима, вызванного подъемом мантийного вещества и необходимого для созревания керогена. Он поднимал уровень главной фазы нефтеобразования, вовлекая в этот процесс и более молодые осадки. Молодые траппы сохраняли скопления нефти и газа, выполняя роль флюидоупоров. На этапе внедрения траппов и растяжения осадочных пород создавалось чередование зон сжатия и растяжения. Формировались волнообразные поднятия и зоны депрессий. Поднятия служили ловушками УВ. Западно-Сибирский бассейн подстилается трапповой формацией.

Для Тунгусского бассейна молодые траппы способствовали высокому и разнообразному уровню катагенетического преобразования материнских пород. Здесь открыты скопления газоконденсата и тяжелых нефтей. Наименьшему метаморфизму подвергся Куюмбийский, а наибольшему – Тунгусский бассейн, для которого характерны скопления преимущественно газоконденсата. При расширении Земли в фундаменте

формируются разломы и трещинные зоны, проникающие до мантии. Трещинные зоны соединяются между собой межпластовыми трещинами и могут образовывать пути [миграции](#) или резервуары УВ ([13, с. 430-438](#)).

4. Известны значительные запасы нефти и газа на глубинах свыше 6 км в консолидированной толще фундамента и в покрывающих его базальных песчаниках вблизи рифтов и зон крупных тектонических нарушений. Такие месторождения известны в США (Оклахома), Индонезии, Австралии, Индии, Северном море. В России это месторождения Медвежье, Уренгойское и Ямбургское.

Возможности сейсмического метода при изучении больших глубин осуществляются в методе общей глубинной площадки (метод преломленных волн – МПВ). Кроме того, трехмерная сейсмика [метода общей глубинной точки](#) (МОГТ) позволяет картировать поверхность фундамента на глубинах до 10 км. Метод обладает высокой детальностью, глубиной, возможностью структурной и стратиграфической интерпретации, точным оконтуриванием возможных залежей и картирования [разрывных](#) нарушений. Так, в Германии на глубине 9,5 км сейсморазведка выявила пологое чечевицеобразное тело, возможно, заполненное УВ. Бурится скважина до 14 км, до корней листрических разломов, сливающихся в волновод, где в трещинно-пористых породах также возможно наличие залежей УВ.

Для исследования больших глубин применяется также глубинный метод магнитотеллурического зондирования (ГМТЗ), который позволяет выделять как горизонтальные, так и субвертикальные хорошо проводящие образования в консолидированных породах фундамента и глубже, до верхов мантии. В пределах Прикаспийской низменности в фундаменте до глубин 30-40 км этим методом были выделены блоки высокоомных пород, разделенные субвертикальными и субгоризонтальными зонами низкоомных пород.

Гравиметрическим и магнитометрическим методами с использованием данных МОГТ в фундаменте прослеживаются преимущественно субвертикальные неоднородности.

Опираясь на подобные геофизические данные при изучении строения земной коры, можно ставить задачи поисков залежей на больших глубинах ([6, с. 319-329](#)).

5. Современная геофизика способна выявить аномалии, связанные со следами крупных миграционных потоков УВ, и, таким образом, ответить на вопрос о происхождении нефти. Для этого были пересмотрены геолого-геофизические материалы по крупным месторождениям нефти и газа ряда провинций: Астраханской, Карачаганской, Оренбургской, Жанокольской, Тенгизской, группы Прикаспийских нефтегазовых провинций (НГП), Тимано-Печорской НГП; Возейского, Вуктыльского, Лаявожского месторождений и др. В них не выявлено аномалий, связанных с субгоризонтальными устойчивыми потоками углеводородов. Вместе с тем везде были отмечены глубинные аномалии от путей миграции, расположенных почти вертикально под месторождениями или вблизи них. Это заставило рассмотреть гипотезу образования УВ не из органического вещества, а в результате их синтеза из поступающего из больших глубин углекислого газа, воды и водорода при наличии катализатора, состоящего из чистого железа или магнетита.

Для образования таких месторождений здесь должны располагаться группы глубоких флюидопроводящих разломов, по которым вторгаются мантийные расплавы с высокой магнитной восприимчивостью, плотностью и скоростью в них. В процессе внедрения образуются приконтактные зоны вторичной минерализации.

С этими объектами должны быть связаны аномалии сейсмического, гравитационного, магнитного, геоэлектрического и теплового полей. Кроме того, на путях миграции исходных продуктов (углекислого газа, водорода, воды) должны присутствовать катализаторы, необходимые для синтеза из них УВ, – восстановленное железо и магнетит, которые также создадут дополнительное магнитное поле.

Зоны дробления, насыщенные минерализованной водой, создают геоэлектрическую аномалию типа «проводящая дайка».

Все ожидаемые особенности физических полей подтвердились на вышеуказанных объектах ([12, с. 385-392](#)).

6. За последние годы появились новые возможности применения комплекса геофизических методов при поиске и разведке месторождений нефти и газа.

6.1. Разработан метод высокоразрешающей частотно-временной электроразведки с использованием аномалий вызванной поляризации (ВРЭ-ВП), связанной с залежами углеводородов. Метод позволяет в трехмерном пространстве проследить контрастные по электрическим параметрам границы и выделить продуктивные пласты. Кроме прямых поисков залежей УВ метод позволяет сопоставить сейсмические временные разрезы с электрическими временными разрезами, дополнив наши сведения о физической природе геологических границ ([11, с. 57-74](#)).

6.2. Пропускание тока одновременно с прохождением упругих волн позволяет увеличить амплитуду отражений. Особенно заметно такое увеличение амплитуды для слабых отражений, среди которых могут быть и отражения от продуктивных пластов.

6.3. Регистрация пьезоэлектрических полей, возникающих при прохождении упругих волн через пласты, различные по своему литологическому составу, позволяет рассчитывать отличить песчаники от глин, карбонатных пород и солей.

Несмотря на бурное развитие всех геофизических методов, сейсморазведка остается ведущим методом поисков и разведки залежей нефти и газа.

ТЕМА I.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

Перед нефтеразведкой стоит задача отыскать залежь УВ размером от первых километров в плане и толщиной от первых десятков метров на глубине нескольких километров. Решить такую задачу с помощью только геологических методов (геокартирования и бурения глубоких скважин) удастся редко, кроме того, это требует громадных затрат, как показал в начале XIX в. опыт американских нефтяников в Техасе (метод «дикий кошки»). Поэтому для выбора перспективных участков поисков потенциальных ловушек, а иногда и скоплений УВ (прямые поиски) применяется комплекс геофизических методов. Это оказывается возможным, так как ловушки и локализующиеся в них УВ, а также связанные с залежью изменения вмещающих пород могут представлять собой неоднородность в полях упругих параметров изучаемых сейсморазведкой; в полях электрических параметров, изучаемых электроразведкой; в полях сил тяжести, изучаемых гравиразведкой и в магнитном поле Земли, изучаемом магниторазведкой. Однако детальное изучение всех этих полей на больших территориях потребовало бы очень больших затрат. Дешевле ограничить детально изучаемую площадь, обосновав перспективность лишь отдельных локальных участков. Для этого необходимо:

- 1) на этапе региональных работ выделить территории с значительной толщиной осадочного чехла;
- 2) на этапе поисковых работ в их пределах найти крупные структуры; изучить условия осадконакопления и таким образом выделить участки возможного формирования коллекторов, флюидоупоров и нефтематеринских толщ; изучить историю тектонического преобразования разреза. На основе этих данных выбирают участки, перспективные на локализацию в них залежей нефти и газа;
- 3) в пределах выбранных локальных перспективных участков выполнить детальные геолого-геофизические исследования с целью обнаружения потенциальных ловушек;
- 4) в этих ловушках выполнить прямые поиски залежей;
- 5) на этапе разведки оценить запасы, определить границы продуктивной части пластов и структур.

Таким образом, переходят от более общих к более частным задачам, одновременно сужая исследуемую площадь, используя знания о геологическом строении и аналогии с другими подобными районами, а также учитывая физические предпосылки применения геофизических методов, выбирают такой рациональный набор (комплекс) геофизических методов, с помощью которого решают поставленные задачи как можно быстрее и с наименьшими затратами. Каждая конкретная задача в конкретных физико-геологических условиях может быть решена с помощью некоторого комплекса методов, рационального для данного случая. Над различными структурами могут быть получены близкие по форме аномалии, например в поле сил тяжести (рис. I.1).

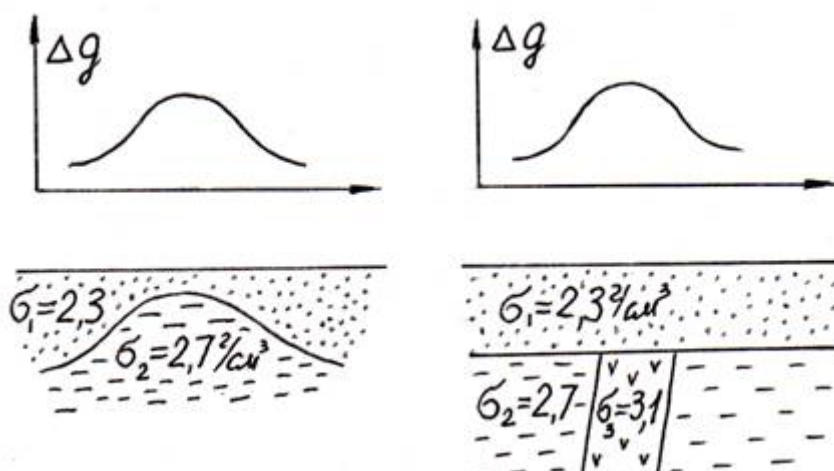


Рис. I.1. Пример равных кривых Δg над различными разрезами

Для однозначного изучения данного разреза можно применить дополнительно электроразведку, или магниторазведку, или сейсморазведку в зависимости от того, по каким физическим свойствам сильнее всего различаются слагающие разрез породы. Зная возможности каждого геофизического метода, можно прогнозировать, как в его данных отразится тот или иной геологический объект. Для этого необходимо знать физические свойства пород разреза. Так известняки, ангидриты и доломиты – высокоскоростные и высокоомные породы, а каменная соль тоже высокоомная, но с несколько меньшей скоростью.

Следовательно, с помощью электроразведки не удастся проследить границу между этими породами, а сейсморазведка скорее всего решит эту задачу.

Рациональный комплекс геофизических методов может повысить точность изучения залежей. Проникновение даже небольшого количества газа в толщу флюидоупора над залежью заметно уменьшает скорость и на сейсмическом разрезе вблизи свода антиклиналей появится ложный прогиб (пунктир на рис. I.2.) и две ложные антиклинали по обе стороны от реально существующей антиклинали. Разведочные скважины, заданные по таким ошибочным данным, не пересекут залежь. Исправить ошибку можно с помощью высокоточной гравиразведки, так как проникновение газа практически не изменит плотностных свойств флюидоупора.

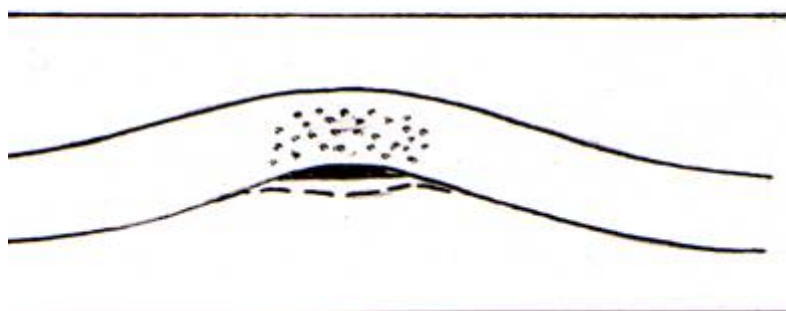


Рис. I.2. Искажение формы антиклинали неоднородностью во флюидоупоре

При индивидуальном подборе рационального комплекса геофизических методов для решения каждой конкретной геолого-поисковой задачи рекомендуется соблюдать следующие принципы.

I.1. принципы комплексирования

I.1.1. Принцип последовательных приближений, для выполнения которого на каждом последующем этапе увеличивается детальность исследований и уменьшается ее площадь. Геологическое строение разреза при этом изучается начиная с более общих особенностей его строения и переходя к более частным особенностям, более мелким элементам геологического разреза.

Исследования выполняются поэтапно, от регионального к поисковому и далее к разведочному этапу/ Сначала анализируют космо- и аэроснимки, затем результаты аэросъемки различных физических полей, и наконец переходят к все более детальным наземным геофизическим съемкам и к данным геофизических исследований в скважинах (ГИС). Для осуществления последовательных приближений составляют все более подробную физико-геологическую модель (ФГМ), увязывая данные всех использованных геофизических методов, а также данные бурения.

Для увязки данных различных геофизических методов используют статистические связи между физическими параметрами пород: между скоростью распространения продольных волн V_p и плотностью породы σ ; между скоростью и удельным электрическим сопротивлением; между плотностью породы и ее магнитной восприимчивостью.

Так, из теории упругости известно, что для идеально упругих пород $V_p \approx 1,095 \sqrt{\frac{E}{\sigma}}$, где E – модуль упругости Юнга. Для реальных пород в результате статистической обработки их физических свойств

в различных районах получены следующие зависимости: $V_p = 7,5\sigma - 14,8$ (Урупов, Прикамье); $\sigma = 1,89 + 0,17 V_p$ (Березкин, Русская плита); $\sigma = 1,87 + 0,18 V_p$ (Клиमारов, Предкавказье). Для пористых терригенных пород $V_p = 1,17 + 1,69 \ln(\rho)$ (Рудницкая, Западная Сибирь).

ФГМ уточняют методом подбора, решая для каждого из геофизических методов прямые и обратные задачи. Затем выбирают точки для бурения сначала опорных параметрических, затем поисковых и наконец разведочных скважин и используют для уточнения модели данные бурения, исследования керна и ГИС. По уточненным моделям, полученным на следующих этапах исследования, снова задают скважины и снова уточняют модель по полученным в них данным. В результате получают увязанную ФГМ, позволяющую решить задачу обнаружения залежей.

1.1.2. Принцип полноты предусматривает изучение всей площади на всю глубину до подошвы осадочного чехла и до предельно возможной и необходимой детальности, вплоть до прямых поисков залежей.

1.1.3. Принцип аналогии выполняется, если используют методику и опыт работ в аналогичных районах. Для этого на всей территории изучают основные особенности строения разреза и выделяют территории с близкими, типичными особенностями строения, т.е. выполняется районирование территории.

1.1.4. Принцип наибольшей эффективности требует найти последовательность применения необходимого минимального количества геофизических методов, позволяющих решить поставленную задачу по возможности быстрее и дешевле.

1.2. Региональные работы

Региональные работы выполняются для оценки общих перспектив нефтегазоносности региона. На региональном этапе изучают глубинное строение земной коры, общую толщину осадочного чехла, морфологию кровли фундамента с выделением крупных структур, и унаследованность этих структур некоторыми границами в толще осадочного чехла.

Для решения поставленных задач применяется комплекс методов, включающий:

- анализ космо- и аэроснимков и результаты мелкомасштабного картирования;
- аэрометоды: магнитометрия, гравиметрия, электрометрия;
- сейсморазведку в модификации глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ);
- бурение опорных и параметрических скважин.

1.2.1. Глубинное сейсмическое зондирование применяется для изучения границы Мохоровичича и границы Конрада, морфологии кровли фундамента, прослеживания крупнейших разломов и серии наиболее контрастных границ в осадочном чехле. С помощью ГСЗ оцениваются средние скорости $V_{ср}$ до прослеженных границ и выявляются зоны рифтогенеза, с которыми связаны перспективы нефтегазоносности. Например, Урал пересечен серией субширотных профилей через 300 км и связывающим их субмеридиальным профилем. Изучено слоисто-блоковое строение территории, оценена общая толщина осадочного чехла над блоками, уточнены границы между платформами и геосинклиналью, выявлены глубинные разломы, в том числе надвиги в районе Магнитогорского синклинория. Перспективы газоносности приурочены к районам, в пределах которых прогибам кровли фундамента соответствуют воздымания границы Мохоровичича, т.е. зоны рифтогенеза.

1.2.2. Гравиметрия позволяет с учетом данных ГСЗ выполнить тектоническое районирование. Выделяются разломы по аномалиям типа ступеней, либо по цепочкам локальных аномалий, либо по зонам смены характера поля сил тяжести и таким образом изучается блоковое строение района. По гравиметрическим данным составляют разрез, увязанный с данными ГСЗ. Для этого по полям скоростей V прогнозируют поле плотностей σ на разрезе, используя статистическую связь между V и σ . Затем подбирают модель, соответствующую наблюдаемому полю сил тяжести, не противоречащую данным ГСЗ.

1.2.3. Магнитометрия. Магнитное поле обусловлено консолидированной толщей – неоднородностями «гранитного» и «базальтового» слоев земной коры. Породы ниже границы Мохоровичича находятся при температуре, превышающей точку Кюри и потому немагнитны. Осадочные породы чаще всего слабо магнитны и мало влияют на величину магнитного поля.

По данным магнитометрии выполняется тектоническое районирование и выделяются неоднородности в фундаменте: по уровню магнитного поля, его изрезанности, а также по форме, величине и знаку аномалий магнитного поля.

Увязка с данными ГСЗ позволяет оценить магнитную восприимчивость пород в пределах каждого блока и методом подбора построить увязанную ФГМ. По данным магнитометрии классифицируются разломы по глубинности затронутых ими пород и амплитудам смещения блоков по этим разломам.

Расчет глубины возмущающих магнитных масс позволяет оценить глубину расположения кровли фундамента, и таким образом определяется толщина осадочного чехла, а также выявляются основные структуры на поверхности фундамента.

По изрезанности магнитного поля четко выделяются границы платформ и геосинклиналей. Кроме того, характер магнитного поля различен для различных нефтегазоносных областей. Например, для Тимано-Печорской нефтегазоносной области характерны линейные аномалии поля, а в пределах соседней с ней Волгло-Уральской области магнитное поле имеет мозаичный характер.

1.2.4. Электрометрия. Из большого количества методов электрометрии на региональном этапе исследований применяются главным образом методы естественного магнитотеллурического поля, а также метод зондирования становлением поля (ЗСП). Основные преимущества этих методов – их глубинность и возможность исследовать разрез ниже экрана высокоомных пород.

При работе методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) регистрируют составляющие электрического поля E_x и E_y , а также составляющие магнитного поля H_x и H_y естественного электромагнитного поля. Метод позволяет получить наиболее подробные данные о разрезе на глубинах от десятков метров до земной коры и верхней мантии. При исследованиях методом магнитовариационного профилирования (МВП) регистрируют компоненты магнитного поля H_x , H_y и H_z с периодом T от секунд до часов в базовой и полевых точках. По результатам измерений строят карту продольной проводимости S , на которой по максимумам и минимумам S выделяют поднятия и прогибы в рельефе поверхности кристаллического фундамента, расположенного на глубине 2-3 км. Комплексирование МВП и МТЗ позволяет изучать геоэлектрический разрез всей земной коры до мантии.

Для исследований методом магнитотеллурических токов (МТТ) регистрируют компоненты E_x и E_y электрического поля. По результатам измерений строят карту E_{cp} и по максимумам и минимумам E_{cp} выделяют поднятия, прогибы и обводненные зоны, а также картируют высокоомные горизонты на глубинах до 2-3 км.

Комбинированный метод магнитотеллурического профилирования (КМТП) представляет собой комплекс магнитотеллурического профилирования (МТП), МТТ и МВП. Регистрируют компоненты E_x , E_y , H_x , H_y , в базисной и полевой точках. Метод позволяет изучать морфологию двух горизонтов: высокоомного экрана (например, пластов хемогенных или карбонатных пород) и поверхности кристаллического фундамента.

При работе методом зондирования становлением поля изучают изменение поля после прохождения импульса тока в петле. Метод позволяет изучать рельеф высокоомного (например, карбонатного) горизонта, даже если он расположен под другим высокоомным экраном, например под пластом галогенов. При этом удастся выделять проводящие терригенные пласты во вмещающих их карбонатах.

1.3. Стадия оценки нефтегазоносности

Для оценки перспектив нефтегазоносности выделенных на предыдущем этапе зон изучается осадочный чехол на всю его глубину до 10-15 км. В первую очередь изучаются выявленные региональными исследованиями области крупных поднятий или ступенчатых структур на поверхности фундамента. Изучаются области регионального выклинивания перспективных коллекторов и зоны возможного развития антиклиналей и не антиклинальных ловушек.

Ведущим методом на этой стадии становится сейсморазведка. Выполняются также более детальные магнитометрические и гравиметрические исследования. Они используются для предварительного выделения структур и перспективных площадей, что сокращает объем сейсмических исследований. По результатам этих работ выбирают места бурения параметрических скважин, в которых изучают физические свойства основных слагающих разрез пород и выявляют коллекторы.

На этой стадии изучают региональные структуры, обнаруживают крупнейшие ловушки, выбирают наиболее перспективные районы для поисков нефтяных и газовых месторождений.

1.3.1. Сейсморазведкой в модификации **метода общей глубинной точки** (МОГТ) и частично метода преломленных волн (МПВ) отрабатываются длинные региональные профили через 10-50 км в крест крупных структур осадочного чехла и фундамента. Временные разрезы позволяют расчленить осадочный чехол на фации, т.е. комплексы осадков с общими условиями осадконакопления. Кроме того, на разрезах прослеживаются поверхности несогласия и эрозии, зоны выклинивания пластов, выделяются разломы и расшифровывается история тектонических деформаций. Детализируется также строение зон рифтогенеза, выявляется и изучается соляно-купольная тектоника, зоны развития рифов и структур, могущих быть ловушками УВ. В осадочном чехле выделяются пластовые и клиноформенные отложения.

1.3.2. Магнитометрия, гравиметрия и электрометрия используются на этой стадии как дополнительные методы. С их помощью решаются частные задачи в комплексе с ведущим сейсмическим методом, например, удастся выявлять антиклинали, изучать солянокупольную тектонику, обнаруживать рифы. Кроме того, комплекс дополнительных методов (или один из них) позволяет прослеживать обнаруженные сейсморазведкой структуры, например, прогибы или валы в промежутках между региональными сейсмическими профилями.

Применение комплекса геофизических методов при поисках некоторых типов ловушек рассматривается на [практическом занятии № 10](#).

Заключительный этап поисков залежей УВ и прямые поиски залежей с помощью комплекса геофизических методов рассматриваются на [практическом занятии № 12](#). А сейчас познакомимся подробнее с сейсморазведкой, основным методом применяемым при поисках залежей нефти и газа.

ТЕМА II. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ. ВИДЫ УПРУГИХ ВОЛН

Из источников во всех направлениях распространяются упругие волны.

Эти направления изображаются **лучами** (рис. II.1). **В соответствии с принципом Ферми время пробега волны вдоль луча минимально.**

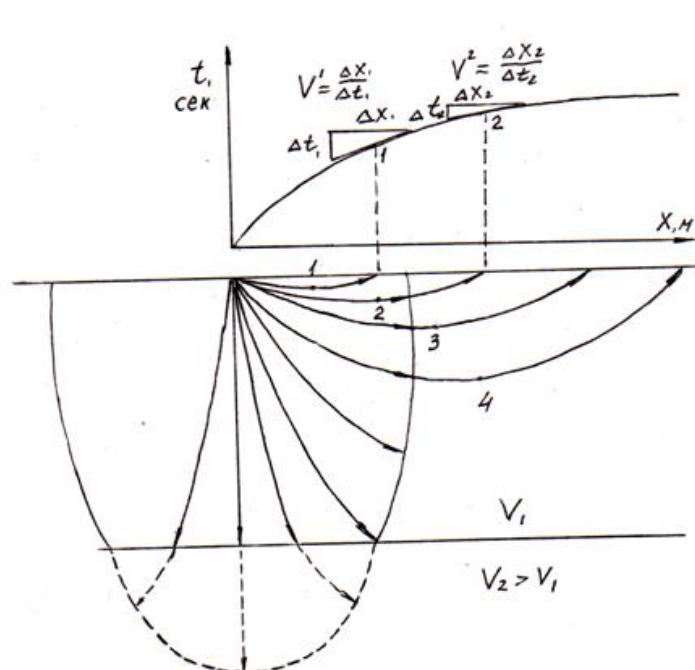


Рис. II.1. Фронты и лучи волны и изучение изменения скорости с глубиной по годографу рефрагированной волны

Ко времени t_1 после начала действия источника волна проходит путь равный $t_1 V$, где V – скорость распространения упругой волны. Геометрическое место точек, начавших колебательное движение в некоторый момент времени, называется **фронтом волны**. Если среда однородная, то все точки, начавшие колебаться в некоторый момент времени, находятся на поверхности сферы, которая и будет фронтом волны.

В соответствии с **принципом Гюйгенса** каждую точку фронта волны можно представить в виде элементарного источника колебаний.

Все лучи, вдоль которых распространяются упругие колебания, перпендикулярны фронту волны. В случае если среда однородна, лучи прямолинейны и являются радиусами сферы.

В реальном случае скорость распространения волны растет с глубиной. В этом случае фронт волны имеет форму, близкую к эллипсоиду, а лучи в этом случае будут криволинейны, оставаясь везде перпендикулярными фронту. Если такой фронт пересечет границу двух сред с различными скоростями в них, то произойдет смена формы эллипсоида. Лучи, пересекая границу, испытывают излом.

Часть криволинейных лучей возвращается к дневной поверхности (рис. II.1.) Такое проникновение луча на глубину, в зону повышенной скорости, называется рефракцией, а волна называется рефрагированной (РВ).

Зависимость времени прихода волны от расстояния источник-приемник называется годографом. Годограф РВ имеет выпуклую форму. Он позволяет вычислить скорость в породах разреза до глубины максимального проникновения РВ, как показано на рис. II.1.

Распространяясь вдоль луча, упругая волна вызывает колебательные движения частиц среды. Если они колеблются вдоль луча, то такая волна называется **продольной**. В твердой, жидкой или газообразной средах она создает зоны сжатия и растяжения в слоях, параллельных и примыкающих к фронту.

Если частицы колеблются перпендикулярно лучу, то такая волна называется **поперечной**. Она вызывает напряжения сдвига в твердой среде.

В жидкостях и газах таких напряжений не существует, поэтому поперечная волна в них не распространяется.

Известны поперечные волны двух типов. Если частицы колеблются перпендикулярно лучу в вертикальной плоскости, то такую поперечную волну обозначают буквами SV , а если в горизонтальной плоскости – буквами SH . Скорость распространения продольной волны больше, чем поперечной. Поэтому продольная волна приходит первой (primary), и ей присвоен индекс P . Поперечная волна приходит второй (secondary), и ей присвоен индекс S .

Часть энергии упругой волны, распространяющейся из источника, движется вдоль дневной поверхности в верхнем слое пород. Эта волна V называется **поверхностной волной Релея**. Она состоит из суперпозиции поперечной SH и продольной волн, причем первая преобладает над второй по энергии.

Если распространяющаяся из источника (падающая) волна встречает на своем пути границу, то на ней происходят явления отражения, преломления и обмена (рис. II.2). Обмен имеет место, если в результате отражения или преломления изменяется природа волны, именуемая поляризацией. Например, падает продольная волна, а отраженные и преломленные волны – продольные и поперечные. В этом случае продольные волны называются монотипными, а поперечные – обменными. Все эти явления подчиняются **закону Снеллиуса: отношение синуса угла падения волна (между лучом и перпендикуляром к границе) к скорости в среде ее распространения есть величина постоянная**. Пусть порода выше границы характеризуется скоростью V_1 и плотностью σ_1 , а ниже границы – скоростью V_2 плотностью σ_2 . Тогда по закону Снеллиуса

$$\frac{\sin \alpha_{пад.p}}{V_{1p}} = \frac{\sin \alpha_{отп.p}}{V_{1p}} = \frac{\sin \alpha_{отп.s}}{V_{1s}} = \frac{\sin \alpha_{прел.p}}{V_{2p}} = \frac{\sin \alpha_{прел.s}}{V_{2s}}$$

$$\frac{\sin \alpha_{пад}}{V_1} = \frac{\sin \alpha_{отп}}{V_1}$$

Рассмотрим явление отражения: V_1 V_1 , следовательно **угол падения равен углу отражения** при одинаковой природе (поляризации) падающей и отраженной волн. В случае обмена

$$\frac{\sin \alpha_{\text{над } p}}{V_{1p}} = \frac{\sin \alpha_{\text{отр } s}}{V_{1s}}, \text{ поскольку } V_{1p} > V_{1s},$$

угол падения продольной волны больше угла отражения обменной (поперечной) волны: $\alpha_{\text{над } p} > \alpha_{\text{отр } s}$

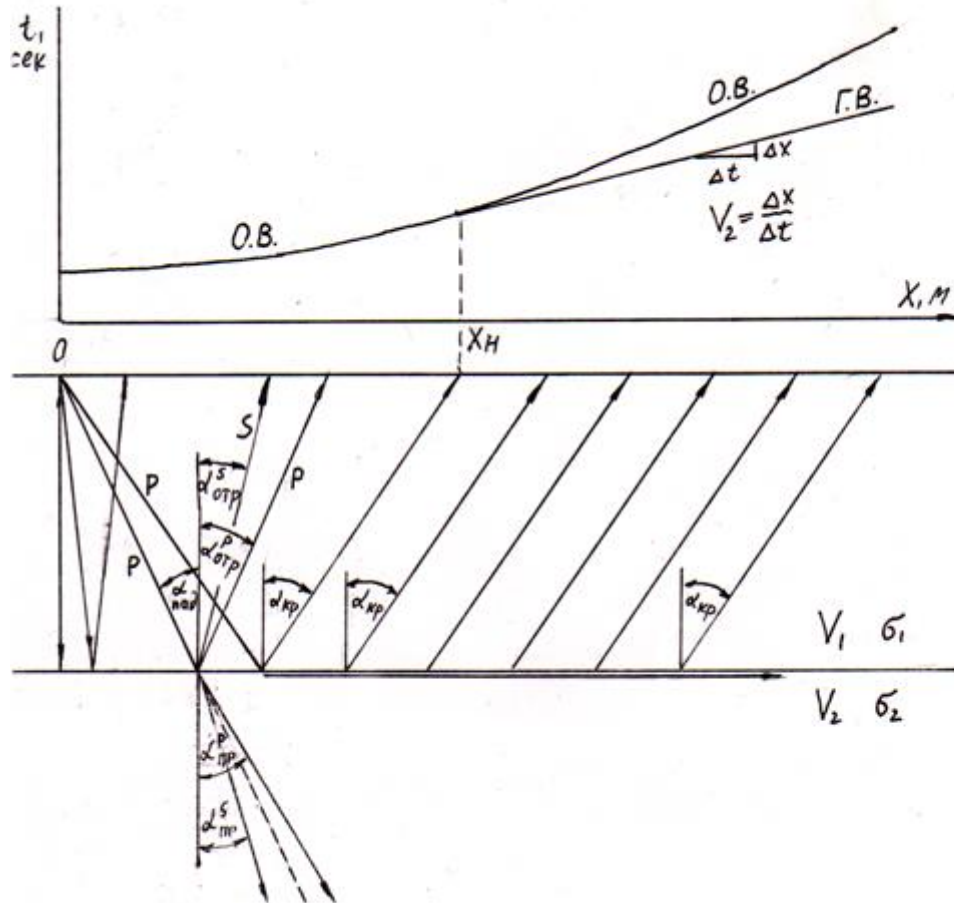


Рис. II.2. Преломление, отражение, обмен и формирование головной волны на границе с положительным перепадом акустической жесткости

Отношение амплитуды ОВ к амплитуде падающей волны называется коэффициентом отражения. Он зависит от перепада акустической жесткости пород $V\sigma$ на границе:

$$K_{\text{отр}} = \frac{A_{\text{отр}}}{A_{\text{над}}} = \frac{V_2 \sigma_2 - V_1 \sigma_1}{V_2 \sigma_2 + V_1 \sigma_1}. \text{ Если } V_2 \sigma_2 < V_1 \sigma_1, \text{ то } K_{\text{отр}} < 0.$$

В этом случае колебания частиц под действием падающей волны происходят в противофазе к колебанию частиц под действием отраженной волны (рис. V.3)

Коэффициент отражения всегда меньше единицы, так как часть энергии падающей волны распространяется ниже границы как преломленная волна.

Годограф ОВ имеет гиперболическую форму:

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{x^2 - 4hx \sin \varphi + 4h^2},$$

где V – скорость в породах выше границы; x – расстояние от источника до приемника; h – эхо – глубина до границы (расстояние по перпендикуляру к границе) в точке, где расположен источник; φ – угол падения отражающей границы.

Минимум годографа ОВ расположен над источником при $\varphi = 0$ и смещении относительно него при $\varphi \neq 0$ на величину $2h \sin \varphi$ в сторону восстания границы. Имея годограф ОВ, можно построить соответствующий ему участок и вычислить V_{cp} в породах над отражающей границей.

$$\frac{\sin \alpha_{над, p}}{V_{1, p}} = \frac{\sin \alpha_{под, p}}{V_{2, p}} ;$$

Рассмотрим явление преломления:

$$\frac{V_{2, p}}{V_{1, p}}$$

тогда $\sin \alpha_{прел, p} = \sin \alpha_{над, p} \cdot \frac{V_{2, p}}{V_{1, p}}$ Если $V_2 > V_1$, то $\alpha_{прел} > \alpha_{над}$, а если $V_2 < V_1$, то $\alpha_{прел} < \alpha_{над}$.

При увеличении угла падения, если $V_2 > V_1$, растет и угол преломления, достигая 90° , а синус угла преломления становится равным единице. Поэтому энергия преломленной волны будет распространяться ниже границы и вдоль нее со скоростью V_2 (рис. II.2). Она создает в породах над границей головную волну (ГВ). Такое явление называется **полным внутренним отражением**. Угол падения, при котором происходит это явление, называется критическим углом. Его величина определяется

$$\frac{V_1}{V_2}$$

выражением $\sin \alpha_{кр} = \frac{V_1}{V_2}$.

ГВ достигает дневной поверхности, распространяясь от преломляющей границы вдоль лучей под углом $\alpha_{кр}$ к перпендикуляру к границе. Головную волну принято не совсем точно называть преломленной волной. Ее годограф имеет прямолинейную форму. При $\varphi = 0$ по нему можно построить преломляющую границу и вычислить V_2 .

Если граница наклонная, то регистрируют два встречных (взаимных) годографа ГВ с источниками в точках O_1 и O_2 , как показано на рис. II.3.

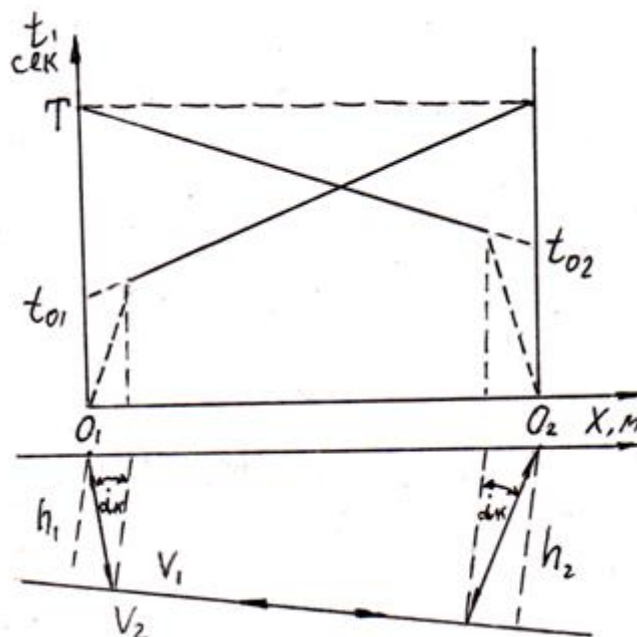


Рис. II.3. Лучи и встречные годографы головной волны

Встречные годографы ГВ описываются выражениями

→

←

$$t = \frac{x}{V_1} \sin(\alpha_{кр} + \varphi) + t_{01};$$

$$t = \frac{x}{V_1} \sin(\alpha_{кр} - \varphi) + t_{02},$$

$$\frac{2h_1}{V_1}$$

$$\frac{2h_2}{V_1}$$

где $t_{01} = \frac{2h_1}{V_1} \cos \alpha_{кр}$; $t_{02} = \frac{2h_2}{V_1} \cos \alpha_{кр}$. Здесь h_1 и h_2 – эхо-глубины в точках расположения источников O_1 и O_2 . Два встречных годографа ГВ позволяют построить наклонную преломляющую границу и вычислить скорость V_2 . У обоих встречных годографов имеется одно максимальное время прихода волны T , что следует из **принципа взаимности**: если поменять местами источник и приемник, то траектория и время прихода волны не изменятся.

В случае сложно-построенных разрезов с криволинейными границами, со ступенчатыми тектоническими структурами, с выклинивающимися пластами или с локальными геологическими телами, ограниченными криволинейными границами, и при радиусах кривизны границ меньших длины волны возникает дифрагированная волна (ДВ).

Под дифракцией понимают всякое отклонение распространения волны от законов отражения или преломления.

Годограф ДВ имеет форму параболы с минимумом над дифрагирующим объектом. Он касается годографа ОВ, как показано на рис. II.4. Принцип взаимности для ДВ не применим.

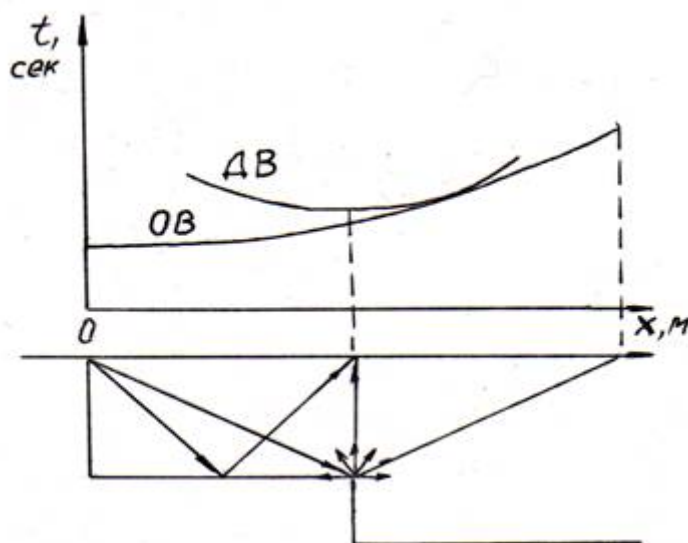


Рис. II.4. Ход лучей и годографа отраженной и дифрагированной волн

Более подробно теория сейсморазведки изложена в учебнике [Бондарева В.И. \(3\)](#).

ТЕМА III. СТАТИЧЕСКИЕ ПОПРАВКИ

Сейсмическая запись часто оказывается сильно искаженной неоднородностями верхней части разреза (ВЧР). Трассы записи смещены друг относительно друга настолько сильно, что в построенном по таким материалам разрезе не оказалось бы ни одной гладкой отражающей границы.

Поправка за неоднородность ВЧР называется статической, так как она постоянна для каждой трассы и не зависит от времени прихода волн.

Для ВЧР характерна значительная вертикальная и латеральная изменчивость скоростей и плотностей слагающих ее пород, малые их значения и повышенное поглощение упругих колебаний. Все эти величины сильно зависят от глубины. Толщина ВЧР колеблется от нескольких метров до 50-60 м и более. Чаще всего ВЧР сложена песчано-глинистыми отложениями, иногда с пропластками или эрозионными выступами карбонатов, либо эта зона выветривания консолидированных пород. Кроме литологии, на скорость и плотность в породах, слагающих ВЧР влияют их пористость и влагонасыщенность.

Верхний слой ВЧР толщиной до 20-30 м сложен наиболее рыхлыми, пористыми, слабосцементированными и по-разному обводненными, а потому особенно низкоскоростными породами. Этот слой называется **зоной малых скоростей** (ЗМС). Подошвой ЗМС могут быть контрастные границы: уровень грунтовых вод, либо поверхность коренных пород, перекрытых рыхлыми отложениями. Но подошва ЗМС может быть и градиентной границей, например если ЗМС представляет собой зону выветривания.

Скорость в ЗМС, сложенной песчано-глинистыми породами, колеблется обычно в пределах 0,2-0,5 км/сек. При повышении их влагоемкости она достигает 0,7-1,5 км/сек, а в сухих песках пустыни может упасть до 0,025 км/сек. В морях ЗМС представлена водой с пренебрежимо малым затуханием упругих колебаний и со скоростью 1,5 км/сек. Скорость в придонных илах толщиной до 25 м и более колеблется в пределах 1,1-1,4 км/сек, а на максимальных глубинах при их обогащении органикой и газом до 1 – 5% скорость понижается до 0,15-0,05 км/сек.

Поскольку скорость в ВЧР резко растет с глубиной, восходящие лучи, пересекая ВЧР и преломляясь, выходят к поверхности практически вертикально ([1, с. 122-125.](#))

Статической поправкой называют время пробега волны от линии приведения до источника или приемника (рис. III.1).

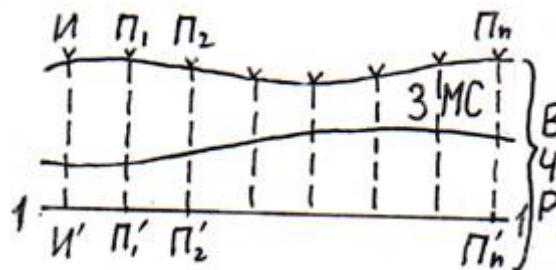


Рис. III.1. Верхняя часть разреза и зона малых скоростей:

1 – 1 линия приведения

На эту величину сдвигают каждую трассу, чтобы исключить искажения годографов за счет взаимного смещения трасс, вызванных разностью времен пробега волн поперек ВЧР к каждому приемнику. Это смещение вызвано как разностью скоростей, так и разностью толщины ВЧР за счет рельефа. Источники и приемники как бы перемещаются на линию приведения.

Для вычисления статических поправок необходимо знать координаты и абсолютные отметки пикетов расположения источников и приемников, а также скорости в ЗМС и в ВЧР ниже подошвы ЗМС под каждым из этих пикетов. Для определения разности смещения трасс в ВЧР можно также воспользоваться отклонением от прямолинейной формы наблюдаемого годографа головной (преломленной) волны от подошвы ЗМС, а также сведениями об изменении скорости

ниже этой подошвы по наклону годографа ГВ. Вычисленная таким способом поправка вносится на первом этапе.

Если у ЗМС нет жесткой акустической подошвы, то для изучения скорости в ВЧР используют РФ ([см. тему 2](#)).

После выполнения первого этапа внесения статической поправки остаются еще заметные взаимные смещения трасс, нарушающие гладкость границ (рис. III.2, а), так как точно определить искажения записи и изменения скорости в ВЧР по годографам ГВ не удастся. Оставшаяся погрешность искажает отражающие границы.

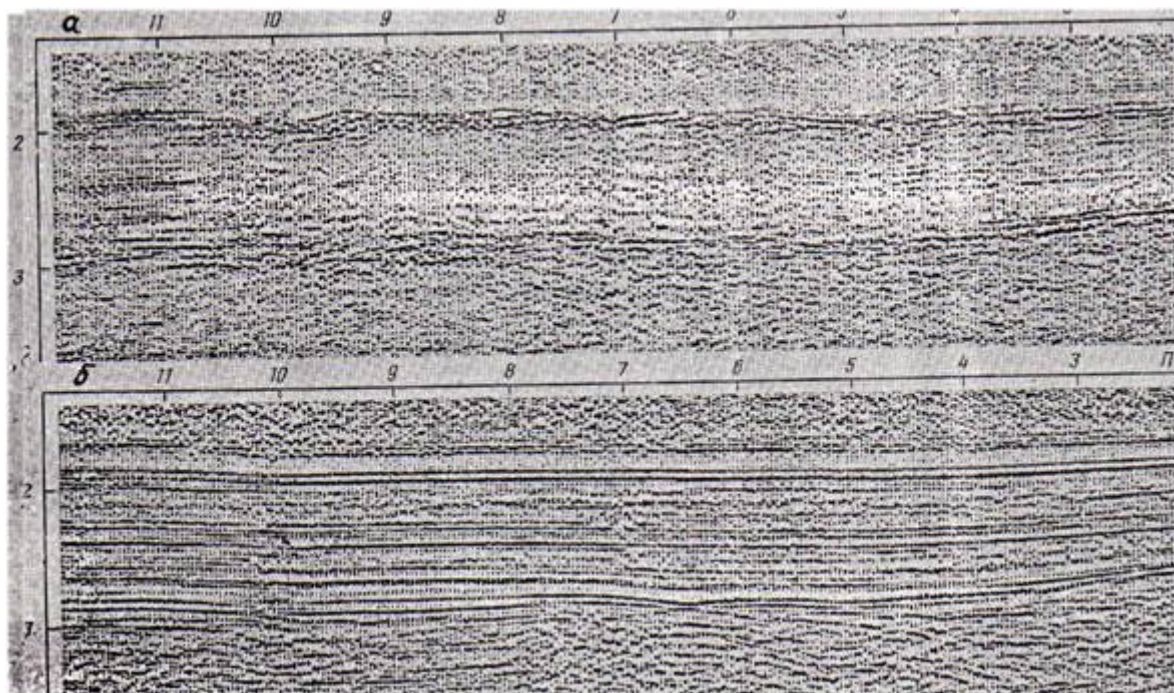


Рис. III.2. Коррекция статических поправок:
до коррекции – а; после коррекции – б

Погрешность имеет высокочастотную и низкочастотную составляющие. Высокочастотная составляющая отличается тем, что часто, от канала к каналу, меняет свою полярность. Она ухудшает результат суммирования по [МОГТ](#) ([см. ниже](#)). Низкочастотная составляющая плавно искривляет границу и иногда нарушает ее прослеживание. Она вызвана неточным определением скорости в породах ниже линии приведения. В настоящее время чаще всего используют вибраторы, воздействующие на дневную поверхность. При этом преобладает низкочастотная составляющая. Для вычисления погрешности статической поправки необходимо оценить взаимное смещение времен прихода импульсов отражений на соседних трассах, вычисляя функции взаимной корреляции (ФВК) между ними ([см. тему V](#)). Если такое смещение медленно меняется относительно нормального смещения в годографе ОВ, то это и есть низкочастотная составляющая погрешности. При анализе смещений отбрасываются трассы со слабыми импульсами отражений или с повышенным уровнем шумов. После вычисления величин смещения между трассами времен прихода ОВ, сравнивают его со смещением в теоретическом годографе ОВ и определяют отклонения наблюдаемого годографа от теоретического. Это и есть погрешность статической поправки.

Результат ее внесения, когда отражающие границы становятся гладкими, виден на рис. III.2, б ([1, с. 25-39](#)).

ТЕМА IV. МЕТОД ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ (МОГТ)

В сейсморазведка многие годы (в России приблизительно до 1965 г.) применяли систему наблюдений, именуемую методом общего пункта взрыва (ОПВ). Все сейсмоприемники (24, 48 и более) регистрируют сигнал, распространяющийся из одного источника, располагающегося сначала около одного крайнего прибора, потом около противоположного. Затем сейсмоприемники переносят на следующую стоянку и все повторяется до конца профиля. Недостатком такой системы наблюдений было то, что кроме однократных отражений от геологических границ регистрировалось гораздо большее количество частично-кратных волн, многократно отражавшихся от различных сочетаний границ. Таких частично-кратных отражений было так много, что разрез оказывался разлинованным параллельными друг другу ложными границами, расположенными через расстояния, близкое к периоду колебаний. На таком разрезе можно было видеть только синклинали и антиклинали либо наклон всех границ. Никаких изменений в строении разреза в латеральном направлении, вдоль пластов и пачек пластов, на разрезе не отмечалось. Не было видно разрывных нарушений, выклинивания пластов, смены толщины пласта, например в связи с врезами русел потоков, не было видно локальных осадочных тел или изменения слоистости пачки, и пр.

Интенсивность отражений и детальность исследования зависели от того, в каких породах произошел взрыв или в каких породах установлен сейсмоприемник. Если пункт взрыва или сейсмоприемник попал в рыхлые, слабообводненные породы, или в торф, то отражения будут низко-частотными и слабыми. В верхних десятках метров могли залегать породы, в которых волна сильно затухает и распространяется вниз от источника или подходит снизу к сейсмоприемникам сильно ослабленной. В результате на некоторых участках отражения переставали регистрироваться, непрерывность прослеживания границ прерывалось. Идентифицировать одну и ту же границу по обе стороны от зоны прекращения ее прослеживания достоверно не удавалось.

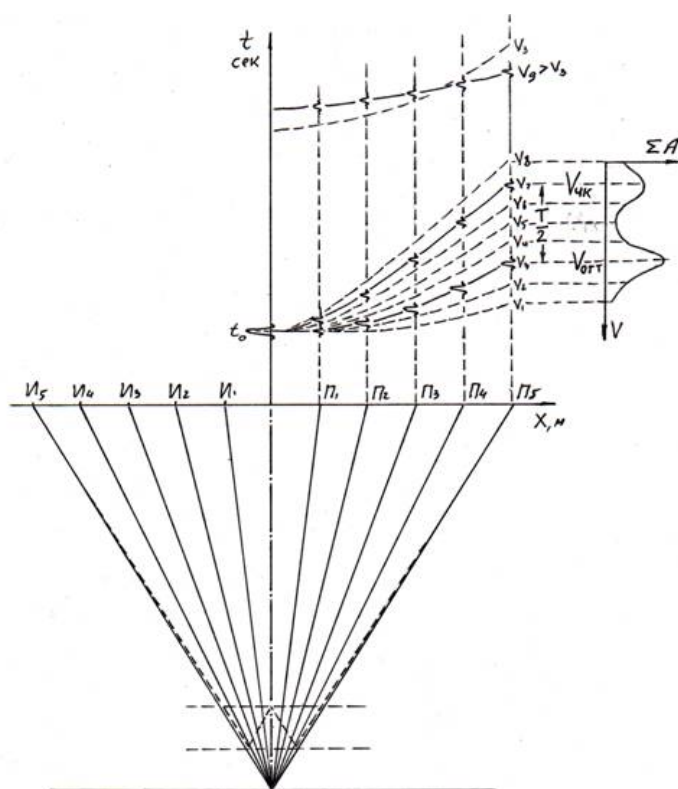


Рис. IV.1. Система наблюдений и процедура обработки по МОГТ

В начале 1960-х гг. была предложена более дорогая система многократного прослеживания отражающих границ, которая преодолевала описанные выше трудности. Эта система была названа методом общей глубинной точки (МОГТ). Для многократной регистрации отражений от каждой отражающей точки на каждой отражающей границе, на дневной поверхности располагались N пар источников и приемников симметрично относительно проекции общей отражающей точки на дневную поверхность (рис. IV.1). Число N названо кратностью прослеживания. Сигнал от каждого источника принимает только симметричный ему

сейсмоприемник. Поскольку таких отражающих точек много, сигнал от каждого из часто расположенных источников принимают одновременно многие приемники (метод общего пункта взрыва – ОПВ). Этот первичный материал называется «ряды». Затем при обработке отбирают нужные трассы приема, из которых складывается необходимая для метода ОГТ система наблюдений. В результате при наблюдениях по МОГТ оказывается во много раз больше источников, чем при наблюдениях по системе ОПВ, и условия создания упругих колебаний осредняются.

Показанная на рис. IV.1 система наблюдений позволяет получить отражения приблизительно от одной точки, только если отражающая граница имеет наклон не более 5° . Если же граница наклонена сильнее, то отражение расфокусируется, происходит от нескольких точек (рис. IV.2), и многократного отражения от одной точки не происходит. В этом случае необходимо подбирать несимметричное расположение приемников и источников из существующих наблюдений (рядов), чтобы отражение происходило в одной точке.

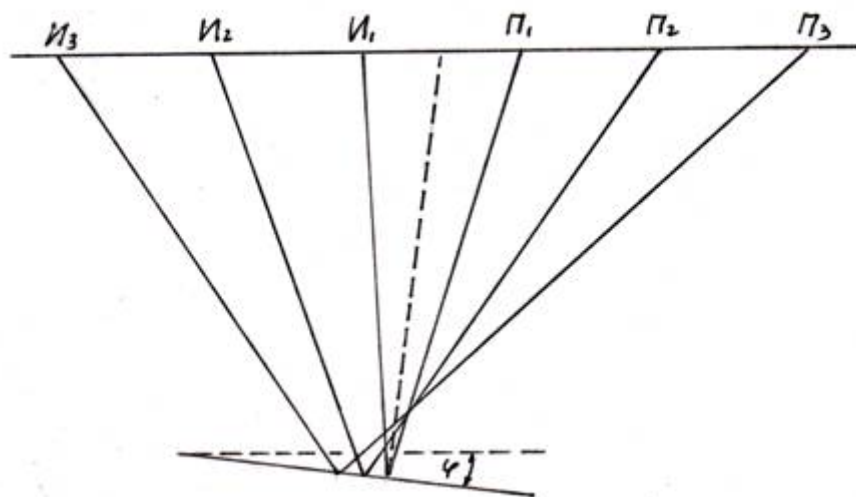


Рис. IV.2. Расфокусировка отражений от наклонной границы

Зависимость времени прихода отражения от одной общей для всех источников и приемников точки на границе от расстояния между источником и соответствующим ему приемником называют

$$t = \frac{1}{v} \sqrt{4h^2 + x^2} \cos \varphi$$

годографом ОГТ. Он описывается выражением

Рассмотрим обработку данных, полученных по МОГТ. Сначала сканированием определяют приблизительную зависимость $V_{\text{скан}}(t)$ скорости от глубины (см. [практическое занятие № 5](#)). Затем для некоторого времени t_{01} строится серия теоретических годографов с минимумом в точке t_{01} для скоростей $V_1, V_2, \dots, V_{\text{скан}}(t_{01}), \dots, V_n$ через интервал ∇V (рис. IV. 1), который может быть равен например точности определения скорости в сейсморазведке. Такие серии годографов строятся для серии t_{0n} через интервал ∇t_0 , в несколько раз меньший периода колебаний. Вдоль каждого из серий теоретических годографов складываются все зарегистрированные сигналы. Суммарный сигнал окажется максимальным при суммировании вдоль теоретического годографа, совпавшего с реальным зарегистрированным годографом (построенным для скорости V_3 на рис. IV.5). Этот максимум виден на кривой в правой части этого рисунка, а V_3 считается истинной скоростью, построенной по МОГТ: $V_3 = V_{\text{ист}}$. Такое определение точнее, чем приближенное значение скорости, полученное методом сканирования.

Однако при суммировании всех сигналов вдоль всех теоретических годографов может быть получен еще один, несколько меньший максимум для меньшей скорости (на рис. IV.1 скорость $V_7 < V_{\text{ист}}$). Такой максимум суммирования будет получен, если с тем же минимумом годографа t_0 зарегистрирован еще один годограф отраженной волны, которая испытала три или более отражений (на рис. IV.1 лучи такой волны изображены пунктиром) на границах пласта или пачки пластов, залегающих выше по разрезу, чем граница, от которой получено однократное отражение. Такая волна называется **частично-кратно отраженной**. Она имеет меньшую амплитуду, чем однократно отраженная волна. Поскольку она

отражается от границ пород, расположенных выше границы, от которой произошло однократное отражение, то скорость в ней ниже: $V_{чк} < V_{озм}$.

После получения величины $V_{озм}$ сигналы сейсмической записи суммируются вдоль годографа однократно отраженной волны, имеющей скорость $V_{озм}$. При суммировании для других t_{0n} разрушаются все годографы, кроме годографов однократно отраженных волн, в том числе годографы Релевской волны-помехи и частично-кратной волны. Для того, чтобы уменьшить амплитуду частично-кратной волны, необходимо, чтобы разница между максимальными временами регистрации однократной и частично-

кратной волн для точек с максимальными расстояниями источник – приемник было бы не меньше $t_{\max чк} - t_{\max однокр} \geq \frac{T}{2}$. Это достигается выбором длины годографов, т.е. максимального расстояния между приемником и источником в системе наблюдений по МОГТ.

В результате всех перечисленных процедур обработки получен один импульс ОВ для вертикального времени t_0 , для одной отражающей точки на одной отражающей границе. Амплитуда этого импульса, полученная в результате суммирования всех импульсов годографа однократного отражения от одной общей точки, становится больше. Затем вся процедура обработки повторяется для всех t_{0n} и соответствующих им $V_{скан}(t_{0n})$, и будут получены все суммарные импульсы однократных отражений данной трассы от всех границ и построена $V_{озм}(t)$ для этой трассы. Аналогично будут построены все точки отражений для всех трасс профиля и по ним проведены все отражающие границы, т.е. будет построен временной разрез, где **вместо глубины откладывается вертикальное время t_0 движения волны по нормали к отражающей границе от источника до точки отражения и обратно до приемника.**

Через все максимумы кривых $\Sigma A(V)$, одна из которых видна справа на рис. IV.1, для разных глубин строится зависимость скорости от глубины $V_{озм}(t)$. Максимумы для частично-кратных волн расположатся слева максимумов для однократных ОВ, так как скорости $V_{чк}$ меньше $V_{озм}$.

После обработки сейсмических данных по МОГТ получают следующие результаты:

- строится временной разрез;
- устраняются частично-кратные волны-помехи;
- строится скоростной разрез $V(H, x)$, где $H = \frac{1}{2} t_0 V_{озм}$;
- увеличивается амплитуда ОВ.

Удаление частично-кратных волн позволяет увидеть на разрезе локальные осадочные тела, выклинивания пластов, речные или турбидитные врезы, **разрывные** тектонические нарушения, смену слоистости в латеральном направлении и другие изменения строения пачек пластов. По данным о $V_{озм}$ до отражающих точек на кровле и подошве одного пласта можно построить изменения его пластовых скоростей в латеральном направлении и по ним обнаружить, если позволит точность вычисления $V_{озм}$, латеральные изменения литологии пласта, в том числе выделить участки коллектора, на которых изменяется состав флюидов, насыщающих коллектор, т.е. прогнозировать залежь.

Применение большого количества источников и приемников позволяет решить проблему изменчивости условий создания и условий приема упругих колебаний. Одновременно облегчается выполнение исследований в 3-мерном пространстве и избавление от Релевских низкочастотных волн-помех. Увеличение интенсивности отражения позволяет проследить отражающие границы с малым перепадом акустических жесткостей. В качестве источников упругих колебаний применяются легко подвижные вибраторы. Кратность прослеживания, в зависимости от сложности разреза и интенсивности ОВ, достигает многих десятков.

ТЕМА V. СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ИХ СПЕКТРЫ. ДЕКОНВОЛЮЦИЯ

Сейсморазведка – самый дорогой и сложный, но и наиболее результативный из методов геофизики, позволяющий получить самые детальные и разнообразные количественные сведения о разрезе. Для этого необходимо изучить, что происходит с сейсмической волной, когда она встречает на своем пути плоские или криволинейные границы между геологическими породами, трещиноватые зоны, участки пористых пород, выклинивания пластов и другие особенности разреза. Эти знания можно использовать, чтобы изобразить форму и расположение этих элементов разреза. В настоящее время техника и методика наблюдений позволяет не только изучать геологическое строение, но и расшифровывать историю и условия накопления и преобразования осадков; прогнозировать и обнаруживать коллекторы, флюидоупоры и нефтематеринские пласты; оценивать условия созревания углеводородов, обнаруживать возможные пути их [миграции](#) и, наконец, обнаруживать перспективные ловушки и иногда даже признаки залежей углеводородов. Но для этого, разумеется, необходимо использовать знания геологии нефти и газа, седиментологии и пр.

Рассмотрим процесс возникновения упругих колебаний, вызванный взрывом. В момент взрыва в течение очень малого времени в породах возникает громадное давление (нагрузка), разрушающее их в ближайшем к взрыву зоне. Более дальняя от взрыва зона испытывает пластические деформации, а еще дальше от него происходит упругая деформация пород, происходящая в пределах закона Гука, когда частицы породы вовлекаются в колебательное движение, передаваемые от частицы к частице во все стороны все дальше и дальше от точки взрыва. Изобразим нагрузку от взрыва в породе (рис. V.2, б). Изменение нагрузки во времени, вызванной взрывом, близко к δ -функции, импульсу Дирака или единичной функции:

$$A(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = t_1 \\ 0 & \text{при } t \neq t_1 \end{cases}$$

Почему взрыв, воздействие которого близко к единичной функции, привел к колебательному движению частиц? Рассмотрим механическую модель (рис. V.1), состоящую из подвешенной на пружинах массивной плиты 1 с подвешенными к ней на пружинах грузиками 2, 3, 4, 5 различной массы. Ударим по плите. Такой удар по кратковременности подобен взрыву или единичной функции. Грузики начнут колебаться с различной частотой. Такая модель показывает, что единичная функция содержит в себе синусоидальные колебания различной частоты. И наоборот: если мы сумеем раскачать каждый грузик с такой же частотой и фазой, то, сложившись, эти колебания грузиков воздействуют на плиту 1 подобно удару.

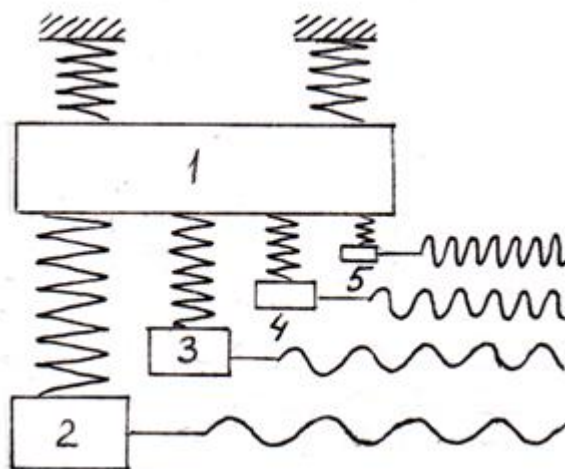


Рис. V.1. Модель, иллюстрирующая спектр единичной функции

Для вычисления частот и амплитуд этих синусоид применяется математическая операция, названная преобразованием Фурье.

Преобразование Фурье позволяет явление, описанное во временном пространстве функцией $A(t)$, изобразить в частотном пространстве функцией $A(f)$. Такое преобразование называется анализом:

$$A(f) = \int_0^{\infty} A(t) dt.$$

Обратное преобразование называется синтезом: $A(t) = \int_0^{\infty} A(f) df$

Выполним Фурье-анализ для единичной функции $A(t)$. Полученная функция $A(f)$ называется ее спектром (рис. V.2, б).

Спектр $A(f)$ – это перечисление амплитуд, фаз и частот синусоид, ко-торые надо сложить, чтобы получить функцию $A(t)$.

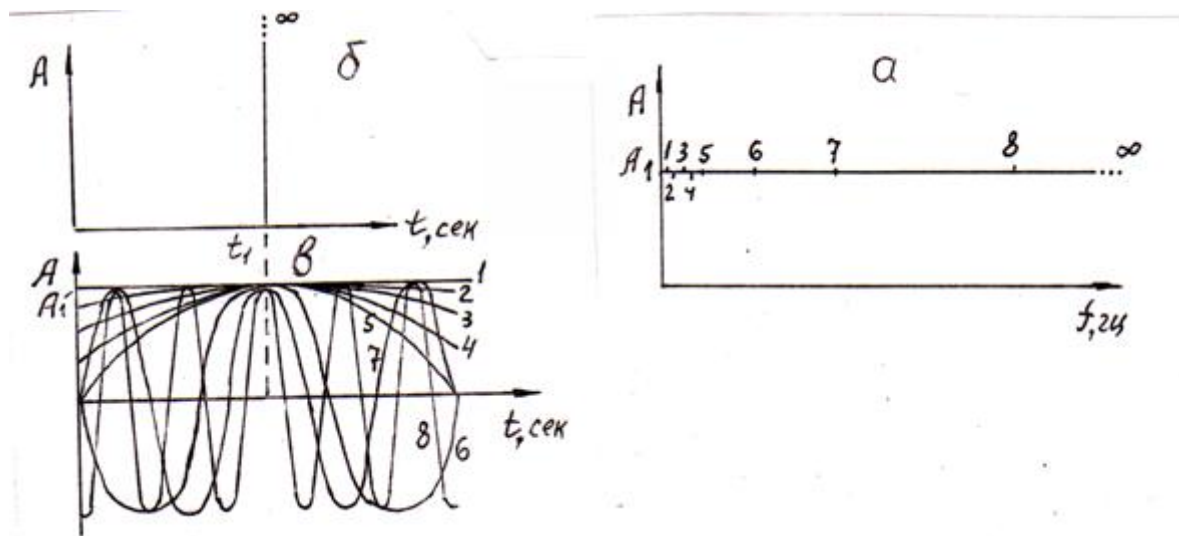


Рис. V.2. Единичная функция (а), ее спектр (б) и суммирование синусоид этого спектра

Спектр единичной функции представляет собой прямую линию, параллельную оси частот f (рис. V.2, б). Это означает, что для получения единичной функции необходимо сложить бесконечное количество синусоид всех частот от 0 до ∞ с одинаковыми амплитудами так, чтобы в момент $t = t_1$ максимумы всех синусоид совпали (рис. V.2, в). Здесь и на спектре показаны лишь некоторые из таких синусоид – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Спектр можно записать в комплексной форме: $\bar{A}(f) = |A(f)| \cdot e^{i\varphi(f)}$, где $A(f)$ и $\varphi(f)$ – амплитудный и фазовый спектры. Фазовый спектр $\varphi(f)$ показывает, в какой фазе необходимо сложить синусоиды, чтобы в сумме получить функцию $A(t)$.

Если синусы складываются в фазе, как у единичной функции, то такая функция $A(t)$ называется 0-фазовая и она имеет ось симметрии на некотором времени t_1 . Отметим, что единичная функция имеет длину вдоль оси t равную 1, а спектр ее имеет бесконечную длину вдоль оси f . Спектр $A(f)$ бесконечно длинной вдоль оси t синусоиды (рис. V.3, а) имеет нулевую длину, так как он представляет

собой одну точку, соответствующей частоте $f = \frac{1}{T}$ и амплитуде a (рис. V.3, б).

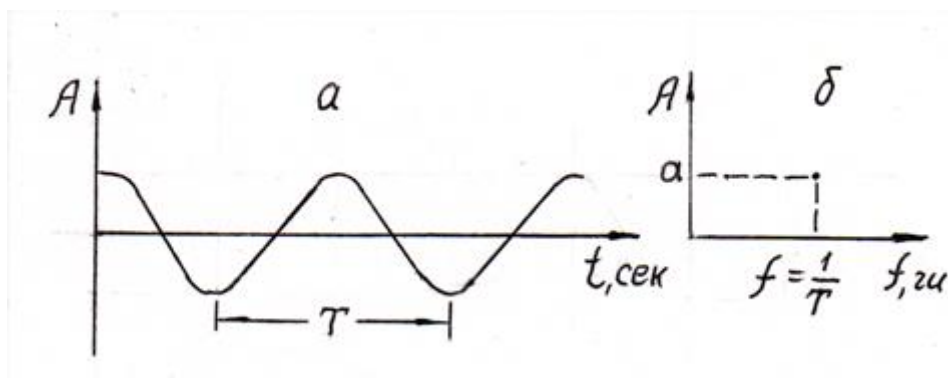


Рис. V.3. Синусоида (а) и ее спектр (б)

Чем длиннее функция $A(t)$, тем короче ее спектр – функция $A(f)$, и наоборот.

Фурье-преобразование можно выполнить для любой непрерывной функции $A(t)$, в том числе для функции, описывающей траекторию колебания частицы породы, вовлеченной в это колебание сейсмической волной. Эта функция называется импульсом сейсмической волны. Импульс прямой волны вблизи взрыва близок по форме к 0-фазовому импульсу 2 (рис. V.4).

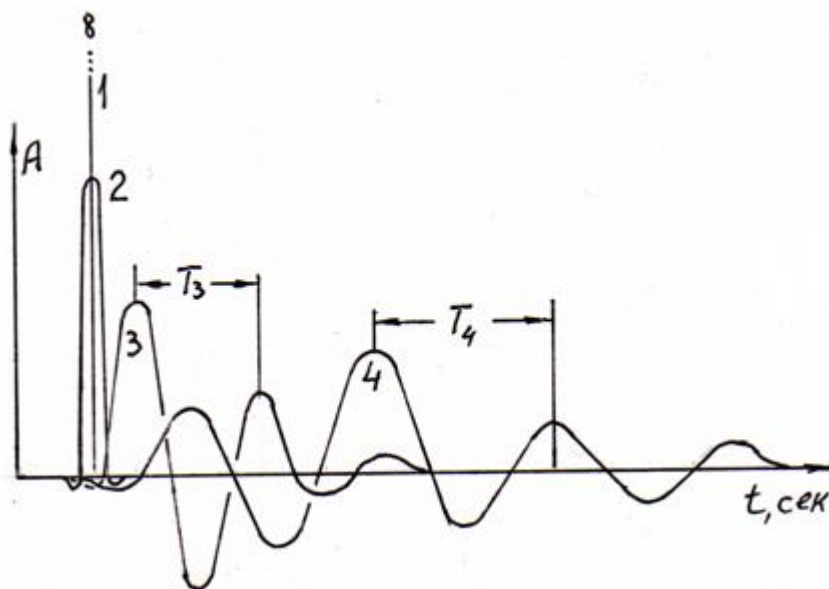


Рис. V.4. Импульсы

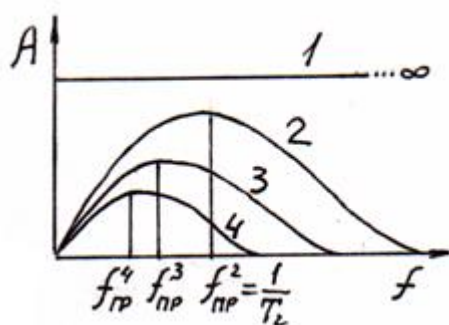


Рис. V.5. Спектры

Его спектр 2 изображен на рис. V.5. Для сравнения здесь же изображены: единичный импульс 1 и его спектр 1, близкие к импульсу, существующему недалеко от взрыва.

Разница между спектром 1 единичной функции 1 и спектром 2 0-фазового импульса 2, который близок к форме импульса прямой волны, характеризует потери энергии на разрушение и деформацию породы взрывом и ее потери при прохождении волны по породам от источника до ближайшего приемника. Здесь видно, что самые высокие частоты совсем затухают при распространении сейсмической волны в породах разреза. Импульс 3, характерный для отраженной волны, имеет большую длину, чем 0-фазовый импульс 2 и более узкий спектр 3. Отраженная волна прошла значительно больший путь по породам разреза, чем прошла по ним прямая волна от источника до приемника. Из сравнения спектров 2 и 3 видно, что с ростом пути упругой волны по породам разреза сильнее всего затухают более высокочастотные составляющие спектра, так как вовлеченные в колебания частицы большее число раз испытывают трение о соседние частицы в единицу времени или на пути в единицу пути.

Импульс 4, характерный для головной волны, например, от кровли фундамента, проделал еще больший путь по породам разреза. Поэтому длина его импульса еще больше, чем у импульса отраженной волны. Период колебаний T_4 импульса головной волны также больше периода T_3 отраженной волны. Поэтому уменьшается и преимущественная частота спектра головной волны: $f_{np4} < f_{np3}$.

Итак, чем больший путь по породам разреза прошла волна, тем длиннее ее импульс, больше период и уже спектр главным образом за счет затухания наиболее высоких частот.

Каждая составляющая (синусоида) спектра сейсмического импульса затухает, проходя через разрез, независимо от других составляющих. В геологическом разрезе есть пласты, от которых могут отражаться только отдельные группы составляющих спектра, а остальные проходят через пласт, не

отражаясь от них. Наиболее толстые ($h > \frac{\lambda_{np}}{4}$) пласты отражают весь спектр; пласты толщиной ($h < \frac{\lambda_{np}}{4}$) отражают преимущественно те более высокочастотные составляющие спектра, для которых выполняется

соотношение $h > \frac{\lambda_{от}}{4}$. Поэтому, изучая спектр каждого отражения, можно судить о толщине слоя, от

которого произошло отражение (подробнее см. [тему XIII](#)). Здесь h – толщина пласта; $\lambda_{np} = \frac{V}{f_{np}}$ –

длина волны; V – скорость в породе; $\lambda_{от}$ – длина волны, отраженной от тонкого пласта с $h < \frac{\lambda_{np}}{4}$ и имеющей спектр, соответствующий высокочастотной части спектра падающей волны.

Мы видели, что значительная часть составляющих спектра единичного импульса (подобного взрыву) и, следовательно, значительная часть его энергии теряется на разрушение пород взрывом, а также в процессе распространения упругой волны в породах. Энергия источника упругих колебаний терялась бы меньше, если создать источник, мало разрушающий породу и излучающий сигнал со спектром, близким к спектру отраженной волны. Энергия такого источника не затрачивалась бы на создание тех составляющих спектра, которые все равно затухали бы при распространении в породах разреза. Этого удалось добиться созданием механического вибратора. Он снабжен массивной плитой, которая прижимается к земле давлением в гидравлических цилиндрах. Давление масла в этих цилиндрах меняется по заранее заданному закону, что позволяет выбрать нужный спектр упругих колебаний. Разрушение и пластическая деформация грунта при этом оказывается значительно меньшей, чем при взрыве.

Колебание плиты передается почве, и в ней распространяется импульс длительностью в несколько десятков секунд. За это время частота колебаний плиты растет от 10-20 гц до 60-100 гц и более (рис. V.6), что близко к колоколообразному спектру импульса отраженной волны.

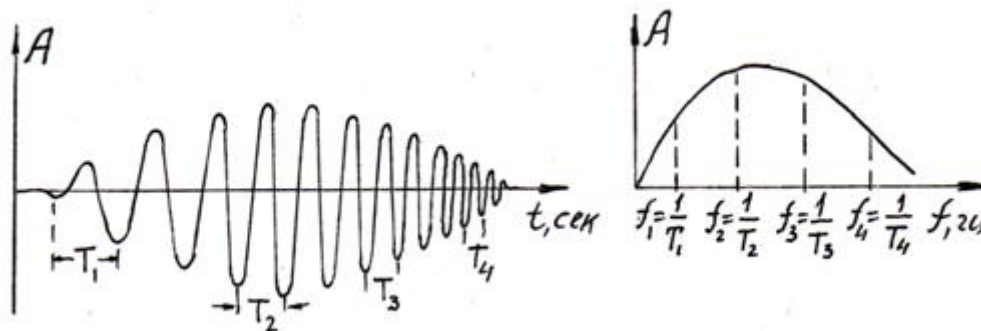


Рис. V.6. Свип-сигнал и его спектр

Большая часть энергии вибратора расходуется на создание полезной волны. Однако энергия волн, полученных от одного импульса вибратора, значительно меньше, чем энергия волн, создаваемых взрывом. Чтобы восполнить недостаток энергии колебаний, вибратор излучает десятки протяженных импульсов (свип-сигналов) на одном пикете с промежутком времени между ними, необходимым для записи всех интересующих нас отражений. Затем все записи складываются, и при этом энергия отраженных волн накапливается.

Недостатком импульса вибратора является его большая длина, на порядки превышающая интервал времени между приходом отражений от соседних отражающих границ разреза. Это означает, что сейсмоприемник начнет записывать первый из длинных отраженных импульсов и через небольшой интервал времени к нему поступит второй такой же длинный отраженный импульс, затем третий, четвертый и т.д. Все эти сигналы будут складываться, и за все это время не закончится запись даже первого отраженного импульса. Сигнал, который запишет сейсмо-приемник, представляет собой сумму большого количества длинных импульсов (свип-сигналов), отраженных от многих границ на разных глубинах и поэтому смещенных на десятые или сотые доли от их длины (рис. V.7). Поэтому можно увидеть время прихода только первой, обычно прямой волны. Для изучения разреза необходимо определить точное время прихода к сейсмоприемнику каждого из импульсов, отраженных от каждой из отражающих границ разреза.

Решение этой задачи облегчается тем, что мы точно знаем форму импульса, так как сами ее задали. Для решения этой задачи вычисляется функция взаимной корреляции (ФВК) между известным импульсом, созданным вибратором, и полевой записью сейсмоприемника. Последняя состоит из суммы нескольких подобных по форме импульсов, но сдвинутых друг относительно друга во времени и изменивших спектр и амплитуду при прохождении по породам. Вычисление ФВК выполняет коррелятор сейсмостанции. Полученная **корреллограмма показывает степень сходства сейсмической записи с исходным импульсом. Максимумы ФВК соответствуют моментам прихода отраженных импульсов.** Форма ФВК подобна форме 0-фазового импульса 2 показанного на рис. V.5, и близка к форме записи импульса прямой волны, сделанной ближайшим к взрыву сейсмоприемником. Такое преобразование называется деконволюцией, или обратной фильтрацией: длинный импульс как бы проходит обратно через породы разреза, восстанавливая свой первоначальный спектр и форму – такую, какая была у импульса, распространявшегося от источника.

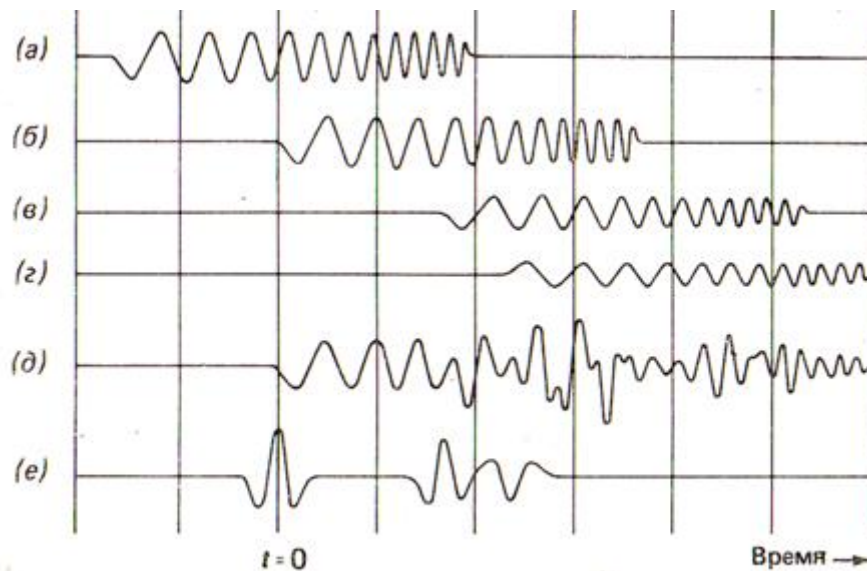


Рис. V.7. Взаимная корреляция сейсмограммы δ с исходным сигналом a , позволяющая определить времена вступления отраженных волн b , v , $г$;
 e – кореллограмма, полученная в результате корреляции полевой записи (δ) с исходным сигналом a (по [П. Кири \(8\)](#))

Кореллограмма, состоящая из ряда 0-фазовых импульсов ФВК, позволяет отдельно проследить времена прихода к сейсмоприемнику всех ОВ.

В случае если упругие волны создаются с помощью взрыва, импульс ОВ после прохождения длинного пути по породам разреза становится также довольно длинным (рис. V.4, импульс 3). Он значительно длиннее, чем интервал между временами прихода ОВ от соседних отражающих границ. Поэтому и в этом случае импульсы ОВ накладываются друг на друга, препятствуя их отдельному прослеживанию и определению времени прихода каждого отражения. Однако в этом случае вычислить ФВК трудно, так как не известна точная форма первоначального импульса, зависящая от свойств пород, в которой произошел взрыв. Поэтому применяется другой способ деконволюции или обратной фильтрации, а именно преобразование спектра импульса ОВ, противоположное изменению (фильтрации) формы исходного импульса в породах разреза. Она осуществляется с помощью математической процедуры свертки зарегистрированного импульса ОВ $A_1(t)$ с оператором обратной фильтрации $A_2(t)$. В результате свертки восстанавливается 0-фазовая форма импульса упругой волны, распространяющегося от точки взрыва (импульс 2 на рис. V 4).

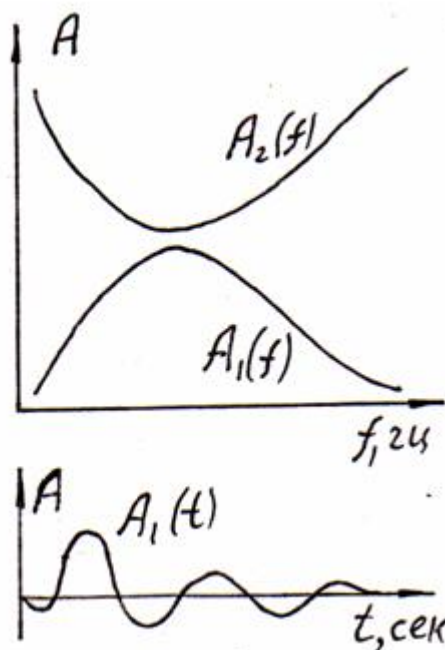


Рис. V.8. Сейсмический импульс $A_1(t)$, его спектр $A_1(f)$ и спектр оператора обратной фильтрации $A_2(f)$

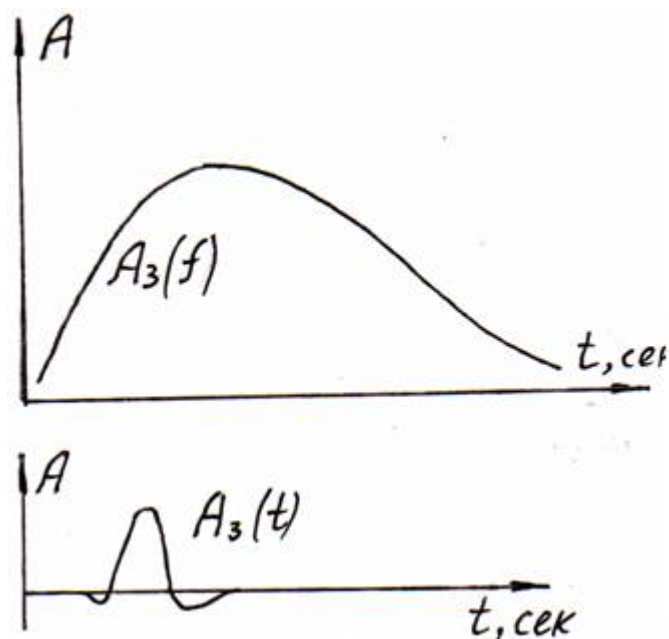


Рис. V.9. Минимально-фазовый импульс $A_3(t)$ и его спектр $A_3(f)$

Свертка $A_1(t)$ с оператором $A_2(t)$ тождественна перемножению спектров импульса $A_1(f)$ и спектра оператора обратной фильтрации $A_2(f)$. Последний подбирается таким образом, чтобы после перемножения был получен импульс со спектром, приближающимся к спектру 0-фазового импульса. В результате погрешностей в определении формы импульса, создаваемого взрывом, после свертки получаем не 0-фазовый симметричный импульс, а близкий к нему минимально-фазовый импульс $A_3(t)$, имеющий спектр $A_3(f)$, показанный на рис. V.9.

Для получения сведений о форме импульса, созданного взрывом, используется предсказывающая деконволюция, которая заключается в осреднении и упрощении исходного импульса и вычислении частотной (импульсной) характеристики разреза. Частотная характеристика разреза определяет

изменение формы исходного импульса сейсмической волны и его спектра при движении итог импульса по породам разреза.

Предсказывающая деконволюция осуществляется в процессе вычисления ФВК между записями различных каналов. На этих записях отыскиваются подобные импульсы, осредняется их форма и сравнивается спектр импульса сформировавшегося вблизи взрыва, со спектром осредненного импульса ОВ. Разница их спектров определяется частотной (импульсной) характеристикой разреза, т.е. оценивается характеристика разреза как частотного фильтра. По ней и вычисляется оператор обратной фильтрации.

В осреднении импульса, распространяющегося от источника, нет необходимости при морских работах или при наличии вертикального сейсмического профилирования, ([см. IX.4](#)) когда форму исходного импульса удастся точно зарегистрировать.

Предсказывающая деконволюция позволяет избавиться от многократных отражений, например от контрастных границ водного слоя (реверберация) при морских сейсмических исследованиях. С помощью ФВК изучаются формы исходного импульса и импульсов одно- и многократных отражений от дна и от поверхности моря. Отношения скоростей по обе стороны от этих границ различны: скорость в воде меньше, чем в породах дна, но больше, чем в воздухе. При отражении от границ, ниже которых падает акустическая жесткость, фаза ОВ противоположна фазе падающей волны, как показано на рис. V.10.



Рис. V.10. Смена фазы отраженной волны по сравнению с фазой падающей волны

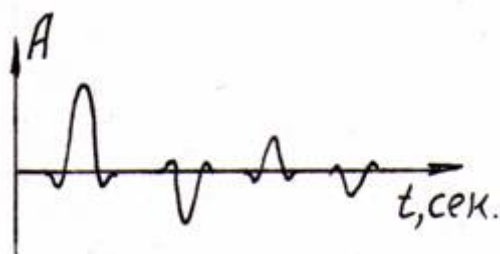


Рис. V.11. Смена полярностей кратных отражений от границ водного слоя

Исходный импульс (или импульс прямой волны) и импульс отражения от морского дна имеют одинаковую фазу, а фаза кратных отражений от границ водного слоя поочередно меняется (рис. V.11).

Точные сведения о глубине моря и скорости в воде позволяют предсказать интервалы времени между импульсами ОВ, а форму исходного импульса зарегистрировать в однородной во всех точках воде не составляет проблемы. Все это позволяет подавить интенсивные многократные отражения от границ водного слоя и во временном интервале их прихода проследить значительно более слабые отражения от границ разреза.

ТЕМА VI. ПОМЕХИ И БОРЬБА С НИМИ

Сейсмическая запись выполняется с помощью высокочувствительных сейсмоприемников, рассчитанных на запись различных, вплоть до очень слабых, колебаний и регистрирующих даже колебания с амплитудой в десятки ангстрем ($1 \text{ ангстрем} = 10^{-7} \text{ м}$). Поэтому сейсмо-приемник способен зарегистрировать даже колебания, вызванные слабым дуновением ветра, падением мельчайших капель дождя или далеко движущимся транспортом и т.д. Все эти колебания называются микросейсмами. Кроме того, имеется много помех другой природы.

Помехи могут быть:

1. непредсказуемыми:

1.1. не повторяющимися от взрыва к взрыву (ветер, дождь, проходящий транспорт, и пр.,

1.2. повторяющимися, например, помехи возникающие при рассеянии упругих волн на неоднородностях;

2. предсказуемыми:

2.1. горизонтально распространяющимися:

2.1.1. волна Релея – главная, часто встречающаяся и самая интенсивная помеха,

2.1.2. отраженные и отраженно-преломленные волны от приповерхностных структур (тектонических зон, палеорусел и пр.),

2.1.3. звук от работающих вибраторов;

2.2. приходящие снизу – например, головные волны от подошвы ЗМС; дифрагированные волны от контрастных неоднородностей разреза.

Часть помех может нести полезную информацию, и тогда мешающие друг другу волны разделяют, изучают и используют. Полезными для вычисления статической поправки бывают головные волны от подошвы ЗМС. Дифрагированные волны позволяют построить форму дифрагирующих объектов.

Основная помеха, поверхностная волна Релея, возникает как при взрывах в скважине, так и при работе вибратора. Волна Релея обладает следующими особенностями:

- амплитуда волны Релея больше, чем амплитуда ОБ и с удалением от источника уменьшается медленнее, чем амплитуда ОБ, так как она распространяется в ЗМС, в двухмерном пространстве;
- энергия волны Релея уменьшается в десять раз уже на глубине, равной длине волны Релея;
- волна Релея является суперпозицией поперечной и более слабой продольной волн;
- скорость волны Релея меньше скорости поперечной волны: $V_R = (0,87 \div 0,95) V_S$;
- кроме основной волны Релея на записи наблюдается серия мод этой волны с различными кажущимися скоростями и частотами меньшими, чем у основной волны. Они образуются в результате многократных отражений от кровли и подошвы ЗМС. Из-за высокой интенсивности и низкой скорости волны Релея и особенно еще более низких кажущихся скоростей мод этой волны они расположены на записи веерообразно и препятствуют прослеживанию полезных ОБ в значительном временном интервале сейсмической записи.

Для борьбы с этими низкоскоротными низкочастотными помехами существует несколько способов:

- фильтрация использует то, что частоты волны Релея и ее мод гораздо ниже, чем частоты ОБ. Фильтр высоких частот не пропускает волны Релея и ее моды и практически уничтожает их на сейсмической записи, но пропускает без ослабления ОБ ([см. практическое занятие № 4](#)). Фильтрация, многократно уменьшая амплитуду волны Релея, способствует полному ее уничтожению при суммировании по МОГТ;
- группирование приемников или, что то же самое, нескольких источников, или сигналов нескольких трасс. При этом используется разница в направлениях распространения ОБ и волны Релея (рис. VI.1).

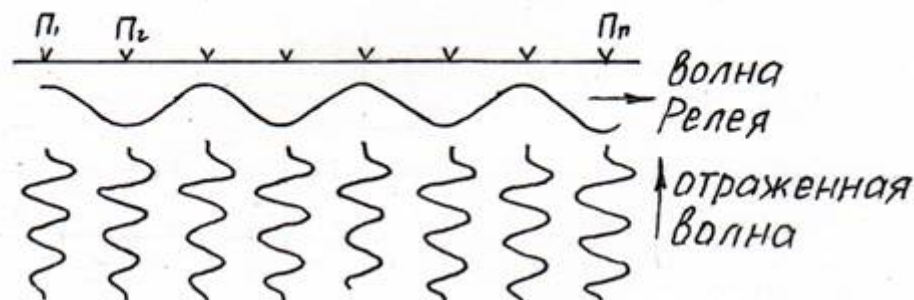


Рис. VI.1. Схема подавления волны Релея и увеличения амплитуды ОВ при группировании сейсмоприемников

Для группирования необходимо, чтобы приемники группы располагались над несколькими максимумами и над таким же количеством минимумов волны Релея, распространяющейся вдоль линии приемников. ОВ

при этом приходит снизу по вертикали к линии приемников, а сигнал от нее приходит в фазе к каждому из приемников. Таким образом сигнал от ОВ складывается, увеличивая ее амплитуду. Сигнал от Релеевской волны приходит к приемникам в противофазах и, складываясь, уничтожается. Различное затухание упругих волн в ЗМС против каждого из приемников вызывает различные величины максимумов и минимумов волны Релея, записанные этими приемниками. Поэтому при суммировании волна Релея совсем не уничтожается, а только многократно уменьшает свою амплитуду.

Для выбора расстояний между сейсмоприемниками и их количества в группе необходимо знать частоты и скорости всех помех и полезных волн.

При суммировании по МОГТ нет необходимости применять группирование для подавления волн Релея так как фильтрация ослабляет ее, а это суммирование уничтожает и волну Релея и все остальные волны-помехи.

Для уменьшения уровня случайных помех (непредсказуемых – дождь, ветер и пр.) применяют статистическую группу из n близко расположенных сейсмоприемников, уменьшающих уровень таких шумов

в $\sqrt{n}$ раз. Такая группа не обладает избирательной способностью записи волн в зависимости от их скоростей и частот.

ТЕМА VII. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ В ПОРОДАХ

Особенности распространения упругих колебаний в породах разреза зависят от их акустической жесткости, равной произведению плотности на скорость σV . Амплитуда ОВ зависит от перепада акустической жесткости на границе. Величины скорости и плотности определяются возрастом, литологией, пористостью, условиями осадконакопления, последующими преобразованиями пород и др. Знать геологические причины, влияющие на скорость и плотность – значит понимать, какие геологические задачи можно решать с помощью сейсморазведки или какие геологические объекты удастся обнаружить. Геологические причины, влияющие на скорость и плотность, могут быть связаны друг с другом и поэтому их разделение иногда оказывается условным.

VII.1. Литология и пористость. Упругая волна распространяется по минералам скелета и флюидам, заполняющим поры. В терригенных породах скелет состоит из обломков различных минералов. Скорости в наиболее распространенных (породообразующих) минералах различаются не более чем на 20%, и поэтому они мало зависят от литологического состава терригенных пород. В карбонатных породах минеральный скелет состоит главным образом из кальцита и доломита, иногда с примесью глин. Время прохождения единицы пути $1/V$ складывается из времени прохождения через флюиды со скоростью V_{ϕ} , доля

пути которого в породе равна коэффициенту пористости K_n , а на долю минерального скелета остается путь

$$\frac{1}{v} = \frac{K_n}{v_\phi} + \frac{1-K_n}{v_m}$$

$1-K_n$, который волна проходит со скоростью V_m :

Скорости в терригенных и карбонатных породах, эвапоритах, кристаллических и метаморфических породах, в нефти, газе, воде и в придонных илах показаны на рис. VII.1. Здесь же видна связь скорости с пористостью.

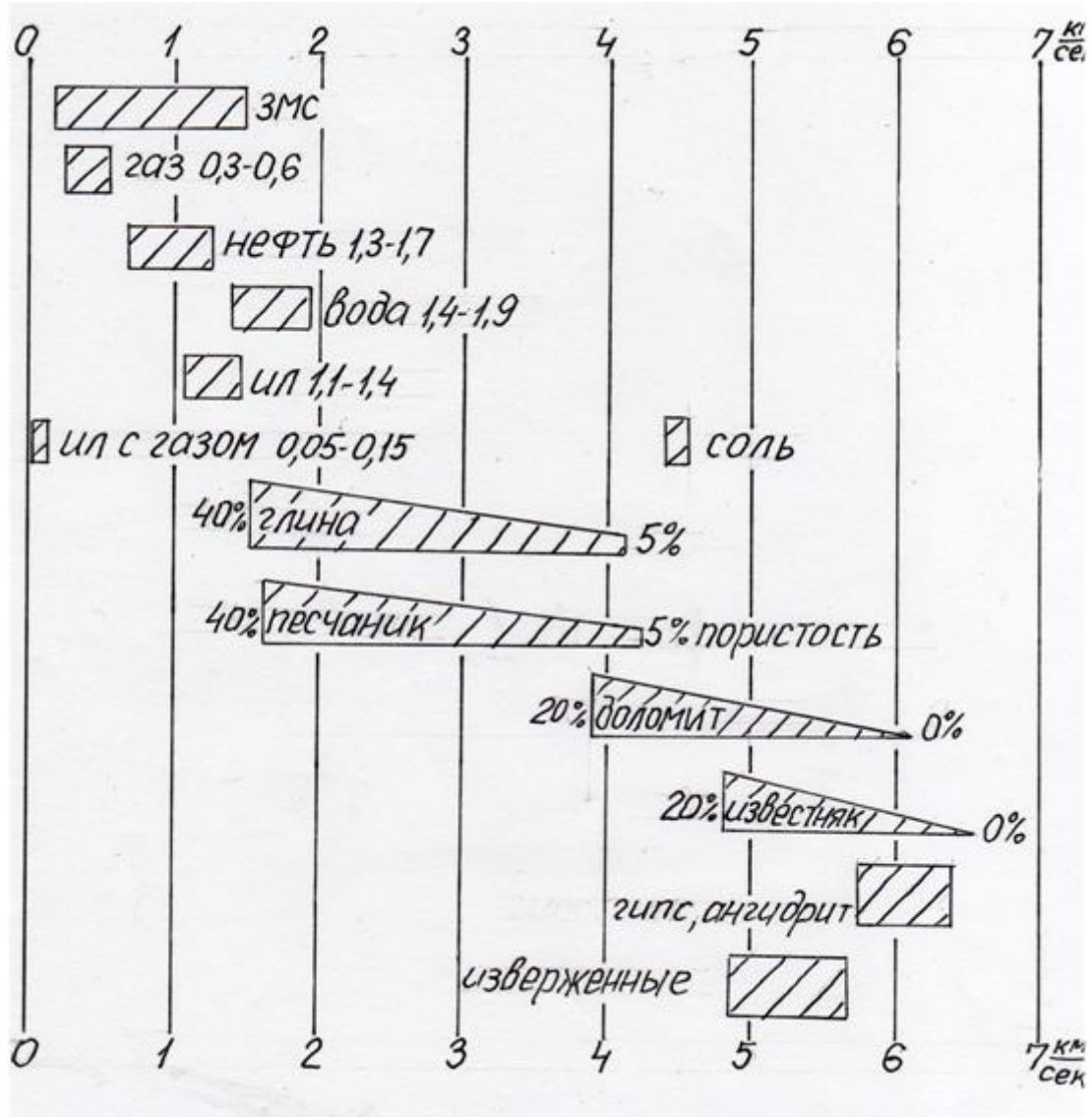


Рис. VII.1 Скорости в различных породах и флюидах

Скорости в терригенных породах зависят не только от пористости, но еще и от сцементированности; в карбонатных и метаморфических породах – от степени метаморфизма, а скорости в эвапоритах и кристаллических породах зависят главным образом от их литологического состава, так как их пористость пренебрежимо мала.

При равной пористости скорость в крупнозернистых породах выше, чем в мелкозернистых. Вторичные изменения также меняют скорость и плотность, например при [доломитизации](#) кальций частично замещается на магний. В связи с уменьшением объема доломита по сравнению с кальцитом в породе появляется кавернозная пористость, и соответственно плотность и скорость падают.

VII.2. Давление и глубина залегания пород и температура в них. С ростом глубины залегание породы увеличивается давление и улучшается упругий контакт между ее частицами, разделенными порами

или трещинами. Поэтому при увеличении глубины и давления уменьшается объем пор, растут скорость и плотность (рис. VII.2 и VII.3), а пористость падает.

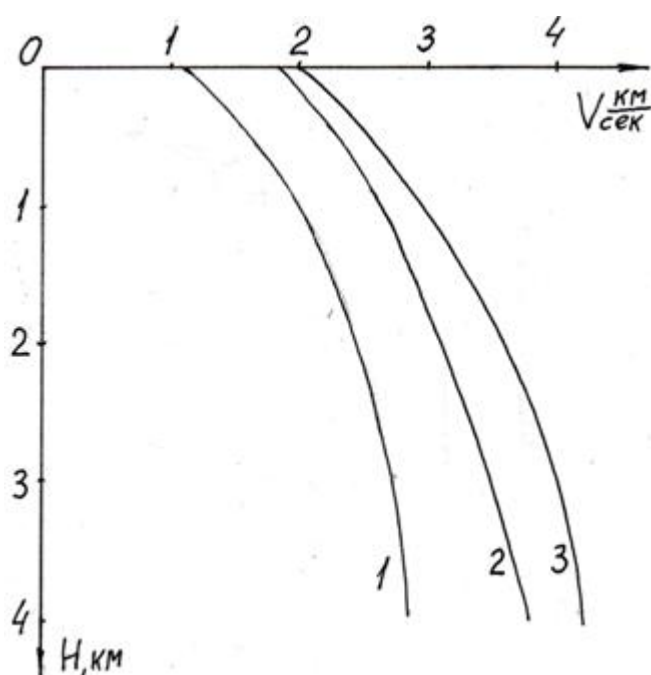


Рис.VII.2 Зависимость скорости в песчанике от глубины: 1- газонасыщенный; 2 – нефтенасыщенный; 3 – водонасыщенный.

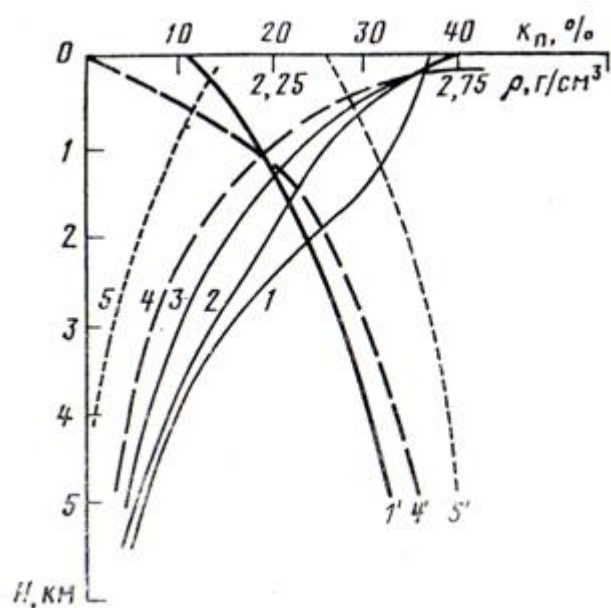


Рис. VII.3 Кривые изменения пористости R_n (1-5) и плотности ρ (1', 4', 5') осадочных пород с глубиной.

1., 1' - чистые песчаники. 2, 3 – глинные песчаники(соответственно 10-30 и 30-50% глинистого цемента); 4, 4' - глины; 5, 5' известняки

По А.Г.Авербух

VII.2.1. В трещиноватых породах с ростом давления скорость растет особенно сильно, т.к. трещины сжимаются и восстанавливается упругий контакт на всей ее площади. Уменьшается и объем пустот

в трещинах и растет плотность. Скорость в тектонической зоне дробления вблизи дневной поверхности вдвое меньше, чем в монолитных породах, а на глубине эта разница не превышает 20-25%.

Если давление направлено вдоль трещин, то они раскрываются и скорость и плотность падают. Связь давления со скоростью позволяет выявить состояние сжатия или растяжения для тектонической зоны, что влияет на ее проницаемость. Тектоническая зона в состоянии сжатия может служить экраном, а в состоянии растяжения может быть путем [миграции](#) УВ и даже коллектором, локализирующим их.

VII.2.2. В случае межзерновой пористости упругий контакт улучшается только в точках касания зерен. При этом скорость и плотность с ростом давления меняется меньше, чем в трещиноватых породах. Скорость в породах с межзерновой пористостью при увеличении давления может увеличиваться на 20-25% с одновременным увеличением плотности.

VII.2.3. Пористость и упругие контакты кавернозных пород практически не меняются при изменении давления, поэтому не меняются их скорость и плотность.

VII.2.4. В малопористых магматических и метаморфических породах скорость и плотность с ростом давления также очень мало меняются, а в пластичных солях и вовсе практически не меняются.

VII.2.5. Трещиноватость создает анизотропию: скорость вдоль трещин выше чем поперек них. Наибольшая анизотропия наблюдается в глинах, что связано с одинаковой ориентацией ее уплощенных частиц: для V_p она равна, 1,1, а для V_s – 1,5 км/сек.

VII.2.6. Давление, которое нагружает минеральный скелет породы и сжимает поры и трещины, равно разнице между давлением вышележащих пород и внутривывиховым давлением во флюидах. Если отток жидкости из пористой породы затруднен, то возникает аномально высокое поровое давление (АВПД). Сжатие частиц уменьшается и поэтому заметно уменьшается скорость в ограниченном объеме с АВПД. Это позволяет обнаруживать зоны с АВПД на сейсмических разрезах по ложному синклинальному изгибу нижележащих отражающих границ, так как луч отраженных от них волн «задерживается», проходя низкоскоростную зону с АВПД. Обнаружение такой зоны избавляет от аварии при бурении скважин.

VII.2.7. Температура растет с глубиной и снижает скорости на 5-6% на каждые 100°C. При очень высоких температурах происходит термометаморфизм и кристаллизация пород. В этих случаях скорость растет еще сильнее.

VII.3. Плотность породы растет с ростом скорости в ней. Зависимость плотности от скорости вычисляют, осредняя область размещения точек в полученных по данным сейсморазведки и гравиразведки для различных пород разреза в данном регионе. В результате получают эмпирические зависимости

например: $\sigma = 0,31V^{0,25}$ для песчаников, глин, известняков и доломитов или: $\sigma = \frac{1}{6}(V_p + 11)$. Для Татарии получена такая зависимость: $\sigma = 1,75 + 0,266 V_p - 0,015 V_p^2$. Поскольку разброс точек в осях V и σ велик, связи этих параметров приблизительны.

VII.4. С возрастом увеличивается скорость (рис. VII.4), даже если в настоящее время разновозрастные породы залегают на одинаковой глубине.

VII.4.1. Терригенные породы с возрастом цементируются, что улучшает упругий контакт между частицами породы, и поэтому скорость и плотность в них растут.

VII.4.2. Глины под давлением вышележащих пород с возрастом длительное время уплотняются, теряя сначала свободную, а при росте температуры – и связанную воду. Поэтому скорость в глинах сильно растет с ростом их возраста. Песчаники уплотняются меньше, только до 20% за счет более плотной укладки частиц, особенно если в процессе седиментации они укладывались быстро, хаотично (в условиях высокоэнергетического режима осадконакопления).

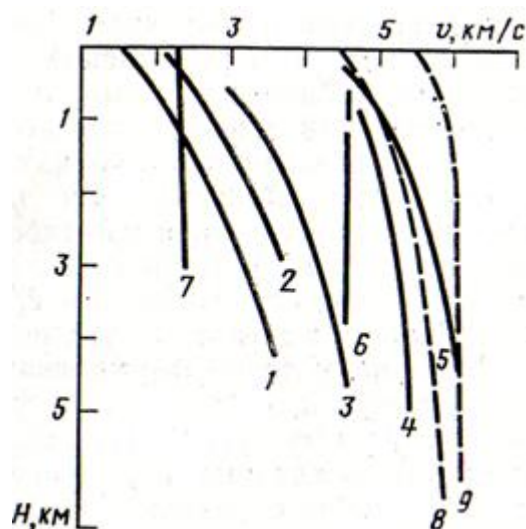


Рис. VII.4. Кривые изменения средне-пластовых значений скорости V_p с глубиной:

1, 2, 3 – терригенные породы кайнозоя, мезозоя и палеозоя; 4-5 – карбонаты мезозоя и палеозоя; 6 – соль; 7 – уголь; 8 – палеозойский фундамент; 9 – докембрийский фундамент (по: А.Г.Авербух (1))

VII.4.3. С возрастом может происходить изменение кристаллической структуры пород без изменения их химического состава, но с уменьшением пористости. По этой причине растут скорость и плотность например в карбонатных породах.

VII.4.4. Менее отсортированные быстро отложившиеся терригенные породы, заметно сильнее переупаковываются, уплотняются с возрастом, чем хорошо отсортированные породы, медленно формировавшиеся при низкоэнергетической обстановке осадконакопления.

Рост скорости и плотности с возрастом приводит к появлению отражающих границ, соответствующих перерывам осадконакопления, даже если по обе стороны от границы литология пород не меняется.

VII. 5. Газо- и нефтенасыщенность уменьшают скорость и плотность по сравнению с водонасыщенными породами (рис. VII.7.2), что является физической предпосылкой для прямых поисков УВ. Скорость в газе сильнее всего растет с глубиной и сжатием газа, от 0,4 до 0,6 км/сек, а плотность от 0,01 до 0,3 т/м³. Скорости в нефти падают с ростом давления от 1,2 до 0,7 км/сек, а плотность – от 0,9 до 0,4 т/м³ в связи с ростом ее газонасыщенности при росте давления. Газонасыщение нефтеносных коллекторов на глубинах 1-2 км уменьшает скорость в них на 15-20% и плотность на 20-25%. На глубинах 3-4 км в связи с ростом давления и еще большей растворимости газов в нефти скорость и плотность в коллекторах уменьшается на 5-10%.

Скорость поперечных волн V_s меняется мало при нефте- и газонасыщении коллекторов, так как поперечные волны не распространяются через жидкости и газы. Ореол газа с содержанием несколько процентов во флюидоупорах над залежью заметно уменьшает здесь V_p .

$$\gamma = \frac{V_p}{V_s}$$

VII.6. Изучение соотношения γ расширяет возможности сейсмического метода. В присутствие газа уменьшается γ , что является признаком залежи газа. $\gamma > 2$ для неуплотненных песков и $\gamma < 2$ для уплотненного или газонасыщенного песка. На V_s меньше влияет рыхлость породы, меньше поправки за ЗМС, а вертикальная разрешающая способность сейсморазведки на поперечных волнах лучше, так как $V_s < V_p$.

VII.7. Измерения и вычисления скоростей. Простейший и самый распространенный способ учесть изменения скорости по вертикали заключается в представлении слоистой среды средой с неизменной средней или эффективной скоростью $V_{эф}(H)$, при которой наблюдаемый годограф отраженной

волны от границы на глубина H реальной слоистой среды оказывается ближе всего по форме к годографу ОВ, рассчитанному для $V_{эф}(H)$. Таким образом, скоростной слоистый разрез описывается набором эффективных или средних скоростей для каждой из отражающих границ. Принята однородная модель для каждой границы описывается параметрами: $V_{эф}$; толщины пластов h_i ; угол наклона границ – φ ; угол

подхода волны (луча) к границе – α . $V_{эф}$ связана с истинной V : $V_{эф} = V \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha}$. Истинная скорость чаще всего определяется в результате обработки по МОГТ. Для плоской наклонной границы $V_n = V \cos \varphi$.

Самые точные сведения о скоростях и их изменениях с глубиной получают по данным ВСП.

VII.8. Поглощающие свойства пород – это также параметр, несущий информацию об особенностях геологического строения разреза, в том числе о разрывных тектонических зонах, коллекторах, залежах УВ.

Поглощение заключается в преобразовании части упругой энергии в тепловую за счет трения между колеблющимися частицами породы, а также в рассеянии упругой энергии на неоднородностях разреза. Суммарный результат этих процессов оценивается величиной эффективного поглощения, так как разделить оба вида потерь энергии невозможно.

Поглощение характеризуется следующими параметрами

VII.8.1. Коэффициентом поглощения – уменьшением амплитуды колебаний с ростом пройденного пути L : $\alpha(f) = L \cdot f$. Следовательно, чем выше частота колебания, тем быстрее она теряет свою энергию.

VII.8.2. Дикрементом поглощения, характеризующим изменения амплитуды колебания на пути,

равному длине волны λ : $\vartheta = \frac{\ln \frac{A(x+\lambda)}{A(x)}}{\lambda}$.

С ростом давления поглощение уменьшается, а с ростом температуры оно увеличивается. Максимальное поглощение наблюдается в рыхлых, неоднородных и пористых породах. Для ЗМС $\vartheta = 0,1-0,7$ для продольных волн. В плотных породах $\vartheta = 0,0-0,04$. Поглощение растет с ростом пористости. Коэффициент поглощения α в карбонатных породах заметно меньше, чем в песчано-глинистых. В высокопористых терригенных и карбонатных породах поглощение поперечных волн больше, чем продольных. Нефтегазонасыщение меньше влияет на поглощение в цементированных породах, чем в нецементированных. Газовые пузырьки резко увеличивают поглощение. Рассеяние растет с ростом неоднородности пород, например в плохо отсортированных континентальных обломочных породах. Самое большое затухание наблюдается в залежах УВ. Если удастся выявить зоны аномально высокого давления (рис. VII.5), то это может быть использовано для прямых поисков залежей УВ.

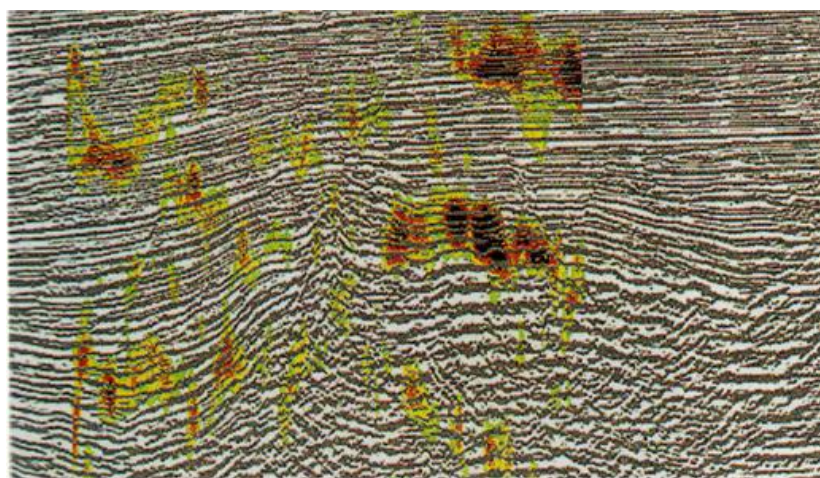


Рис. VII.5. Фрагмент временного разреза с наложенным (цветом) декрементом поглощения (по: [В.М. Добрынин и др. \(5\)](#))

ТЕМА VIII. МИГРАЦИОННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В результате обработки по МОГТ получают временной разрез. На нем по горизонтали отложена координата x вдоль профиля, а **по вертикали** время t_0 движения волны от источника **по нормали к отражающей границе и обратно к приемнику, совмещенному с источником.**

Если отражающая граница горизонтальна, то нормаль к ней вертикальна, параллельна оси t и искажений изображения границы нет. Если же отражающая граница наклонна (рис. VIII.1), то временной разрез не совпадает с глубинным. Время прохождения волны по наклонному лучу OD , перпендикулярному к наклонной границе DD_2 и обратно в точку O изображается на временном разрезе вдоль вертикали OE .

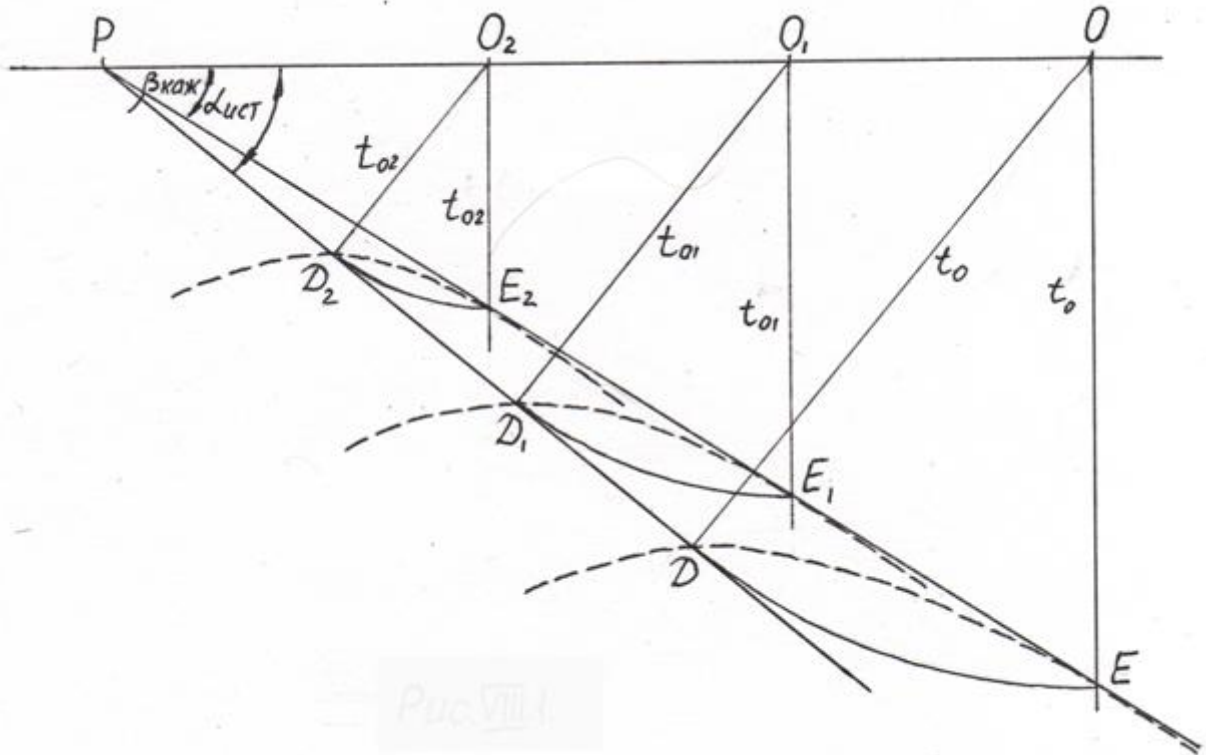


Рис. VIII.1. Обоснование применения [миграционного](#) оператора, метода общих касательных и [дифракционного](#) преобразования

Истинная точка отражения D смещается в точку E вдоль дуги окружности DE с радиусом, равным t_0 , до пересечения с вертикальной линией OE . **Это смещение называется [сейсмическим сносом](#).** Дуга DE представляет собой часть фронта волны, падающей из источника O . Аналогично построим точки отражения D_1 и D_2 для точек O_1 и O_2 , в каждом из которых расположено по источнику и приемнику. Изображением точек D_1 и D_2 на временном разрезе будут точки E_1 и E_2 . Через них проведем сейсмическое изображение E_1E_2 (кажущуюся отражающую границу) истинной отражающей границы DD_2 . Благодаря сейсмическому сносу сейсмическое изображение границы оказалось выше и глубже, чем положение истинной отражающей границы: $\beta_{\text{каж}} < \alpha_{\text{ист}}$.

Согласно принципу Гюйгенса каждая точка отражающей границы может рассматриваться как источник, т.е. в ней происходит дифракция. Построим годограф DB от точки дифракции D_2 . Для этого проведем из точки O_2 дугу окружности радиусом O_2D_2 до пересечения ее в точке E_2 с вертикалью через точку O_2 . Через точки E_2 и D_2 проведем **годограф DB . Он касается кажущейся отражающей границы в кажущейся точке отражения E_2 и пересекает истинную отражающую границу в истинной точке отражения D_2** , совпадающей с вершиной годографа DB . Аналогичные построения повторим для точек дифракции D_1 и D .

Отметим, что фронт падающей волны касается истинной отражающей границы в истинной точке отражения и пересекает мнимую отражающую границу в мнимой точке отражения.

Рассмотрим прямоугольные треугольники PDE и POD. Здесь

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{каж}} = \frac{OE}{OP} \text{ и } \sin \alpha_{\text{ист}} = \frac{OD}{OP}, \text{ причем } OE = OD \text{ как радиусы одной окружности.}$$

Отсюда получим **миграционный оператор**:

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{каж}} = \sin \alpha_{\text{ист}}.$$

Он позволяет оценить угловые искажения положения наклонной отражающей границы на временном разрезе и восстановить ее истинный угол падения. Это первый способ миграционного образования, применимый то сильнее всего исказится вертикальная граница:

$$\beta_{\text{каж}} = \arcsin \sin 90^\circ = \arcsin 1 = 90^\circ.$$

Она будет наклонена под 45° к истинной вертикальной границе. Горизонтальная граница не искажается: $\sin 0^\circ = \operatorname{tg} 0^\circ$. Таким образом, чем круче граница, тем сильнее искажается угол ее падения. Поэтому происходят **разрывы** в изображении $A'B'B''C'$ выпуклой ломаной границы ABC (рис. VIII.2) и **заходы** в изображении $A'B'B''C'$ вогнутой ломаной границы AC (рис. VIII.3).

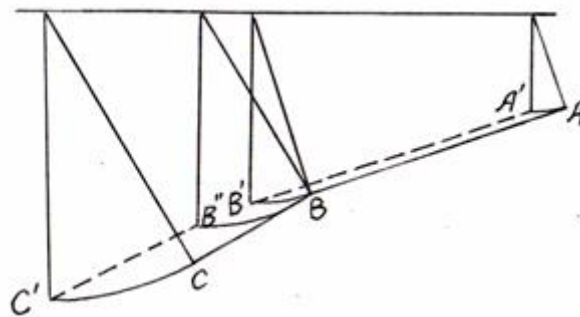


Рис. VIII. 2. Искажение выпуклой ломаной границы [сейсмическим сносом](#)

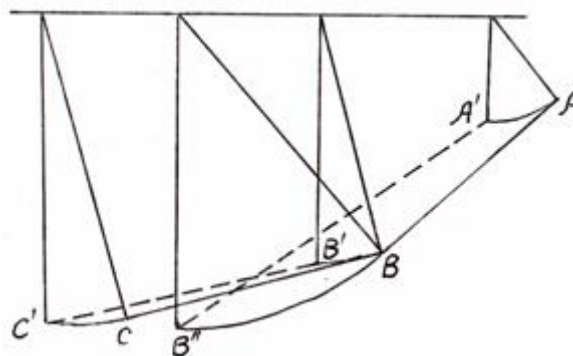


Рис. VIII.3. Искажение вогнутой ломаной границы сейсмическим сносом

Сейсмический снос приводит также к искажению формы границ, смятых в складки. Если центр кривизны границы в пределах антиклинали лежит выше дневной поверхности (т.е. радиус кривизны границы больше радиуса касающегося ее фронта волны), то антиклинали всегда выполаживаются, а синклинали становятся круче (рис. VIII.5, а, б), если же центр кривизны синклинали расположен ниже дневной поверхности т.е. радиус кривизны границы меньше, чем радиус касающегося ее фронта падающей волны, то в сейсмическом изображении синклинали появляется петля (рис. VIII.4 и рис. VIII.5, в, г). Ее появление связано с тем, что к каждому пункту приема приходят отражения сразу из нескольких точек криволинейной границы, но с разных расстояний, как это видно на рис. VIII.4.

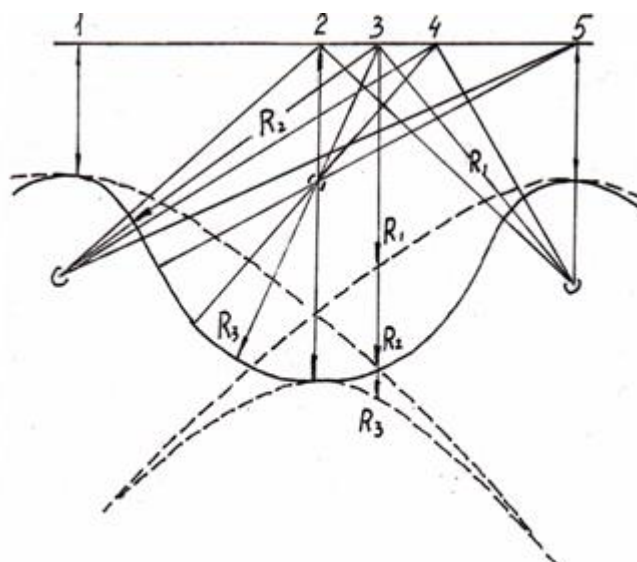


Рис. VIII. 4. Приход отражений от разных точек синклинали формирует петлю

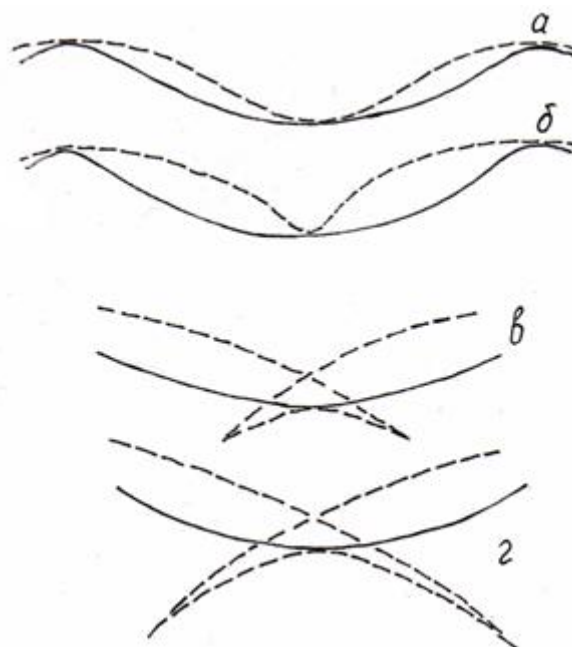


Рис. VIII. 5. Искажение синклиналей сейсмическим сносом зависит от глубины

В изображении серии смятых в складку границ с ростом глубины искажения и ширина петли растут (рис. VIII.5, а, б, в, г).

При малых углах наклона границ, например при наклоне 5° , выполаживание границ за счет сноса может оказаться достаточным, чтобы на временном разрезе исчезли признаки выклинивания пласта:

$$\beta_{\text{каж}} = \arctan \sin 5^\circ \approx 0^\circ.$$

В этом случае оказывается недостаточной разрешающая способность сейсморазведки.

Для устранения сейсмического сноса применяется **миграционное преобразование**, которое **восстанавливает истинное положение и форму отражающих границ и дифрагирующих объектов на временном разрезе** (с одновременным уничтожением годографов ДВ). Существует несколько способов выполнения миграционного преобразования.

VIII.1. Первый способ заключается в повороте плоских наклонных границ от их кажущегося положения к истинному, пользуясь миграционным оператором.

VIII.2. Вторым способом называется **«метод общей огибающей дуг окружностей»**. Мы уже рассмотрели его (рис. VIII.1), только графические построения выполняются в обратном порядке: необходимо провести дуги окружности (фронтов падающих волн) из источников на профиле радиусами, равными расстояниям по вертикали от них до кажущейся отражающей границы, затем провести к этим дугам окружностей общую касательную, которая и будет истинной отражающей границы. Таким способом можно восстановить истинное положение и форму плоской или криволинейной границы.

VIII.3. Решение волновых уравнений в частных производных. В настоящее время пользуются только этим способом.

Волновое уравнение описывает распространение волн в среде от источника до отражающих границ и обратно к приемнику:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = \frac{1}{V^2} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2},$$

где V – средняя скорость для точки с координатами x, y, z ; $U(x, y, z, t)$ – колебание частиц в точке с координатами x, y, z . Однако для решения такого уравнения нет всех необходимых данных. Например, колебания частиц мы регистрируем только на дневной поверхности при $z = 0$: $U(x, y, 0, t)$. Обычно неизвестна с необходимой точностью скорость во всех точках недр: $V(x, y, z)$. Кроме того, для решения такого уравнения недостаточны быстродействие и объем памяти современных ЭВМ. Поэтому уравнение упрощают, приспособив для решения задачи восстановления отражающих границ. Для этого

$$\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = 0$$

ограничимся вертикальным разрезом, когда $y = 0$ и . Кроме того, введем новую систему

$$\frac{2z}{V} \quad \frac{2z}{V}$$

координат: $x' = x$; $z' = \frac{2z}{V}$; $t' = t + \frac{2z}{V}$. При этом координата z' приобретает размерность времени, т.е. будет построен временной разрез. Координата t' , имеющая смысл предсказания отражающей границы, позволяет подчеркнуть восходящие волны. Подставив новые координаты, получим:

$$\frac{\partial^2 U'}{\partial z'^2} = \frac{V^2}{8} \frac{\partial^2 U'}{\partial x'^2} - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 U'}{\partial z'^2} - \frac{3}{8} \frac{\partial^2 U'}{\partial t'^2},$$

где $U(x', z', t') = U(x, z, t)$. Чтобы это уравнение можно было использовать для продолжения поля вниз, необходимо отбросить малые по величине второй и третий члены правой части уравнения. При этом **терять возможность учитывать преломления на границах разделов сред.**

$$\frac{\partial^2 U'}{\partial z'^2} = \frac{V^2}{8} \frac{\partial^2 U'}{\partial x'^2}$$

Уравнения приводятся к виду

Разделим весь путь волны на нисходящую ветвь от источника к точке отражения и восходящую от этой точки до приемника на дневной поверхности, совмещенного с источником. Как бы ни были сложны эти ветви, искаженные промежуточными преломлениями, **нисходящая и восходящая ветви всегда совпадают**, так как при совмещении источника и приемника отражение всегда происходит по нормали к отражающей границе. Поэтому двойное время движения ОБ можно поделить пополам и рассматривать только восходящую ветвь. Отражающая граница рассматривается как геометрическое место источников ОБ. Такой подход называется принципом «взрывающиеся границы». Получим поле времен движения волны от точек на границе до приемников и эти поля времен будут граничными условиями для волнового уравнения.

Решить волновое уравнение – значит по временам прихода ОБ к точкам дневной поверхности восстановить форму волнового поля внутри Земли вблизи отражающих границ и построить их положение и временной разрез со всеми отражающими границами и дифрагирующими объектами. Образно говоря, необходимо **пустить часы назад, в направлении от**

момента $\frac{1}{2} t_0$ к моменту $t = 0$, когда все волны вернутся к точкам на отражающей границе. Это называется продолжением поля вниз.

Есть несколько способов решить волновое уравнение.

VIII.3.1. Решение уравнений Кирхгофа или дифракционное преобразование.

Рассмотрим физический смысл этого способа. В соответствии с принципом Гюйгенса любая непрерывная отражающая граница может быть представлена как ряд близко расположенных точечных источников упругих волн, т.е. дифрагирующих объектов («взрывающаяся граница»). В этом случае ОВ рассматривается как результат сложения волн от серии взрывов в точках отражающей границы или серии ДВ. Годографы ОВ и ДВ пересекают друг друга в точках, где пути волн совпадают (см. выше).

При выполнении дифракционного преобразования рассчитывают годографы ДВ для каждой точки временного разреза. Для этого необходимо знать $V(x, z)$ для профиля или $V(x, y, z)$ для площадных (объемных) наблюдений. Затем суммируют все сигналы, имеющиеся в точках разреза, через которые проходит данный годограф ДВ. Суммарный сигнал относят к точке минимума годографа ДВ, где должна быть расположена истинная точка отражения (см. рис. VIII.1).

Результат сложения зависит от того, что в действительности расположено в данной точке временного разреза.

VIII.3.1.1. Если данная точка разреза лежит на горизонтальной отражающей границе (рис. VIII.6, а), то при сложении сигналов в точках вдоль самой криволинейной части годографа ДВ сложатся несколько импульсов ОВ от плоской границы со сдвигом, определяемым кривизной годографа ДВ. Поэтому суммарный импульс окажется слабее, чем импульс, полученный при обработке по МОГТ. Прослеживание горизонтальной отражающей границы ухудшается. Поэтому данный способ не применяется для разреза с преобладанием горизонтальных границ.

VIII.3.1.2. Если данная точка разреза расположена на наклонной отражающей границе (рис. VIII.6, б), то при сложении сигналов вдоль менее криволинейной части годографа ДВ вдали от его минимума, сложится большее количество импульсов ОВ.

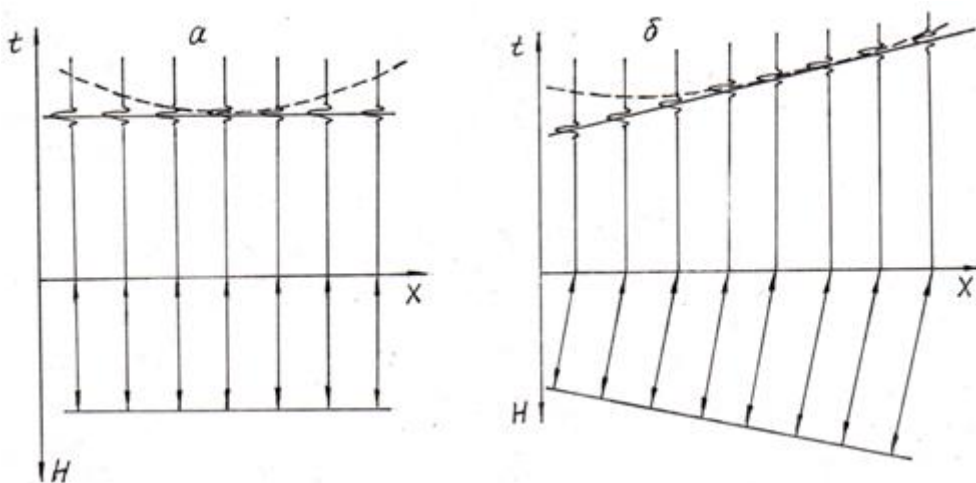


Рис. VIII. 6. Дифракционное преобразование для горизонтальной (а) и наклонной (б) отражающих границ

Таким образом, будет получена большая суммарная амплитуда, чем в случае с горизонтальной границей. Прослеживание наклонной отражающей границы в результате такого сложения улучшится (при наклоне не более 60°).

VIII.3.1.3. Если данные точки разреза расположены на криволинейной отражающей границе (смятой в складки, осложненной разрывами, или эродированной), то на всех криволинейных участках с радиусами кривизны, меньшими длины волны, произойдет дифракция. Сложение всех сигналов вдоль реально существующих годографов ДВ сворачивает энергию этой волны, превращая ее в изображение дифрагирующих криволинейных участков границы импульсами с большой амплитудой. Изображение криволинейной границы будет четким, освобожденных от искажавших ее годографов ДВ. Поэтому применение дифракционного преобразования к разрезам с криволинейными отражающими границами – наиболее эффективный способ миграции для таких разрезов.

VIII.3.1.4. Данная точка разреза не принадлежит ни одной границе, находится в однородной среде, в этом случае вдоль годографа ДВ сложатся случайные шумы и помехи. Если уровень шумов и помех на записи велик, то в результате их сложения могут сформироваться не существующие в разрезе границы, обычно с сильно меняющейся амплитудой. Достоверность такого разреза падает. Поэтому метод дифракционного преобразования не применяют в случае высокого уровня помех на сейсмической записи.

При дифракционном преобразовании не учитывается изменение скорости вдоль пласта.

VIII.3.2. Волновое уравнение представляется на основе волновой теории в приближенной форме конечных разностей, пригодных для решения на ЭВМ. С помощью метода конечных разностей волновое поле можно определить на любом произвольном уровне, если известно его значение хотя бы на одном уровне, например, его значение зарегистрировано на уровне дневной поверхности: $z = 0$.

Пересчитывая поле вниз от поверхности $z = 0$, мы получим четкую картину, когда попадем на отражающую границу. Получая таким способом одну за другой все отражающие границы, получим

мигрированный разрез. Если наклоны границ малы, и следовательно лучи почти вертикальны, то $\frac{\partial U}{\partial z}$ пренебрежимо мало и этой составляющей можно пренебречь при наклонах менее 15° . В этом случае

$$\frac{V}{2} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = - \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$$

дифференциальное уравнение приобретает вид и называется 15-градусной аппроксимацией, а 45-градусная аппроксимация имеет вид:

$$\frac{\partial^3 U}{\partial x^2 \partial t} - \frac{V}{2} \frac{\partial^3 U}{\partial x^2 \partial z} - \frac{2}{V} \frac{\partial^3 U}{\partial x \partial t^2} = 0$$

Способ конечных разностей может учитывать латеральные изменения скорости, но эффективен только при низком уровне шумов.

VIII. 3.3. Волновое уравнение решается с помощью преобразования Фурье и называется миграцией в частотно-волновой области или частотной миграцией, а результат восстанавливается с помощью обратного преобразования Фурье. Этот способ дает наилучший результат почти во всех случаях, кроме разрезов с диапирами или в сложно дислоцированных районах. Для осуществления частотной миграции используется быстрое преобразование Фурье (БПФ), однако эти вычисления требуют больших затрат машинного времени.

Миграция в частотно-волновой области не учитывает изменения скорости в латеральном направлении. Способ экономичен при ограниченных площадях исследований.

VIII.3.4. Миграция путем моделирования лучевых траекторий, проходящих через приближенные модели геологического разреза. При этом форма отражающих границ подбирается методом последовательных приближений (итераций) до устранения расхождений между наблюдаемыми и рассчитанными временами прихода отражений.

В случае сложных разрезов, например при наличии в них диапиров, лучевой метод может оказаться единственным приемлемым способом миграционного преобразования разреза.

VIII.4. Глубинная миграция. Все описанные виды миграции, кроме лучевого метода, сохраняют некоторую ошибку, связанную с преломлением волн на промежуточных наклонных границах, когда лучи становятся ломанными. Сейсмическое изображение отражающих границ будет наклонным, но эти наклоны не совсем соответствуют истинному наклону границ. Промежуточные границы имеют случайные наклоны $\Theta_1, \Theta_2, \Theta_3, \dots$ (рис. VIII.7). Действие этих наклонов на луч волны осредняется, но некоторая ошибка сохраняется. Миграция может дать удовлетворительные результаты только благодаря статистическому осреднению случайных наклонов многих границ. Кроме того, в разрезе могут быть эродированные, криволинейные слои; смятые в складки слои; выклинивания пластов; неправильной формы органогенные постройки и пр. Изображение таких непротяженных объектов как по отраженным, так и по дифрагированным волнам может сильно сместиться на величину, большую их размера (рис. VIII.7 и VIII.8).

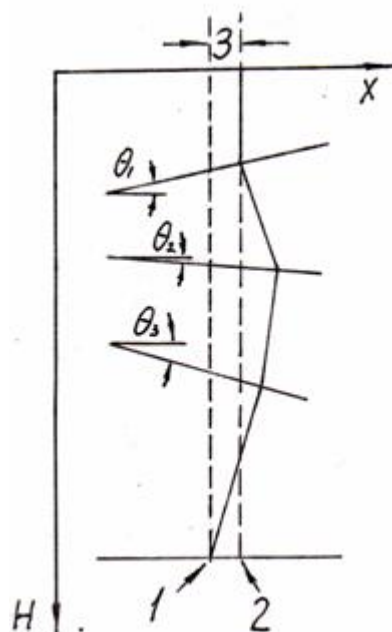


Рис. VIII.7. Смещение истинного положения точки отражения 1 в кажущееся положение 2 на величину ошибки 3.

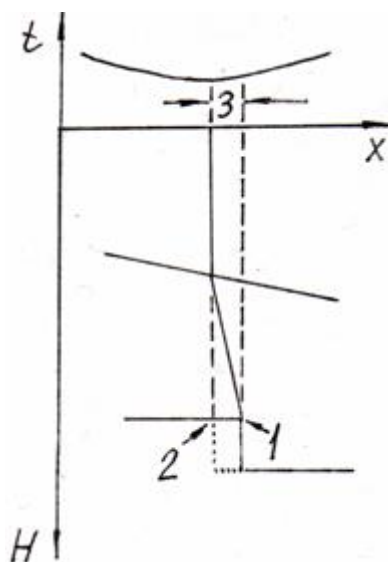


Рис. VIII.8. Смещение истинного положения точки [дифракции](#) 1 в ее кажущееся положение 2 на величину ошибки 3

Таким образом скважина может не попасть в залежь, локализованную в этих объектах. Путем возвращения волнового поля назад, к «источникам» на границах геологических тел, [миграция](#) должна восстанавливать истинное геологическое строение с такой точностью, чтобы можно было обнаружить мелкие объекты, в том числе ловушки УВ. Для такого точного и детального построения сейсмического разреза необходимо как можно точнее определить поле скоростей в разрезе, т.е. иметь значение скоростей во всех точках $V(x, z)$. Скорости вычисляются при обработке при МОГТ и уточняются при сейсмических исследованиях в глубоких скважинах.

Точное построение разреза с использованием сведений о поле скоростей $V(x, z)$ называется **глубинной (2D) миграцией**, осуществляемой несколькими способами:

VIII.4.1. Глубинная миграция, основанная на лучевой теории. Она осуществляется в два этапа.

Этап 1. Приближенная миграция на основе сведений о $V(z)$.

Этап 2. а) интерпретация опорных горизонтов на приблизительном миграционном разрезе, полученном на этапе 1 с искажениями, но более близким к истинному разрезу, чем до миграции;

б) выбор двумерной скоростной функции $V(x, z)$ по геологически оправданной экстраполяции геологических данных. При этом вводятся поправки за промежуточные преломления по Снеллиусу на основании сведений о наклонах границ, полученных на приблизительном мигрированном разрезе после первого этапа. Считают, что луч подошел к дневной поверхности перпендикулярно, а перед этим он преломлялся на всех наклонных границах.

Глубинная миграция – итеративная процедура. Сведения о $V(x, z)$ несколько раз уточняются.

VIII.4.2. Глубинная миграция, основанная на волновой теории. Наиболее экономично в варианте параболического приближения Френеля для решения волнового уравнения, упрощенного с помощью конечно-разностного метода с использованием данных о $V(x, z)$:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z \partial t} = - \frac{V(x, z)}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}.$$

При этом сведения о $V(x, z)$ итеративно уточняются после каждого процесса вычисления разреза, постепенно приближая модельный разрез к наблюдаемому.

Ошибки двумерной миграции связаны также с положением профиля не вкрест структурам, а также в случае трехмерных структур. В последнем случае точные результаты можно получить только применяя трехмерную (3D) миграцию к данным пространственных (площадных) наблюдений, дающих также сведения о $V(x, y, z)$. Однако для выполнения трехмерной миграции потребуется большое количество машинного времени и большой объем памяти. Для упрощения и удешевления применяют двумерную миграцию на серии параллельных профилей, а затем дополняют эти разрезы серией разрезов, перпендикулярных предыдущим профилям. Полученные данные близки к трехмерной миграции.

ТЕМА IX. РАЗРЕШАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Признанные в наше время перспективы нефтегазоносности могут быть связаны с многочисленными не крупными продуктивными коллекторами, например, в клиноформах отложений континентального склона. В этих отложениях известны месторождения с запасами в многие сотни миллионов тонн. Их обнаружение поверхностными методами представляет трудности, замедляющие прирост запасов в отложениях этого типа. Из известных месторождений с множеством ловушек площадью по 0,2-0,3 км² можно назвать месторождение Рейнбоу-Зама в Канаде с извлекаемыми запасами 110 млн.т.

Надежность выделения мелких ловушек сейсморазведкой определяется ее вертикальной и горизонтальной разрешающей способностью.

Разрешающая способность – это минимальное расстояние между двумя границами одного объекта, на котором они еще могут быть различимы, не сольются в один объект.

Выяснить, какова разрешающая способность сейсморазведки по вертикали – значит решить, при какой минимальной толщине объекта его кровлю и подошву можно раздельно проследить по данным сейсморазведки. Разрешающая способность по горизонтали определяет, на сколько протяженным должно быть геологическое тело, чтобы расстояние между его краями (его длину) можно было определить по сейсмическим данным.

IX.1. Разрешающая способность сейсморазведки по вертикали. Рассмотрим отражения от клина (рис. IX.1)

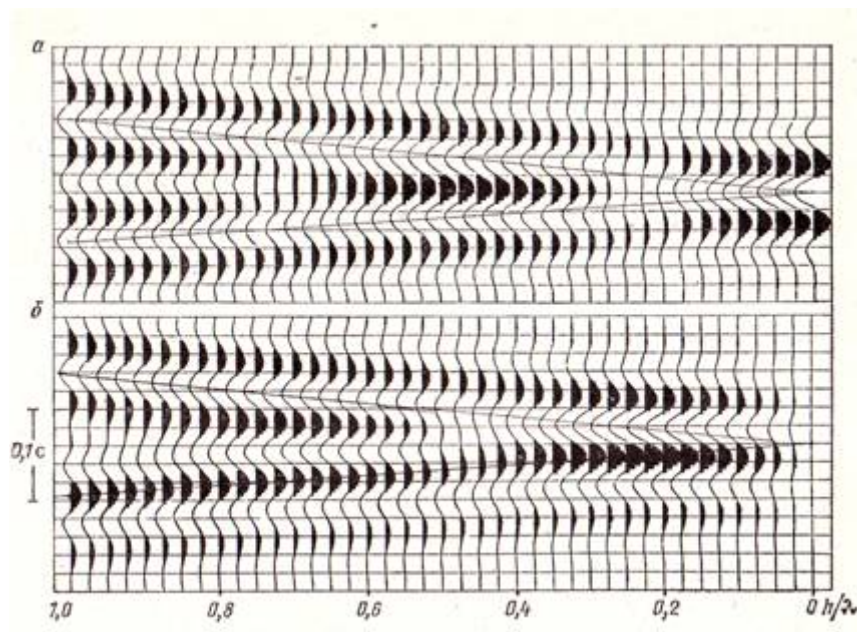


Рис. IX. 1. Отражение от клина:

- a* – коэффициенты отражения от границ клина имеют одинаковые знаки (акустическая жесткость клина является промежуточной по сравнению с жесткостями покрывающей и подстилающей сред);
б – коэффициенты отражения от границ клина имеют противоположные знаки (акустическая жесткость клина выше или ниже жесткости вмещающей его среды) (по [А.Г. Авербух \(2\)](#))

При толщине клина (моделирующего толщины пластов) $H > 0,25 \lambda$ волны расстояния между отражениями от подошвы и кровли зависят от толщины клина, и ее можно определить. При дальнейшем уменьшении толщины клина $H < 0,25 \lambda$ расстояние между отражениями остается постоянным и изменяется только амплитуда волны, образованной в результате сложения отражений от кровли и от подошвы клина. В этом случае судить о толщине пласта можно лишь по амплитуде волны, если удастся проградировать толщину пласта по амплитуде волны. Это возможно, если толщина пласта известна по данным нескольких скважин. В этом случае разрешающая способность становится не $0,25 \lambda$, а $0,125 \lambda$ и при простом строении и плоских границах в отсутствие помех – еще меньше, чем $0,125 \lambda$.

Итак, разрешающая способность по вертикали обратно пропорциональна частоте упругого

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

колебания, так как $\lambda = \frac{v}{f}$ и потому ухудшается с ростом глубины, когда частота падает. Для увеличения частоты можно увеличить частоту колебания плиты вибратора, что технически сложно, или уменьшить заряд и увеличить число взрывных скважин, что дорого.

Предложена эмпирическая формула для максимальной частоты сейсмического импульса ОБ,

$$f_{\max} = \frac{150}{t}$$

которую можно получить для границы на данной глубине: $f_{\max} = \frac{150}{t}$, где t – двойное время пробега ОБ.

На практике на глубине до 1 км при $V = 1,5-2$ км/сек при применении взрывов имеем $f = 50$ гц, $\lambda = 30-40$ м, в то время как при $t = 1$ сек по выше приведенной формуле можно было бы иметь $f = 150$ гц и $\lambda = 10-15$ м, т.е. разрешающую способность в 2-3 раза лучше.

При $H = 4-6$ км и $V = 4-6$ км/сек, т.е. при $t = 2$ сек обычно имеем $f = 20$ гц, $\lambda = 300$ м, т.е. разрешающую способность около 70 м, а могли бы иметь $f = 75$ гц и $\lambda = 67$ м, т.е. разрешающую способность в четыре раза лучше.

IX.2. Горизонтальная разрешающая способность сейсморазведки. Рассмотрим процесс отражения упругой волны от геологической границы. За фронтом волны существует слой, в котором частицы еще совершают колебательные движения, так как импульс волны имеет длину не менее чем

полтора периода. Между сферами R и $R + \lambda/4$ выделим сферический слой толщиной $\lambda/4$ (рис. IX.2). На отражающей границе, касающейся сферы меньшего радиуса R , сфера большего радиуса $R + \lambda/4$ отделит

круг диаметром $D = \frac{v}{2} \sqrt{\frac{t}{f}}$, равным диаметру первой зоны Френеля.

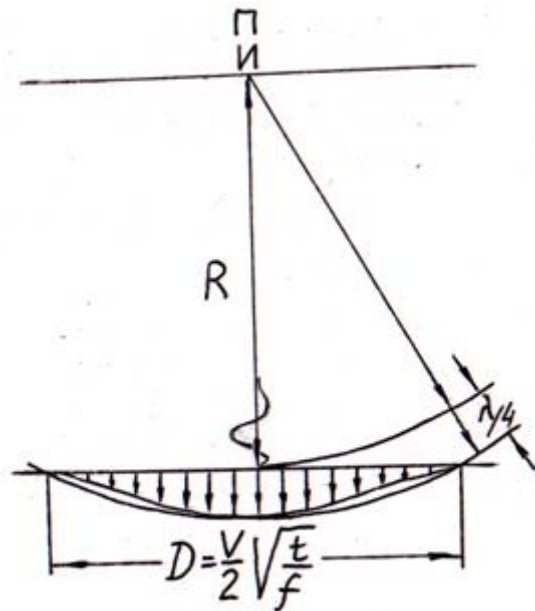


Рис. IX.2. Величина первой зоны Френеля

Отражение от центра круга диаметром D достигнет приемника в некоторой фазе. Отражения от других точек круга будут приходить к приемнику по большему пути и поэтому складываться с этим отражением с некоторым сдвигом фаз, уменьшающим их вклад в суммарную амплитуду отражения. При удалении точки отражения от центра круга будет увеличиваться сдвиг фаз и уменьшаться вклад в суммарную амплитуду отражения и при достижении края круга этот вклад станет равным нулю, как показано серией стрелок в нижней части рисунка.

Таким образом, отражение происходит не от точки, а от всей площади первой зоны Френеля. Для доказательства этого в центре зоны Френеля сделаем отверстие. Отражение лишь заметно ослабнет при его диаметре, равном половине диаметра зоны Френеля и совсем исчезнет только когда диаметр отверстия будет равен диаметру зоны Френеля.

Диаметр зоны Френеля растет с глубиной вместе с t и скоростью V и падает с ростом преобладающей частоты сейсмического импульса f .

Амплитуда отражения от непротяженной границы зависит от ее длины относительно диаметра зоны Френеля. Если длина отражающей границы в несколько раз больше D , то от нее получим ОВ с амплитудой, которую примем за 100% (рис. IX.3). Тогда ОВ от границы длиной D будет иметь амплитуду 87%, и отражение еще будет видно на фоне годографов дифрагированной волны от ее концов. При длинах отражающих границ вдвое и вчетверо меньших диаметра зоны Френеля амплитуды ОВ будут равны соответственно 55 и 40%, и поэтому отражения от них не видны на фоне дифрагированных волн от концов этих границ. Поэтому горизонтальный размер геологического тела длиннее диаметра зоны Френеля можно оценить только по амплитуде ОВ или зафиксировать наличие неоднородности при длине, отражающей границы, меньшей этой величины.

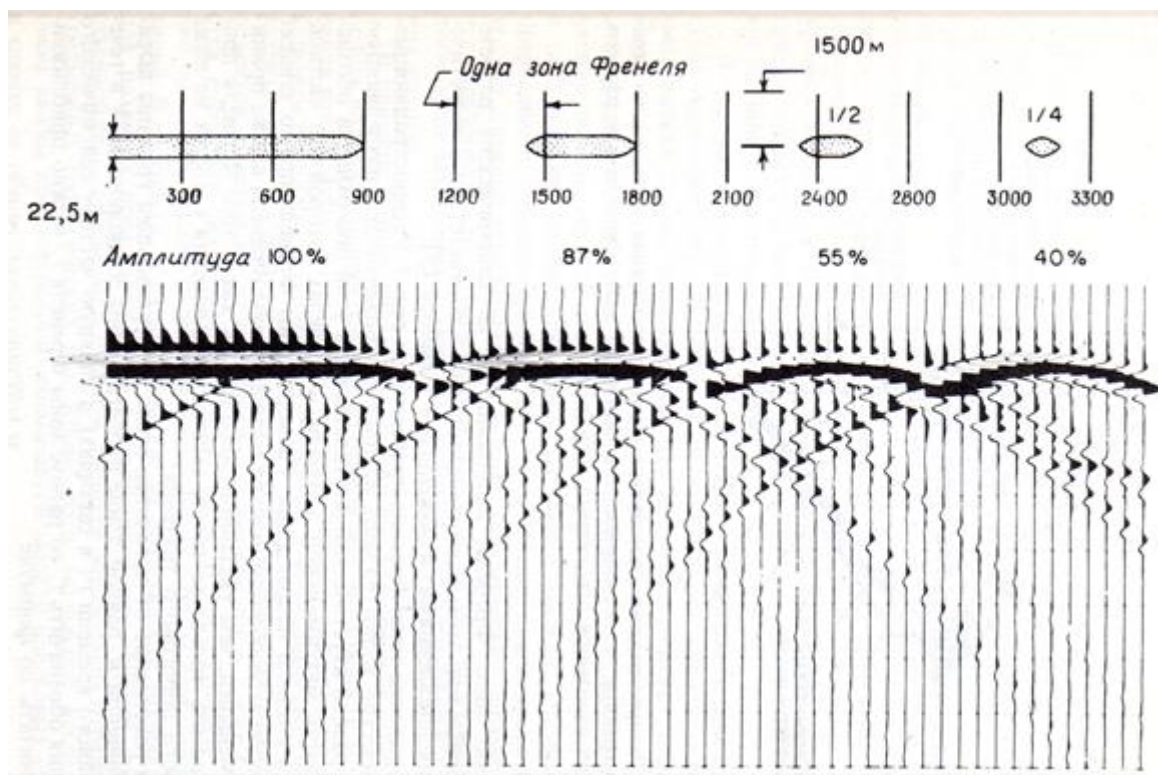


Рис. IX.3. Песчаные тела разных размеров и их отображение на модели с помощью сейсмических сигналов, рассчитанное по формулам волновой теории и иллюстрирующая значение размеров зоны Френеля (по: [Н.С. Нейдель \(10\)](#))

С ростом глубины и с уменьшением преобладающей частоты импульса ОВ разрешающая способность сейсморазведки ухудшается. Так например, на глубине 1500 м при средней для этой глубины скорости диаметр зоны Френеля приблизительно равен 300 м.

IX.3. Способы улучшения разрешающей способности сейсморазведки.

IX.3.1. Увеличение преобладающей частоты импульса ОВ:

IX.3.1.1. снижение веса заряда например до 0,2 кг увеличивает частоту исходного импульса до 65-100 Гц, но требует группы скважин для сохранения интенсивности ОВ,

IX.3.1.2. применение нелинейного высокочастотного свип-сигнала вибратора позволяет получить импульс ОВ с преобладающей частотой 90 гц при отражении от границы на глубине 2000 м,

IX.3.1.3. расположение источников вне рыхлых пород (лесс, торф, сухой песок и пр.), в акустически прозрачных породах, например в плотных пластичных глинах или в мергелях,

IX.3.1.4. значительные потери высокочастотной части спектра ОВ происходят при группировании. Поэтому необходимо сократить базу группирования или вовсе отказаться от группирования. Потери амплитуды ОВ можно компенсировать увеличением кратности накопления сигналов и увеличением длительности свип-сигнала, а низкочастотные помехи подавить компенсационным фильтром [ФВЧ](#).

IX.3.2. Для уменьшения высокочастотных шумов необходимо:

IX.3.2.1. повысить точность геодезической привязки,

IX.3.2.2. точнее учитывать локальные изменения скорости ЗМС,

IX.3.2.3. подавлять высокочастотные помехи: а) ветровые – для чего закапывать сейсмоприемники летом в грунт, а зимой в снег; б) удалять расстановки сейсмоприемников от источников промышленных помех,

в) избегать электромагнитных помех, для чего не работать в дни с полярными сияниями, в ветреные дни зимой, когда снежинки, летящие над снежной поверхностью, при трении о нее накапливают электростатический заряд,

IX.3.2.4. потери высокочастотных компонент за счет «шумов» при обработке сейсмического материала могут превысить высокочастотные шумы в поле. Для их устранения необходимо: а) уменьшать шаг квантования до 1 миллисекунды, что позволяет регистрировать более высокочастотные составляющие спектров импульса ОБ; б) избежать ошибок округления, применяя избыточную точность всех цифровых данных; в) увеличить точность внесения статических и кинематических поправок; г) применять частотную [миграцию](#) вместо лучевой для субгоризонтальных границ; д) чаще задавать точки для вычисления скоростных разрезов.

IX.3.3. Повышение детальности исследования достигается:

IX.3.3.1. уменьшением шага между точками наблюдений и расстояний между профилями, а также применением площадных наблюдений,

IX.3.3.2. приближением источников к приемникам, для чего необходимо сократить длину годографа ОГТ, но без уменьшения кратности прослеживания.

В результате применения высокочастотной высокоразрешающей объемной сейсморазведки удается строить карты поверхности горизонтов с сечением изолиний через 5-12 м и обнаруживать ловушки площадью от первых км² и иногда меньше.

IX.4. Высокоразрешающая морская сейсморазведка.

Работа в море имеет ряд преимуществ перед работой на суше. На море нет неоднородной ЗМС, вместо которой имеется однородный слой воды с малым затуханием колебаний – как звуковых, так и ультразвуковых. Это позволяет применять устройства комплексных исследований, глубинность которых зависит от частоты их источника. Решаются следующие задачи.

IX.4.1. Картирование морского дна, выявление выходов коренных пород, изучение неровностей дна по рисунку его двухмерного изображения выполняется в полосе шириной 300 м с помощью гидролокаторов бокового обзора, работающих на частоте от 40 до 250 кгц. Такая высокая частота не проникает в глубь разреза, но чутко реагирует на акустическую жесткость пород, выходящую на поверхность дна.

IX.4.2. Обнаружение шлейфа газовых пузырьков в воде, и бугорков дна, из которых они поступают достигается применением резонансных приемов – передатчиков с частотой от 3 до 12 кгц. Обнаруженные объекты позволяют прогнозировать залежи УВ.

IX.4.3. Изучение рельефа морского дна и разреза до глубины 100 м с вертикально разрешающей способностью 0,3-1 м при частоте источника от 0,2 до 10 кгц.

IX.4.4. Изучение разреза до глубины 1000 м с разрешающей способностью по вертикали около 7 м с помощью искрового разрядника с частотой от 0,05 до 2 кгц.

IX.4.5. Изучение разреза до необходимой глубины в несколько км с применением пневматической пушки, или шланговых взрывателей, или схлопывающих источников типа вейпаршок или бумеров (см. ниже). Вертикальная разрешенность и частоты источников аналогичны взрывам на суше: вертикальная разрешенность 10-15 м частоты 30-100 гц.

IX.5. Результаты применения высокоразрешающей морской сейсморазведки.

Данные, получаемые при морской сейсморазведке, дают материал для:

IX.5.1. Геологического картирования поверхности дна моря, т.е. прослеживания границ, между породами, отличающимися по их акустической жесткости.

IX.5.2. Получения разреза с высокой разрешенностью.

IX.5.3. Анализа фаций, осуществляемого, например, по форме морских террас, наклонному напластованию пород, форме границ и т.д. Все эти детали различаются благодаря высокому разрешению сейсмического разреза.

IX.5.4. Изучения тектоники с определением смещений более 0,3-1 м на глубинах до 100 м или более 7 м на глубинах до 1000 м или более 10-20 м на глубинах в несколько километров.

IX.5.5. Обнаружения проявлений УВ – пузырьков газов в воде и бугорков в рельефе дна, из которых они поступают.

IX.5.6. На разрезах высокой разрешенности иногда выявляют «яркие» и «плоские» пятна, что позволяет прогнозировать здесь залежи УВ и обосновать выбор точек для глубокого поискового бурения.

IX.6. Методика и техника сейсмических исследований на море.

IX.6.1. Методика. По мере роста изученности суши все большее количество сейсмических исследований выполняется в пределах морских шельфов. Работы ведутся при глубине моря не менее 10 м при непрерывном движении судна, буксирующего кабели с геофонами и несколько типов источников за кормой. Работы выполняются без контроля за качеством материала, что необходимо только на суше. Здесь нет необходимости в контроле, так как нет изменчивой ЗМС, вода везде однородна. Необходимо лишь регистрировать глубину моря с высокой точностью, обеспеченной эхолотом. Поэтому производительность работ очень высока даже при многократном прослеживании по МОГТ. Иногда применяют также одноканальную установку с совмещением источника и приемника, позволяющую сразу зарегистрировать t_0 и строить временной разрез. Работы выполняются при силе ветра, не превышающем 3 баллов.

IX.6.2. Взрывные источники. Одна из основных сложностей в морской сейсморазведке – это пульсация газового пузыря, образовавшегося после взрыва или впрыскивания в воду воздуха под высоким давлением. Периодичность пульсации газового пузыря, образующегося, например, при взрыве 7,5 кг тротила, составляли 0,2-0,4 сек. Чем меньше глубина, с которой поднимается пузырь, тем меньше период пульсации. Она создает помеху приему сейсмического сигнала, что вынудило создавать новые источники упругих колебаний для работы на море.

IX.6.2.1. Пневматическая пушка выбрасывает в воду порцию воздуха под давлением 150-700 атм. Образующийся пузырь колеблется с частотой от 10 до 60 Гц в зависимости от его объема. Сейсмический импульс становится длинным. Для его укорочения используют одновременно несколько пушек с объемами камер от 0,16 до 33 л. Одновременная пульсация пузырей различного объема, имеющих различные периоды, создает необходимый спектр импульса. Форма такого импульса, полученная при одновременной работе нескольких таких пушек, похожа на импульс от взрыва на суше, она минимально-фазовая.

IX.6.2.2. Внутри шланговых взрывателей происходит взрыв пропана и кислорода в закрытой гибкой камере с ослабленным эффектом газового пузыря, так как газ выводится после взрыва постепенно, малыми дозами. Аналогичный результат получается при взрыве в воде например 30 м детонирующего шнура не создающего большого газового пузыря.

IX.6.2.3. Имплозивные (схлопывающие) источники.

IX.6.2.3.1. При взрыве гремучей смеси кислорода с водородом не создается расширяющегося газового пузыря, а наоборот образующаяся вода имеет очень малый объем по сравнению с объемом гремучей смеси. Окружающая вода мощным рывком занимает объем, который занимала до взрыва гремучая смесь и выделяется большое количество энергии, но гремучий газ опасен.

IX.6.2.3.2. Тот же принцип используется в безопасном источнике, именуемом вейпоршок. Для приведения его в действие в воду впрыскивают перегретый пар, который конденсируется, а образующаяся вода не пульсирует. Основная энергия выделяется при конденсации пара и схлопывании пузыря. Импульсы имеют основную частоту от 400 до 5000 Гц и по мощности эквивалентны взрыву до 30 кг тротила.

IX.6.2.3.3. Бумер имеет две плиты, которые резко разводятся с помощью катушки с током и создаваемых им токов Фуко в одной из плит. Такой источник создает короткий минимальнофазовый импульс.

IX.6.3. В качестве сейсмоприемников используют пьезоэлектрические датчики давления. Они вместе с соединяющим их кабелем помещены в гибкую трубку, заполненную маслом.

Амплитуда изменения давления максимальна на глубине, равной $\lambda/4$, т.е. 10-20 м. На этой глубине буксируют кабель с датчиками, удерживая и регулируя его глубину из судна (15).

ТЕМА X. ВЕРТИКАЛЬНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПРОФИЛИРОВАНИЕ (ВСП)

Вертикальное сейсмическое профилирование представляет собой один из видов геофизических исследований в скважинах. Скваженный сейсмоприемник опускается на специальном кабеле на забой глубокой скважины. Рядом с ней бурятся взрывные скважины, в одной из которых ниже подошвы ЗМС

происходит взрыв, а сейсмоприемник на забое глубокой скважины регистрирует сейсмические волны. Затем с помощью мощной лебедки сейсмоприемник поднимают на расстояние, равное выбранному шагу исследований. Затем снова производят взрыв и снова регистрируют волны, и так повторяют вдоль всего ствола глубокой скважины.

Скваженный сейсмоприемник снабжен устройством, прижимающим его к стенке скважины для лучшей передачи колебаний к приемнику. Сейсмоприемник состоит из нескольких датчиков, ориентированных в различных направлениях, что необходимо для регистрации траекторий колебаний частиц породы в пространстве, т.е. выполнение **поляризационных наблюдений**. Это означает, что можно выяснить природу волны: продольная она или поперечная.

Взрывные скважины располагаются по разные стороны от глубокой скважины и на различных расстояниях от нее, что позволяет расширить пространство вокруг скважины, в пределах которого детально изучается разрез (рис. X.1).

X.1. Возможности ВСП определяются преимуществами наблюдений на различных глубинах.

X.1.1. При ВСП достигается наилучшая разрешающая способность сейсмического метода, так как упругая волна не разу не пересекает ЗМС и в спектре ее импульса сохраняется значительная часть высокочастотных колебаний (до 100 гц и более). Этому также способствует меньшее время t прихода ОВ

$$R_F = \frac{V}{2} \sqrt{\frac{t}{f}}$$

при наблюдениях на глубине, вблизи отражающей границы. Радиус зоны Френеля уменьшается с уменьшением t и увеличением f . Поэтому разрешающая способность по горизонтали и вертикали улучшается.

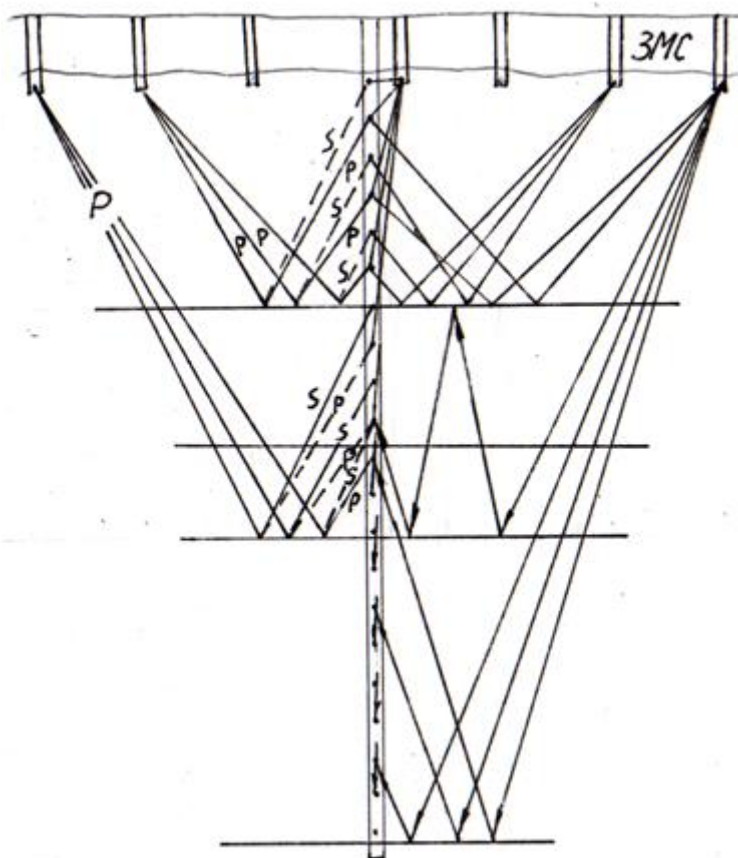


Рис. X.1. Отражения и обмен при ВСП

X. 1.2. Размещение приемника последовательно вблизи всех отражающих границ позволяет изучать процесс формирования ОВ, а с помощью поляризационных наблюдений выясняют природу волны – продольная она или поперечная.

Х. 1.3. Точное определение глубины пересечения скважиной всех геологических границ, от которых происходит отражение, позволяет осуществить точную привязку отражающих границ к геологическим границам. Для этого сравнивают материалы ВСП и результаты поверхностных сейсмических наблюдений вблизи скважины (рис. Х.6).

Х.1.4. Регистрируется неискаженная зоной малых скоростей форма импульса волны вблизи источника. Это улучшает результаты деконволюции данных ВСП и поверхностной сейсморазведки (рис. Х.4).

Х.1.5. Регистрация падающей, преломленной и отраженной продольных и поперечных волн вдоль всего ствола скважины позволяет с наибольшей точностью измерить V_s, V_p и затухание для всех пластов разреза, а также K_{omp} для всех отражающих границ. Анализ годографов волн дает возможность опознать частично-кратные волны-помехи. При расположении нескольких источников вокруг глубокой скважины изучается изменение этих параметров во всем околоскваженном пространстве. Становится возможным выявить анизотрию скорости и исправить связанные с ней ошибки в определении положения структур.

Х.1.6. Максимально детально изучается строение околоскваженного пространства, в том числе выявляются ловушки, залежи УВ, изменения фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) продуктивных коллекторов, положение ВНК и ГНК и т.д.

Х.1.7. Только ВСП позволяет проследить слабые отражения от неконтрастных границ, среди которых могут оказаться границы продуктивных пластов, ВНК, ГНК и т.д. Проходя через ЗМС при поверхностных наблюдениях, эти отражения могут ослабляться до уровня ниже микросейсм и в этом случае они не будут выделены на фоне этих помех. Однако зная время их прихода на дневную поверхность и $V_{ср}$ можно разработать способы их выделения и в материалах поверхностной сейсморазведки.

Х.1.8. В случае сложения (интерференции) нескольких волн поляри-зационные наблюдения можно разделить и изучить их, а наблюдения волн до их сложения позволяет выяснить, какова их природа и с какими особенностями они связаны.

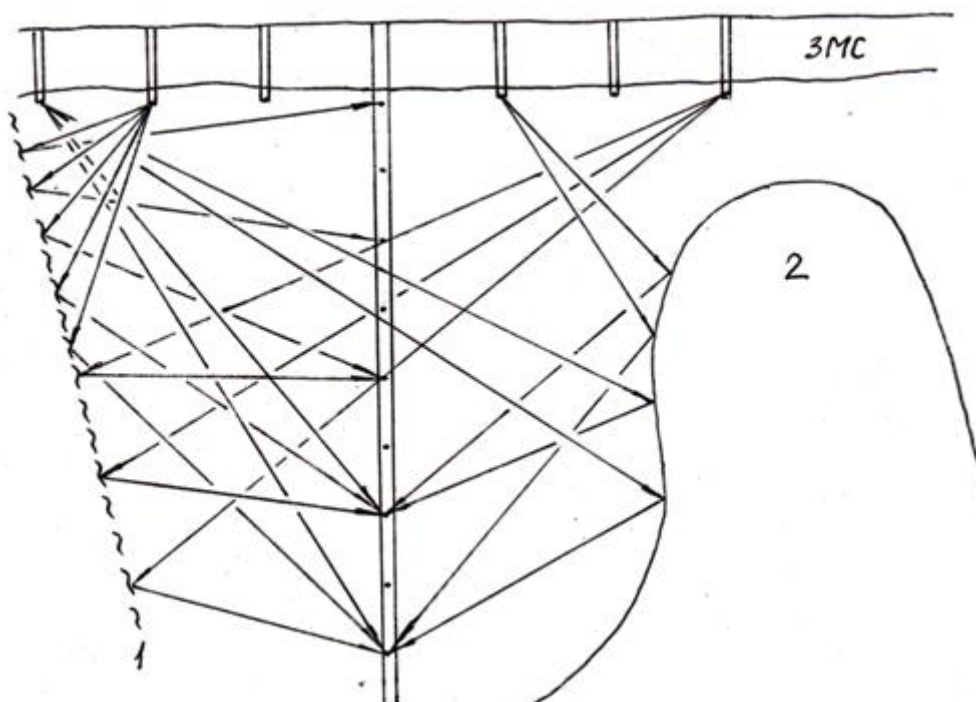


Рис. Х.2. Прослеживание крутопадающих границ при ВСП:

1 – тектоническая зона; 2 – соляной диапир

Х.1.9. Наблюдения ВСП позволяют зарегистрировать отражения от крутопадающих границ, например от тектонической зоны или от бортов соляного диапира (рис. Х.2.), интрузива, крыльев опрокинутых складок и т.д. При поверхностных наблюдениях отражения от таких границ не вышли бы на дневную поверхность и не были бы зарегистрированы.

Х.1.10. Детальное изучение разреза ниже забоя скважины оказывается возможным, т.к. в последующих вступлениях можно проследит отражения от границ, расположенных на 1-1,5 км ниже забоя

скважин (рис. X.3. Поскольку при ВСП удастся осуществить высокоразрешающие высокочастотные сейсмические исследования, а также выполнить более точную деконволюцию (рис. X.4.), детальность и точность исследования оказывается значительно выше, чем при поверхностных наблюдениях. Поэтому ВСП позволяет уточнить положение разбуриваемой структуры и с большей достоверностью выявить наличие в ней залежи по отражениям от ВНК, ГНК, по светлому пятну, по повышенному затуханию волн, прошедших через коллектор с УВ).

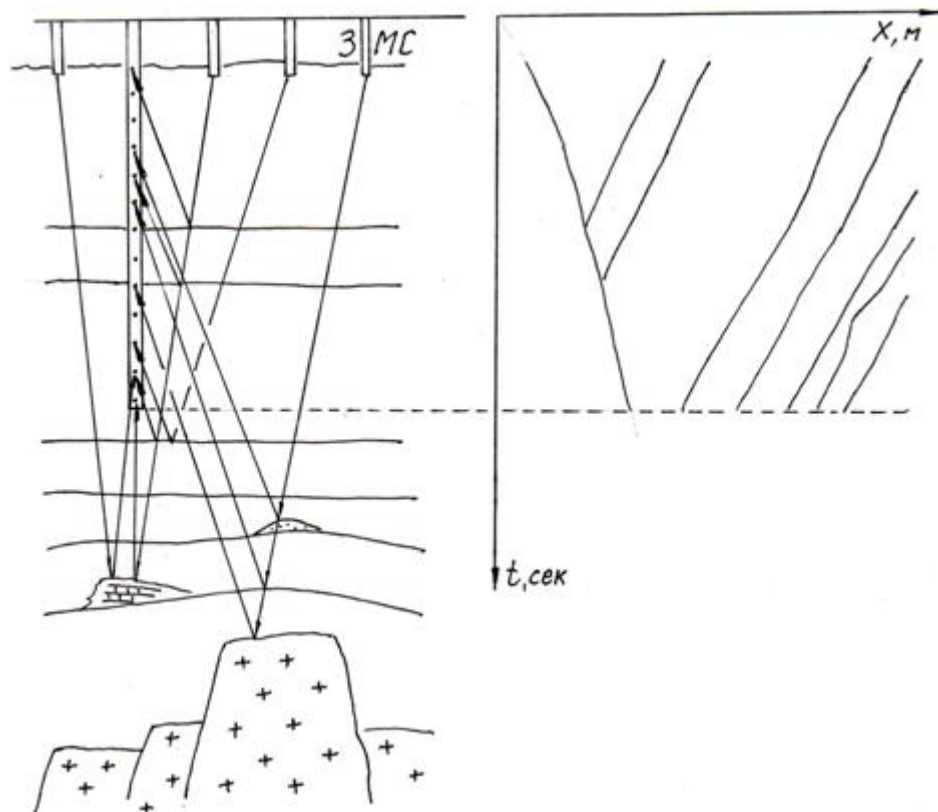


Рис. X.3. Детальное изучение разреза ниже забоя скважины при ВСП

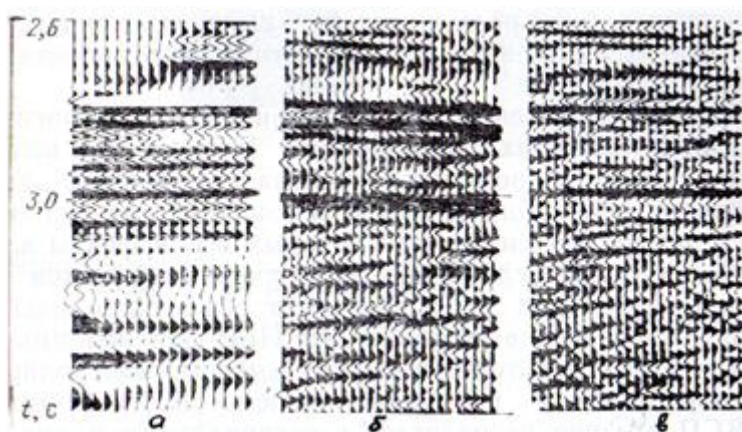


Рис. X.4. Эффективность деконволюции наземных наблюдения по данным ВСП (по: Коннет и др., 1980 г.):

а – данные ВСП после деконволюции; *б* – наземная сейсмограмма после стандартной деконволюции; *в* – наземная сейсмограмма после деконволюции по данным ВСП

По данным ВСП еще до окончания бурения можно выяснить, пройдет ли скважина через разбуриваемую залежь или структуру и в случае необходимости вовремя искривить ее с учетом точного положения этого объекта.

Х.2. Обработка данных ВСП включает в себя:

Х.2.1. Разделение волн (рис. Х.5) по направлению на падающие и отраженные, что позволяет без наложения различных волн друг на друга выделить и изучить однократные и обменные волны и устранить частично-кратные волны.

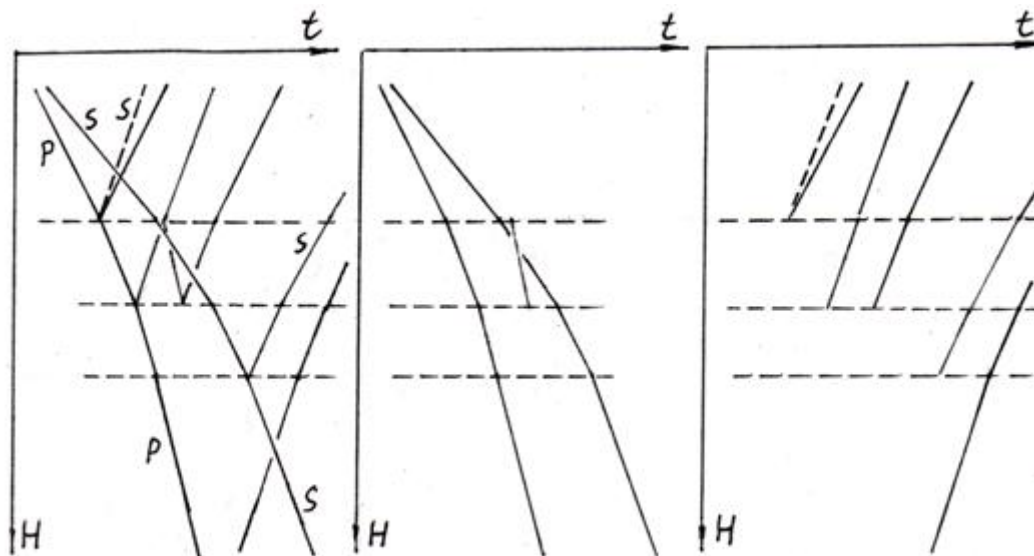


Рис. Х. 5.Разделение волн на падающие и отраженные.

Пунктиром показаны горизонтальные отражающие границы и обменные волны.

Х.2.2. Выпрямление годографов (рис. Х.6) однократно отраженных и обменных волн, полученных при ВСП, и сопоставление их с разрезом, построенным по материалам поверхностной сейсморазведки (рис. Х.6), выполняется для более точной привязки друг к другу и к геологическим границам отражающих границ, полученных по этим двум методам.

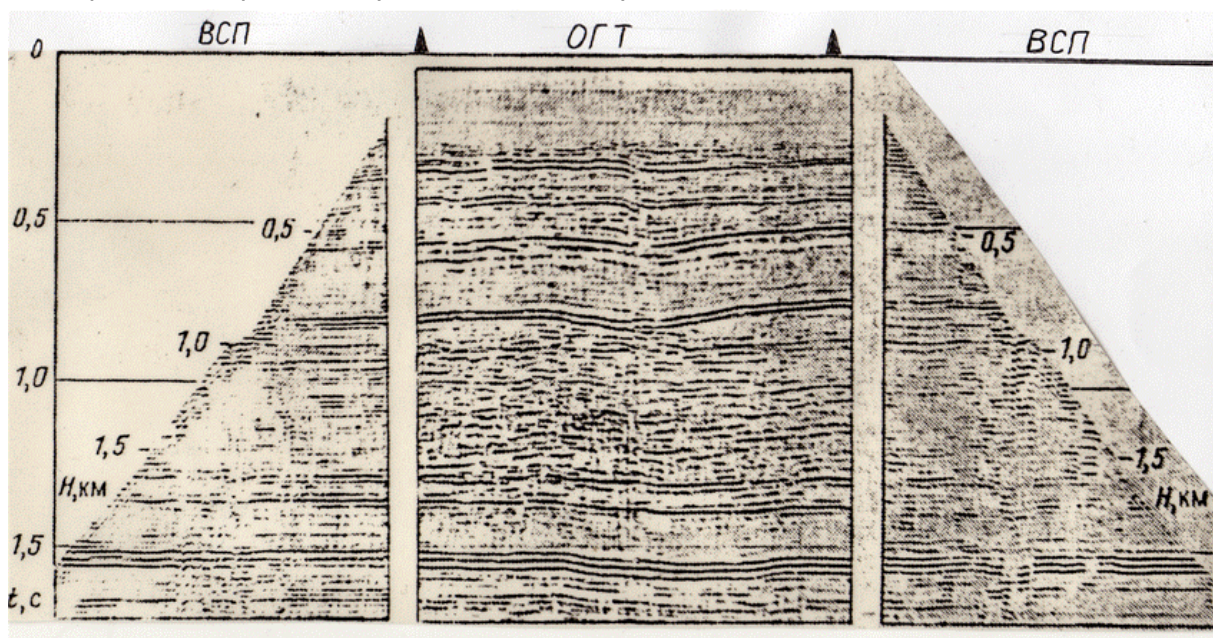


Рис. Х.6. Отождествление ОВ по вертикальным и наземному профилям

В результате такой обработки устраняются частично-кратные волны, опознаются и устраняются или используются для уточнения разреза обменные волны, выявляются слабые границы и пр. Обменные волны могут быть использованы для выделения малоамплитудных разломов, пологих структур и пологого выклинивания пластов.

ТЕМА XI. ПЛОЩАДНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ (СЕЙСМОРАЗВЕДКА 3D)

Площадные наблюдения, дающие возможность получить самые детальные сведения о строении территории в 3 мерном пространстве, применяются на этапах детальных поисков, при разведке и на этапе до-разведки эксплуатируемых месторождений.

XI.1 Предпосылки применения площадных наблюдений. Площадные наблюдения применяются в следующих случаях:

XI.1.1. Если на профиле обнаружен объект, требующий его изучения в трехмерном пространстве, например положительная структура или речное русло и т.д.

XI.1.2. Если вертикальные разрезы сильно осложнены боковыми отражениями, приходящими с одной или обеих сторон от вертикальной плоскости разреза.

XI.1.3. Если ожидается обнаружение ловушек площади менее 1 км^2 .

XI.1.4. Если необходимо уточнить пространственное положение и морфологию криволинейной границы, например кровли продуктивного горизонта.

XI.1.5. Предпосылки применения системы наблюдений «слаломная трасса» описаны в п. XI.2.2.

XI.2. Система площадных наблюдений. Системы площадных наблюдений должны обеспечить необходимую густоту расположения точек отражения при трехмерном изучении площади или объекта и необходимую кратность наблюдений по МОГТ. Поэтому такие системы наблюдений самые сложные из всех сейсмических наблюдений.

XI.2.1. При крестовых наблюдениях два профиля приемников и источников перпендикулярны друг другу (рис. XI.1). Эта система наблюдений применяется для трехмерного изучения небольших объектов.

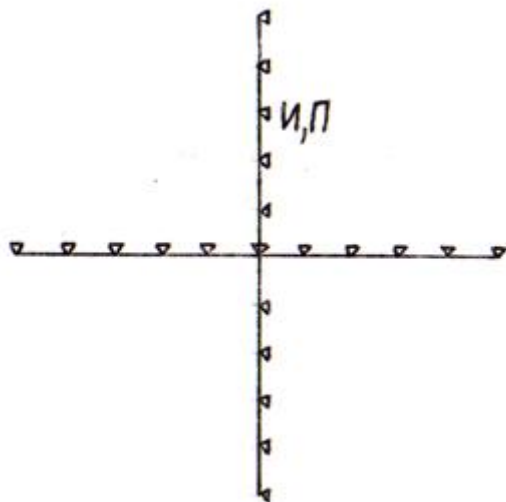


Рис. XI.1. Система крестовых наблюдений:

П – приемник; *И* – источник

XI.2.2. Слаломная трасса – это криволинейный профиль с источниками, и приемниками на нем. Кратность наблюдений по МОГТ на слаломной трассе не постоянная и невысокая, но меняется не сильно от точки к точке, уменьшаясь к краям площади исследований. Она ограничена касательными к слаломной трассе. Кратность вычисляют по количеству точек отражений, в пределах каждого из квадратов со стороной, равной расстоянию между приемниками (рис. XI.2).

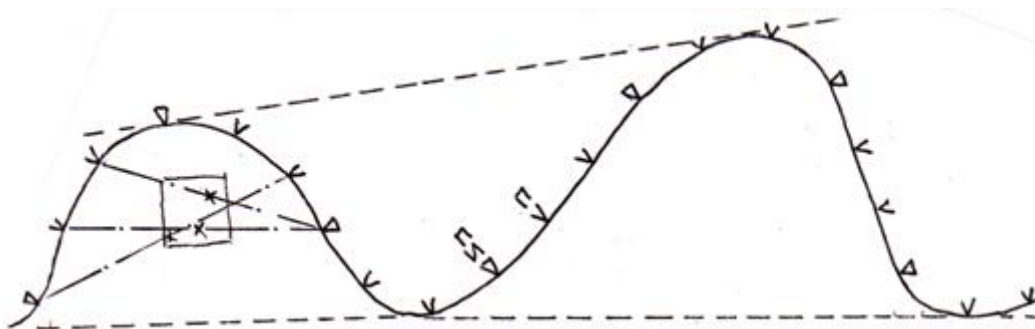


Рис. XI.2. Система площадных наблюдений типа «слаломная трасса»

Слаломная трасса применяется:

XI.2.2.1. Если достаточно ограничиться наблюдениями вдоль вытянутого участка.

XI.2.2.2. В труднопроходимой местности, если наблюдения вдоль нее выполнить проще, чем вдоль прямой линии.

XI.2.2.3. Если необходимо обойти источники помех, либо участки с плохими поверхностными условиями (рыхлые отложения, болота), либо в случае необходимости размещения источников в «акустических окнах» – участках жестких или пластичных плотных пород, благоприятных для создания упругих колебаний.

XI.2.3. Системе замкнутых полигонов. Приемники и источники располагаются по периметру квадрата, прямоугольника или замкнутой линии произвольной формы (рис XI.3).

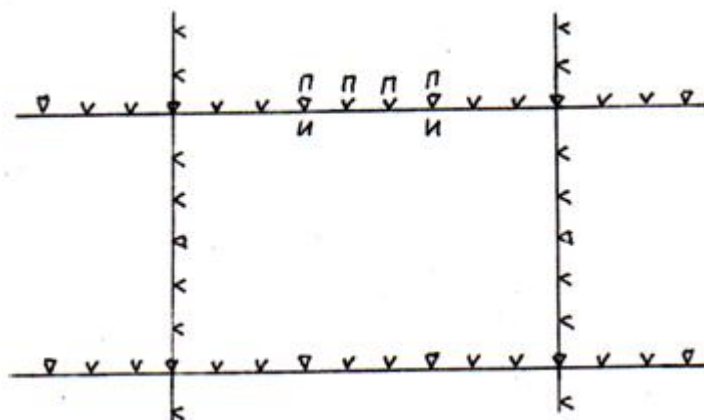


Рис. XI.3. Система площадных наблюдений на замкнутых полигонах

Отражающие точки занимают всю территорию полигона. Кратность растет к осям симметрии и к центру полигона. Такая система наблюдений удобна для работы в залесенной местности, располагаясь по просекам, либо по трассам, по которым можно проехать в трудно доступной местности. Она позволяет обойти труднодоступные участки (болота, озера, скалы) или источники помех (поселок, завод и т.п.), а также выбрать трассы и точки, благоприятные для создания упругих колебаний. Система замкнутых полигонов может наращиваться в нужных направлениях. Размер участков исследований не ограничен.

XI.2.4. Система наблюдений **«широкий профиль»** особенно удобна при работе на море. За судном буксируют одну косу с приемниками в кильватере и две косы на расстояниях по сто метров по обе стороны от нее, а также несколько источников, расположенных в начале этих линий приемников (рис. XI.4, а). Такая система наблюдений вдоль трех линий обеспечивает подробные исследования с равномерной кратностью. Источники приводятся в действие так часто, чтобы обеспечить заданную кратность наблюдений по МОГТ. Двигаясь галсами, судно может отработать площадь любого размера.

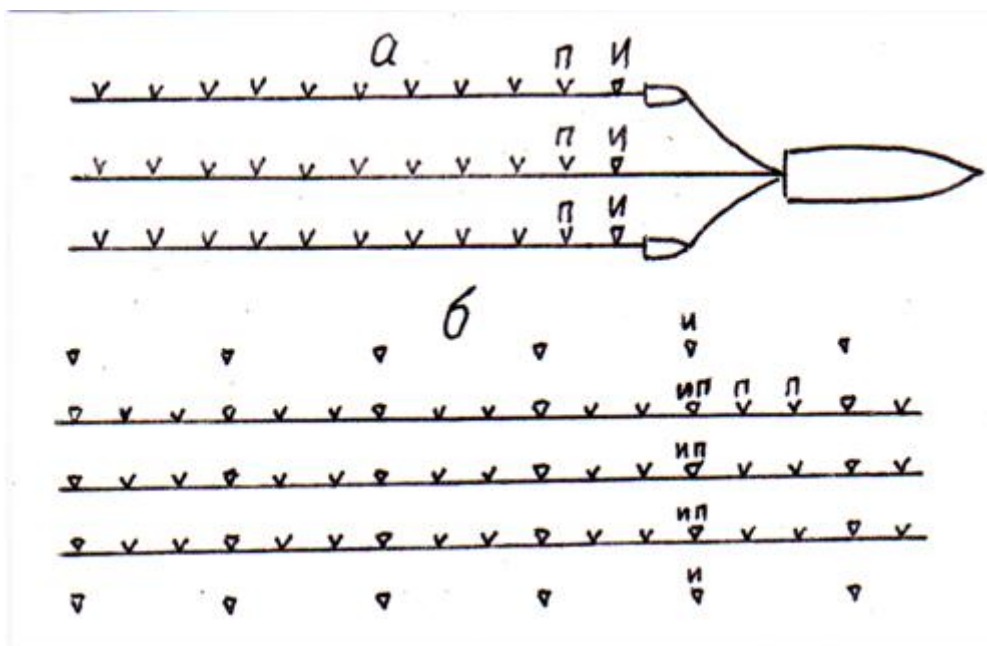


Рис. XI.4. Система площадных наблюдений типа « широкий профиль»:
на море (а) и на суше (б)

Для осуществления подобной системы наблюдений на суше располагают необходимое количество профилей приемников и перпендикулярных им профилей источников (рис. XI.4, б), обеспечивающих заданную постоянную кратность и площадь исследования любого размера.

XI.3. Применение площадных наблюдений.

XI.3.1. Задачи, решаемые с помощью площадных наблюдений.

XI.3.1.1. При изучении на этапе поисков перспективного района с применением вышеописанной сплошной площадной системой наблюдений в трех- мерном пространстве детально изучается строение участка. Выявляются локальные геологические образования, изучается пликтивная и разрывная тектоника, восстанавливается история формирования и преобразования разреза, обосновываются перспективы нефтегазоносности. Выявляются и детально изучаются перспективные ловушки и признаки локализации в них УВ. Обосновывается применение других геофизических методов для прямых поисков залежей.

XI.3.1.2. На этапе эксплуатации месторождения и доразведки залежей изучают в их пределах мозаичное распределение фильтрационно-емкостных свойств коллектора, определяемое по затуханию проходящих через них волн и амплитудам отражений. По характеру отражений выявляются зоны глинизации продуктивных песчаных коллекторов. По этим данным обосновываются точки бурения новых эксплуатационных скважин.

XI.3.1.3. Применением систем наблюдения типа «слаломная трасса» или широкого профиля в пределах исследуемой полосы можно рассчитывать и решить, например, следующей задачей:

XI.3.1.3.1. Детально проследить линию выклинивания продуктивного горизонта.

XI.3.1.3.2. Изучить в трехмерном пространстве строение участка, прилегающего к линейному разрывному тектоническому нарушению, обнаруженного например на космоснимках, к которому могут быть приурочены тектонические экранированные ловушки; обнаружить изгибы пластов вблизи нарушения; детально изучить тектоническую зону дробления, которая также может служить ловушкой.

XI.3.1.3.3. Увязать результаты бурения и ГИС в цепочке скважин с данными сейсморазведки, полученными на проходящей через них системе наблюдений «слаломная трасса» или широкий профиль.

XI.3.4. Примеры детального изучения перспективных структур с помощью площадных наблюдений:

XI.3.4.1. Кольцевой профиль вокруг скважины, заданной через малоамплитудную положительную структуру, полученную по данным профильной сейсморазведки, позволил выявить своды этой структуры с залежью, через которую скважина не прошла.

XI.3.1.4.2. На глубине 4 км выявлен конус с уклоном 10° и с циркуобразным углублением в центре. Это палеовулкан, вокруг вершины которого сформировалась атоллковая карбонатная постройка, перспективная на залежь в ней УВ.

XI.3.1.4.3. Детальное изучение морфологии отражающей поверхности позволило выявить на ней врез палеорула. Понижение амплитуды ОВ на участке палеорула оказалось связанным с грубозернистыми песчано-гравийными речными отложениями с залежью нефти в них.

ТЕМА XII. СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ (СВАН) ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

XII.1. Понятие о циклитах. Представим себе горную реку, несущую со своими водами гальку, песок, глинистые частицы. При впадении реки в море скорость течения резко падает, и у берега оседают самые крупные частицы (галька), которые вода уже не может нести. Дальше от берега осядет на дно песок, еще дальше глина. Чем дальше от берега моря, тем более мелкие частицы откладываются на его дне. Но одновременно существует еще одна закономерность осадконакопления: чем крупнее частицы, тем толще будет сложенный ими слой. Галька отлагается у самого берега, и ее слой окажется самым толстым. Глина относится дальше всех, и ее слой будет самым тонким. Чем крупнее зерно, тем толще сложенный ими слой и меньше перепад скорости на его границах (рис. XII.1, столбцы 1,5).

Теперь выберем точку на галечном дне и представим себе, какой материал отложится поверх гальки в случае трансгрессии, когда берег наступает на сушу. Данная точка окажется все дальше от берега, и гальку перекроет сначала более мелкая галька, затем крупный песок, затем мелкий песок, и наконец, если эта точка окажется на значительном расстоянии от берега, то поверх песка начнут откладываться тонкие слои глины.

Последовательность нескольких пластов осадочных пород, свойства которых монотонно меняются, называется циклитом.

В проциклите, образовавшемся в процессе трансгрессии, гранулометрический состав снизу вверх становится более тонким, а толщина пластов падает.

В рециклите, образовавшемся в процессе регрессии, гранулометрический состав снизу вверх становится грубее, а толщина пластов растет.

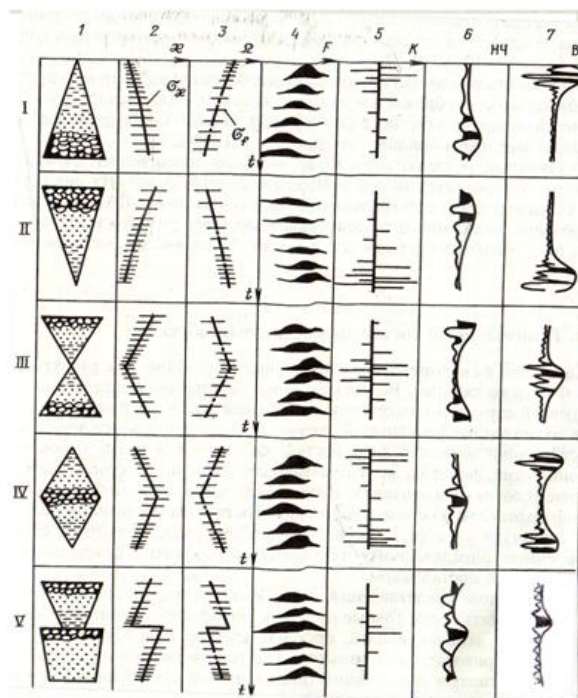


Рис. XII.1. Типы циклитов, границ между ними и их сейсмическое отображение:

1 – виды и особенности циклитов; 2 – акустическая жесткость; 3 – частота чередования пластов; 4 – спектр мощности отражения; 5 – коэффициенты отражения; 6 – низкие частоты в спектрах отражений от границ между пластами; 7 – высокие частоты (по: [И.А Мушин \(9\)](#))

Сочетание двух таких циклитов называют прорециклитом или репроциклитом, в зависимости от порядка расположения этих циклитов снизу вверх (рис. XII.1, квадраты III-1 и IV-1).

Следует отметить, что в закономерное изменение гранулометрического состава и толщины пластов может внести изменение состав исходного материала, который выносит в море водный поток. В этом материале могут отсутствовать наиболее крупные или наиболее мелкие частицы, либо отдельные пласты могут разрушиться эрозией, и тогда циклит окажется неполным (рис. XII. 1, квадрат V-1). Однако закономерное изменение гранулометрического состава и толщин пластов при этом сохраняется.

Рассмотрим, каковы особенности отражения от пластов различной толщины и гранулометрического состава, а также от границ, образовавшихся в результате эрозии.

XII.2. Отражения от границ «тонких» и «толстых» пластов циклитов.

Рассмотренные выше особенности осадконакопления таковы, что более тонкие пласты имеют тонкий гранулометрический состав, а более толстые – более грубый. Грубозернистые породы накапливались быстрее, и поэтому их зерна укладывались менее упорядоченно. Для менее упорядоченных крупнозернистых осадочных пород характерен меньший перепад скоростей и соответственно меньшие коэффициенты отражения. Между слоями с тонким гранулометрическим составом, частицы которых уложены более упорядоченно, перепад скоростей и K_{omp} окажутся больше (рис. XII.1, столбцы 2 и 5).

Рассмотрим, как происходят отражения от кровли и подошвы пласта, ограниченного гладкими границами. Эти отражения интерферируют друг с другом. За время пути туда и обратно через пласт толщиной h фаза волны, отраженная от подошвы, успевает измениться. Сложение произойдет, если в точке

на кровле пласта обе волны окажутся в фазе, а это произойдет, если путь $S = 2h = 2n \frac{\lambda}{2} = n\lambda$ будет равен

четному числу полуволн, и тогда $h = n \frac{\lambda}{2}$ – толщина слоя кратна полуволне. Волны окажутся в

противофазе, когда путь волны $S = 2h = (2n - 1) \frac{\lambda}{2}$ будет равен нечетному числу полуволн, или $h = \frac{(2n - 1)\lambda}{4}$

, произойдет вычитание волн и отражение ослабится. Таким образом, в зависимости от толщины пласта ОВ имеет большую или меньшую амплитуду.

Каким же образом формируются ОВ с различными преобладающими частотами? Импульс сейсмической волны имеет некоторый спектр, состоящий из большого количества синусоид различной частоты и амплитуды. Рассмотренные выше резонансные свойства процесса отражения от пласта толщиной, сравнимой с длиной волны таковы, что от наиболее тонких пластов будет отражаться та часть спектра

падающей волны, для которой $h = \frac{\lambda}{2}$, т.е. более высокочастотная часть, чем преобладающая частота спектра падающей волны. Для более низкочастотных составляющих спектра, для которых $\lambda > h$, эти пласты оказываются «прозрачными», отражение не происходит. Поэтому в спектре импульса волны, отраженной от тонкого пласта, будет больше высокочастотных составляющих, чем низкочастотных, причем диапазон высокочастотных составляющих плавно меняется с изменением толщины «тонких» пластов (рис. XII.2).

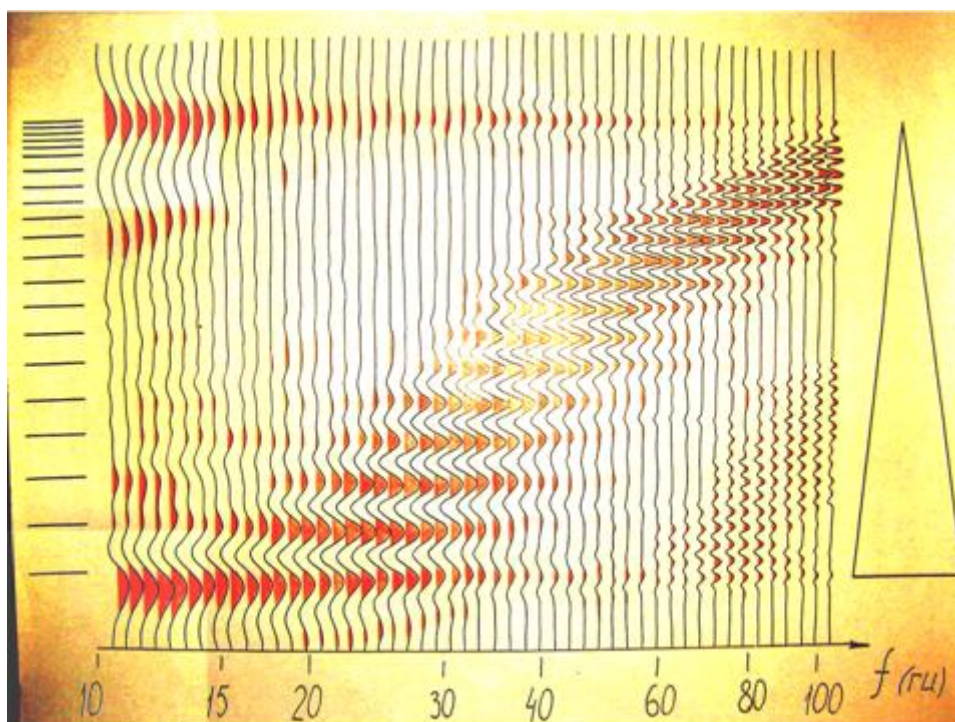


Рис. XII.2. Сван-колонка для модели проциклита

От границ более толстых пластов с $h > \lambda$ отражаются все составляющие спектра волны. Это означает, что в спектре волны, отраженной от толстого пласта, содержится приблизительно равное количество высокочастотных и низкочастотных составляющих. Таким же свойством обладают ОВ от наиболее контрастных границ (рис. XII.3, 1).

Таким образом, анализируя спектры импульсов отраженных волн, можно выяснить, увеличиваются или уменьшаются толщины пластов вверх по разрезу и обнаружить пачки с монотонным изменением толщины пластов, т.е. обнаружить проциклиты, рециклиты и их чередование.

XII.3. Шероховатые границы. Мы рассматривали характер отражений от «толстых» и «тонких» пластов при условии, что слои разделены гладкими границами. Но в разрезе также могут присутствовать неровные границы, возникшие в результате эрозии. Их поверхность представим как состоящую из чередования выступов и ровных участков между ними. Отражения от таких границ зависят от соотношения между диаметром зоны Френеля и средним расстоянием между выступами. На выступах происходит [дифракция](#) т.е. рассеяние волн с частотой, для которой радиус кривизны выступа $R < \lambda$. Отражение происходит не от точки, а от площадки диаметром, равным диаметру зоны Френеля.

Выделяются три типа неровных границ.

XII.3.1. Если в пределы такой площадки попадает несколько выпуклостей, то только самая высокочастотная часть спектра волны будет рассеиваться, остальные более низкочастотные составляющие отразятся, т.е. характеризуется соотношением $\Sigma A_{нч} > \Sigma A_{вч}$. Такая граница называется матовой (рис. XII.3, 8).

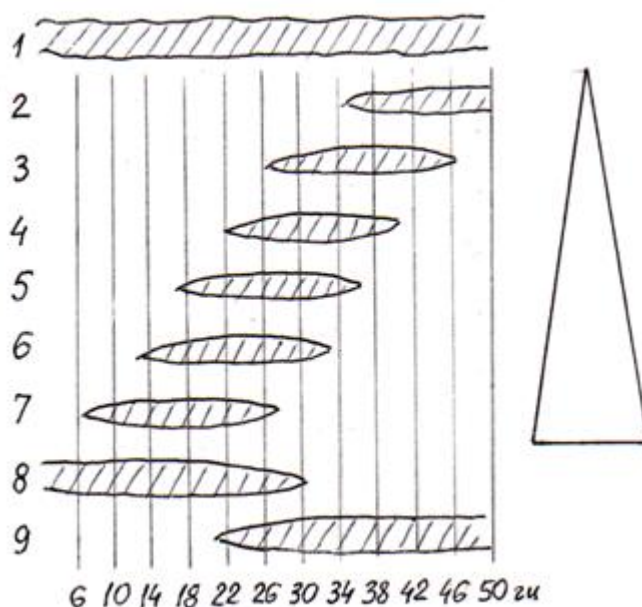


Рис. XII.3. Схема сван – колонки:

1 – для толстого слоя или контрастной границы; 2 – 7 – проциклита; 8 – шероховатой границы; 9 – матовой границы

XII.3.2. Если среднее расстояние между выпуклостями приблизительно равно диаметру зоны Френеля, то рассеяние произойдет только для самой низкочастотной части спектра падающей волны, и только более высокочастотная его часть отразится: $\Sigma A_{вч} > \Sigma A_{нч}$. Амплитуда отражения будет низкой, а спектр сдвинут в область высоких частот. Такая граница называется шероховатой (рис. XII. 3, 9).

XII.3.3. Если среднее расстояние между выступами границы в несколько раз больше, чем диаметр зоны Френеля, то отражение произойдет от участков между выступами, и по ним можно восстановить форму неровностей такой гофрированной границы.

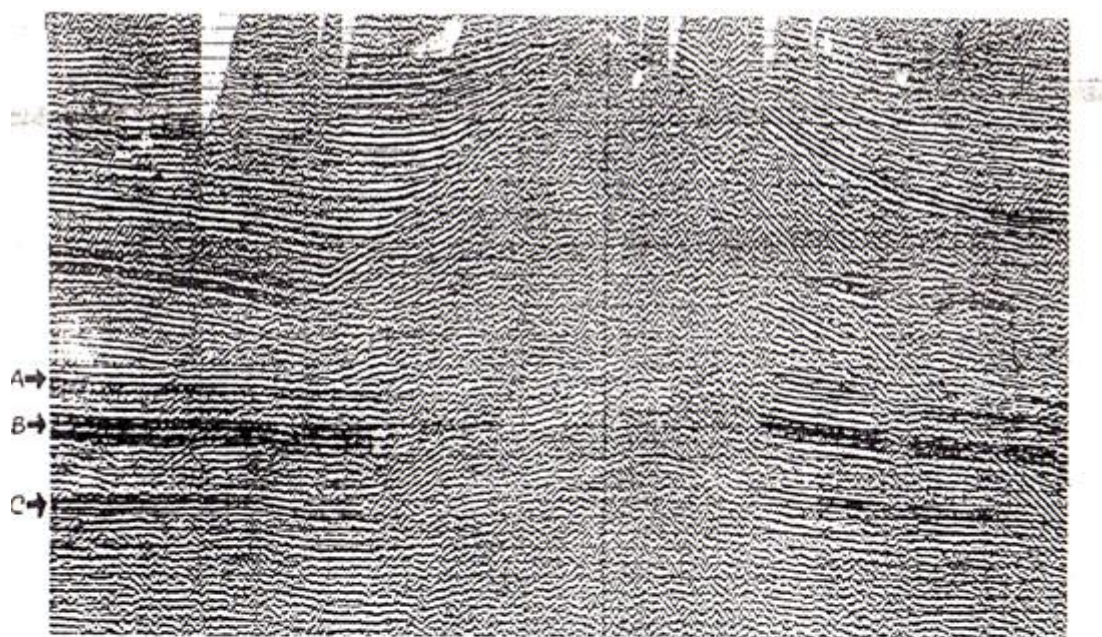
XII.4. Сван анализ. Итак, мы знаем зависимость спектра ОБ от толщины отражающего пласта и от характера неровностей отражающей поверхности. Выполним анализ спектра импульса ОБ и выделим «тонкие» и «толстые» слои, а также контрастные, шероховатые и матовые границы. Если при этом выявится закономерное смещение спектра отражений от последовательности пластов, то можно говорить об обнаружении циклита (рис. XII.2). Для такого анализа берут несколько трасс сейсмической записи (участок профиля), подавая их поочередно на входы фильтров, пропускающих все более высокочастотный интервал спектра этих записей. Такая серия записей с возрастанием слева направо частотного интервала пропускания фильтров, называется **сван – колонкой** (рис. XII.2). Последовательное смещение наибольших амплитуд ОБ в одну сторону вдоль оси частот позволяет выделять циклиты того или иного типа. И, наконец, отражение от неровной границы может иметь наибольшую амплитуду на высокочастотных фильтрациях, протягиваясь недалеко в область более низких частот (шероховатая граница), или существует только в области более низких частот (матовая граница). Отражение от толстого пласта или от контрастной границы на сван – колонке будет самым протяженным.

Сван-анализ, выполненный по обе стороны от соляного купола (рис. XI.4), позволяет обнаружить одни и те же пласты с двух сторон от него.

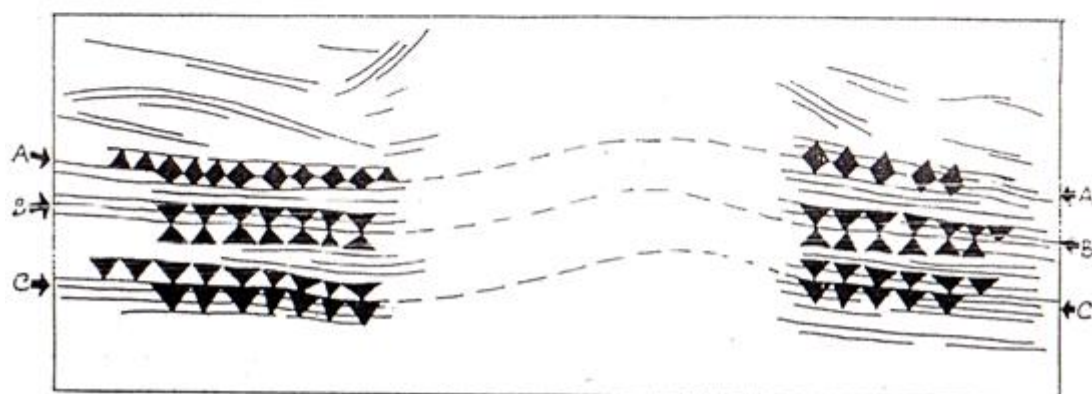
Применение сван-анализа позволяет разделить разрез на различные по рангу пачки пластов.

Обнаружение пачек слоев, объединенных в циклиты, позволяет прогнозировать наиболее вероятное положение коллекторов и флюидоупоров среди этих слоев.

Для некоторых районов удастся выявлять закономерное расположение пластов – коллекторов с залежами УВ относительно границ циклитов. Поэтому выделение циклитов позволяет еще до бурения прогнозировать положение продуктивных пластов.



a



б

Рис. XI. 4. Пример идентификации одноименных толщ по обе стороны от соляного купола при помощи методики СВАН:

a – фрагмент временного разреза ОГТ, характерного для областей развития соляно-купольной тектоники. *б* – сейсмоциклический разрез, позволяющий однозначно отождествить через зону потери корреляции волновые пакеты А, Б и Ц (по: [Мушин И.А.](#))

Совокупность циклитов в разрезе позволяет достоверно проследить одноименные границы по обе стороны от разлома и точнее определить амплитуду смещения блоков по нему.

ТЕМА XIII. МГНОВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ

XIII.1. Комплексное представление сейсмической волны. Сейсмическую волну (упругое колебание) можно представить как аналитический сигнал, т.е. комплексную функцию, имеющую действительную и мнимую части. Из них только действительная часть записывается в поле в виде скорости колебания частиц с помощью сейсμοприемников на суше, или в виде изменения давления с помощью геофонов в море: $g(t) = R(t) \cos \Theta(t)$, где $R(t)$ – амплитуда сейсмического сигнала, а $\Theta(t)$ – его фаза *c*

Комплексную функцию $\bar{G}(t) = g(t) + ih(t)$ сейсмического сигнала описывает вектор, вращающейся вокруг оси t и перпендикулярный к ней (рис. XIII.1).

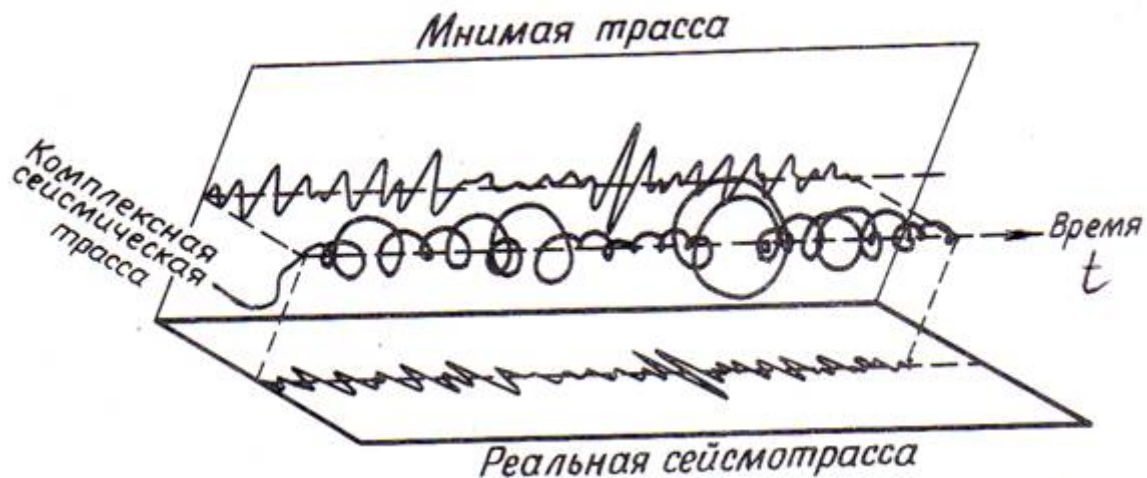


Рис. XIII.1. Комплексная сейсмическая трасса, образуемая вращающимся вектором, длина которого и угол поворота являются функциями времени.

Фактическая сейсмическая трасса является проекцией этого вектора на действительную плоскость, а мнимая трасса есть его проекция на мнимую плоскость

Функция $\bar{G}(t)$, спроектированная на мнимую плоскость, дает мнимую трассу: $h(t) = R(t)\sin\Theta(t)$. по зарегистрированной в поле действительной части $g(t)$, повернув ее на 90° , можно вычислить мнимую часть $h(t)$.

Рассмотрим, каков физический смысл мнимой и действительной частей сейсмической записи. Сейсмическая волна вызывает упругие колебательные движения частиц среды, выводя их из положения равновесия и поэтому может характеризоваться кинетической энергией движущейся частицы (рис. XIII.2).

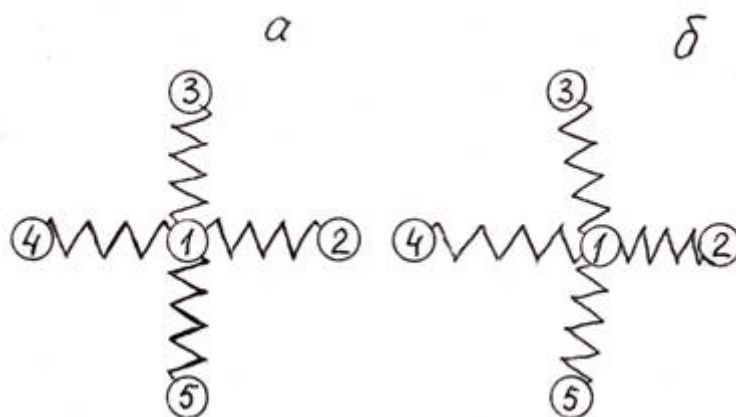


Рис. XIII.2. Модель распространения колебательного движения:

- a – частица 1 с максимальной скоростью проходит состояние равновесия пружин. Ее кинематическая энергия максимальна. Пружины не сжаты и не растянуты. Их потенциальная энергия $= 0$;
- b – частица 1 вышла из состояния равновесия и достигла предела отклонения. Кинематическая энергия частицы равна нулю, а потенциальная энергия сжатых и растянутых пружин максимальна

Обычная сейсмотрасса $g(t)$, записанная в поле, отражает изменение этой кинетической энергии во времени. Колебательному движению частиц препятствуют упругие силы, связывающие между собой соседние частицы 1, 2, 3, 4, 5 (на модели эти силы представлены пружинами). Под действием упругих

сил движение частицы 1 замедляется, т.е. ее кинетическая энергия переходит в потенциальную энергию упругой связи между частицами (энергию сжатых или растянутых участков породы или энергию сжатых или растянутых пружин на модели). Для приведения в движение следующей частицы 2 расходуется эта потенциальная энергия, переходя в кинематическую энергию движущейся частицы 2, и т.д. Таким образом, упругие колебания распространяются в пространстве, вызывая взаимные переходы кинетической энергии в потенциальную и обратно. Когда частица 1 сместится на максимальное расстояние, перестанет двигаться, ее кинетическая энергия станет равной 0, а потенциальная энергия сжатых и растянутых пружин станет максимальной (рис. XIII.2, а). Таким образом, между изменениями кинетической энергии и потенциальной существует сдвиг фаз в 90° .

Изменение потенциальной энергии отображает мнимая трасса $h(t)$.

XIII.2. Мгновенные параметры. Систему уравнений для действительной $g(t)$ и мнимой $h(t)$ составляющих, колебательного движения можно решить относительно $R(t)$ и $\Theta(t)$.

Величина $R(t) = \sqrt{g(t)^2 + h(t)^2}$ называется **мгновенной амплитудой**, а величина

$\Theta(t) = \arctg \left| \frac{h(t)}{g(t)} \right|$ называется **мгновенной фазой**.

Производная мгновенной фазы по времени $\frac{\partial \Theta(t)}{\partial t}$ называется **мгновенной частотой**.

XIII.2.1. Разрез мгновенных амплитуд. Мгновенная амплитуда – это огибающая действительной $g(t)$ и мнимой $h(t)$ составляющих сейсмического сигнала. Огибающая достигает наибольшей величины не обязательно там, где находится максимум $g(t)$, и этим мгновенная амплитуда отличается от просто амплитуды. Поэтому мгновенная амплитуда несет существенно другую информацию, чем обычная амплитуда записи сейсмической волны $g(t)$, так как учитывает не только изменение кинетической энергии $g(t)$, но и изменение потенциальной энергии $h(t)$. Мгновенная амплитуда $R(t)$ изображается в цвете. Цвет зависит от величины $R(t)$ и позволяет наглядно изобразить на плоском листе три величины: координаты x и t и величину мгновенной амплитуды $R(t)$. На разрезе мгновенной амплитуды можно например проследить слой с интенсивным отражением среди других слоев, характеризующихся менее интенсивными отражениями. Такой контрастный слой называется опорным. Он обычно сохраняет свой вид, свои параметры на протяжении десятков и сотен километров. От опорных слоев отсчитывают время прихода отражений от других слоев.

Изменение мгновенной амплитуды вдоль слоя может быть связано с изменением литологии или пористости, или со сменой флюида, насыщающего коллектор. На разрезе мгновенной амплитуды лучше всего выделяется более интенсивное (реже менее интенсивное) отражение от участка коллектора, насыщенного УВ и именуемое «светлым» (или «блеклым») пластом.

Уменьшение амплитуды отражений от различных пластов вдоль узкой субвертикальной зоны свидетельствует о тектоническом нарушении. Все эти, и многие другие особенности разреза, влияющие на амплитуду отражения, хорошо подчеркиваются на разрезе мгновенных амплитуд.

XIII.2.2. Разрез мгновенных фаз. Вдоль поверхности несогласия часто резко меняется коэффициент отражения и мгновенная амплитуда, если эта граница на различных ее участках подстилается различными выклинивающимися породами с различными скоростями (рис. XIII.3).

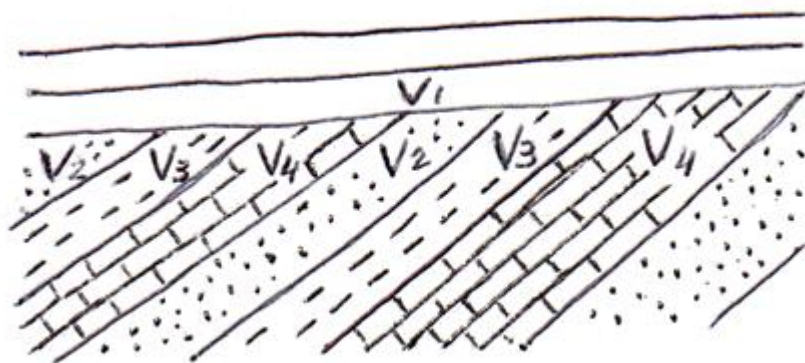


Рис. XIII.3. Граница несогласия с меняющимся перепадом акустической жесткости на ней

Такую границу чаще всего не удастся проследить на обычных временных разрезах или на разрезах мгновенных амплитуд в связи с резкими перепадами амплитуд отражения от нее. Вместе с тем мгновенная фаза такого отражения не меняется, и поэтому с ее помощью удастся уверенно проследить такую границу. При этом уточняются координаты выклинивания пластов, а для выклинивающегося коллектора они могут быть координатами ловушки.

Мгновенная фаза не зависит от амплитуды и может меняться резко. И поэтому с ее помощью можно проследить границу с меняющейся амплитудой. На разрезе мгновенных фаз можно также увидеть наиболее мелкие особенности разреза, например изгибы пластов около тектонических разрывных нарушений и саму зону дробления. Здесь также хорошо видно выклинивание пластов. Однако смену фазы на обратную мгновенная фаза различить не может. Для этой цели используют разрез полярности.

XIII.2.3. Разрез полярности. Сразу после момента прихода отражения от границы амплитуда колебаний может увеличиваться до максимума или уменьшаться до минимума, а затем продолжает изменяться в соответствии с колебательным движением. Будет ли сразу достигнут максимум или минимум сигнала, т.е. какова полярность колебаний, зависит от того, уменьшается или увеличивается акустическая жесткость пород при пересечении границы. Сведения о полярности представляют собой ценную геологическую информацию о литологии, или пористости, или даже о типе флюида в порах коллектора, подстилающего отражающую границу.

Полярность определяется в точках, где мгновенная амплитуда достигает максимума или минимума. Она изображается двумя цветами, причем густота цвета зависит от амплитуды максимума (один цвет) или минимума (другой цвет). По изображению полярности судят об увеличении или уменьшении акустической жесткости после пересечения границы, т.е. об изменении литологии, или плотности, или пористости, или типе флюида, насыщающего коллектор в подстилающем границу пласте, а также о величине перепада акустической жесткости. Самый большой перепад акустической жесткости вызывает залежь газа, которая изображается самым ярким цветом на разрезе полярности.

XIII.2.4. Разрез мгновенных частот. Мгновенная частота – это производная от мгновенной

$$\frac{\partial \theta}{\partial t}$$

фазы по времени $\frac{\partial \theta}{\partial t}$. Она характеризует точку и может меняться очень резко, что используют для выделения непротяженных объектов, например, тектонических зон, линз иного литологического состава и т.д. Разрез мгновенных частот в чем-то аналогичен результату спектрального анализа. В некоторых районах он позволяет выделить участки коллекторов, насыщенных газом или нефтью, так как в отражениях от их подошвы наблюдаются аномалии понижения частот ввиду сильного избирательного затухания наиболее высоких частот спектра сейсмического импульса в газах и нефти.

ВИДЫ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРЕЗА	ОСОБЕННОСТИ РАЗРЕЗА	ФАЗА	АМПЛИТУДА	ПОЛЯРНОСТЬ	ЧАСТОТА
	КОРРЕЛЯЦИЯ ВОЛН	ПРИДАЕТ НЕПРЕРЫВНОСТЬ ОТРАЖЕНИЯМ С ПЕРЕМЕННОЙ И СЛАБОЙ АМПЛИТУДОЙ			
СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ	ГРАНИЦА НЕСОГЛАСИЯ	ПОДЧЕРКИВАЕТ НЕСОГЛАСИЕ	ВЫСОКАЯ, ИЗМЕНЧИВАЯ	МОЖЕТ БЫТЬ ИЗМЕНЧИВОЙ	ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ВЫСОКАЯ, ИЗМЕНЧИВАЯ
	РАЗЛОМ	ПОДЧЕРКИВАЕТ	ПОДЧЕРКИВАЕТ	ПОМОГАЮТ ПРОСЛЕДИТЬ ОТРАЖЕНИЕ ПО ОБЕ СТОРОНЫ ОТ РАЗЛОМА	
	ТЕКТОНИЧЕСКАЯ ЗОНА ТРЕЩИНОВАТОСТИ	ХАОТИЧЕСКИЙ РИСУНОК	НИЗКАЯ	—	НИЗКАЯ
СЕДИМЕНТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ	ПЕРЕРЫВ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ ИЛИ СМЕНА ЛИТОЛОГИИ	ПОДЧЕРКИВАЕТ СХЕМЫ ПОДОШВЕННОГО НАЛЕГАНИЯ, ПРИЛЕГАНИЯ И ПРОЧЕЕ	МОЖНО ОБНАРУЖИТЬ ПЕРЕХОДЫ ОТ ТЕРРИГЕННЫХ ПОРОД К КАРБОНАТНЫМ И ОБРАТНО		УМЕРЕННО ВЫСОКАЯ, РЕЗКАЯ СМЕНА РИСУНКА
	ВЫКЛИНИВАНИЕ	ЧЕТКО ВЫДЕЛЯЕТ	ИЗМЕНЕНИЕ РИСУНКА		СИЛЬНО МЕНЯЕТСЯ СО СМЕНОЙ ТОЛЩИНЫ ПЛАСТА
	ПРОГРАДАЦИЯ (БОКОВОЕ НАРАЩИВАНИЕ)	ЧЕТКО ВЫРИСОВЫВАЕТ КЛИНОФОРМЫ	—	—	—
	ТУРБИДИТЫ	ХАОТИЧЕСКАЯ ЗАПИСЬ	—	—	—
	РИФЫ	ОСОБЫЙ РИСУНОК	ПЕРЕРЫВЫ В РИСУНКЕ		НИЗКАЯ
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛЮИДА	ГАЗ	—	ЧАЩЕ ВЫСОКАЯ	ЧАЩЕ ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ	НИЗКАЯ
	ЯРКОЕ ПЯТНО	ЧЕТКО ВЫДЕЛЯЕТ	ВЫСОКАЯ	ЧАСТО ПОДЧЕРКИВАЕТ	—
	КРАЯ ЗАЛЕЖИ	ВИДНЫ: ДИФРАКЦИЯ И ИСКРИВЛЕНИЕ ОТРАЖЕНИЯ	—	—	РЕЗКО МЕНЯЕТСЯ
	ВНК, ВГК	ЧЕТКО РИСУЕТ ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ ЛИНИЮ	ПОДЧЕРКИВАЕТ АМПЛИТУДУ	ВЫДЕЛЯЕТ ГНК ПО ОТРИЦАТ.ЗНАКУ	НИЗКАЯ, РЕЗКО МЕНЯЕТСЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ ЧЕРЕЗ КРАЯ ГНК И ВНК

Мгновенная частота позволяет обнаруживать различные неоднородности в пласте, подчеркивает изменения его толщины вплоть до выклинивания, фиксирует ГВК и ВНК, позволяет обнаруживать тектонические зоны. В последних также избирательно сильно затухают наиболее высокочастотные составляющие спектра сейсмических колебаний ([14, стр. 539-558](#)).

XIII.2.5. Возможность изучения особенностей разреза с помощью мгновенных параметров показана в таблице.

ТЕМА XIV. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ТРЕХМЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ, ДАННЫХ ГИС И БУРЕНИЯ ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ СЛОЖНОПОСТОРОВЕННЫХ РЕЗЕРВУАРОВ УВ

После подтверждения прогноза нефтегазоносности двумя-тремя скважинами с дебитом УВ необходимо создать объемную модель месторождения для подсчета запасов и проектирования рациональной схемы разработки.

Разведочное и эксплуатационное бурение, геофизические исследования скважин (ГИС), профильная и площадная трехмерная сейсморазведка позволяют детально изучить внутреннее строение резервуаров. Они чаще всего сложны и неоднородны по коллекторским свойствам, затрудняющим поддержание высокой нефтеотдачи из-за обводнения скважин, особенно по тектоническим зонам дробления. Экономически выгоднее и эффективнее выполнить доразведку месторождений с помощью трехмерной сейсморазведки, а не только по данным бурения. Последнее дает точечные сведения, и поэтому за пределами залежи, обнаруженной бурением, может располагаться не вскрытая бурением соседняя залежь, либо между скважинами залежь может прерываться. Сейсморазведка может выявить прекращение нефтегазонасыщенности песчаного коллектора. На участке потери пористости песчаника за счет его глинизации наблюдается изменение формы отражения, его «взломанность». Глинизация,

вызывающая потерю нефтегазонасыщенности коллектора по другим причинам влияет на K_{omp} и на спектр отражения.

Сейсморазведка, развивая исследования коллектора, опирается на бурение, эталонируя свои данные, переводит их на язык вещества и обосновывает расположение следующих поисковых скважин. Таким образом, выполняется взаимная корректировка направления дальнейших геофизических и буровых работ.

ХИУ.1. Преимущества применения трехмерной высокоразрешающей сейсморазведки для изучения внутреннего строения резервуара

ХИУ.1.1. Увеличение отношения сигнал/помеха. Более четкое изображение достигается за счет:

ХИУ.1.1.1. суммирования по МОГТ большого количества сигналов на площади, чем на профиле, лучшее осреднение условий создания и приема сейсмических сигналов, осреднение случайных микросейсм;

ХИУ.1.1.2. площадной системы подавления волны Релея и других помех;

ХИУ.1.1.3 более тщательного подавления петель и годографов дифрагированных волн в трехмерном пространстве, так как в этом случае подавляются и все боковые сигналы, пришедшие за пределами вертикального разреза;

ХИУ.1.1.4. лучшей корреляции формы сигнала при деконволюции, особенно по данным ВСП;

ХИУ.1.1.5. лучшей корреляции фазовых сдвигов, вносимых ЗМС в результате выполнения трех этапов внесения статических поправок.

ХИУ.1.2. Улучшение горизонтальной разрешающей способности сейсморазведки осуществляется с помощью:

ХИУ.1.2.1. трехмерной коррекции [сейсмического сноса](#) (трехмерной [миграции](#));

ХИУ.1.2.2. восстановления сложных криволинейных поверхностей – границ осадочных тел в трехмерном пространстве;

ХИУ.1.2.3. более точного построения поверхностей сместителей тектонических нарушений в трехмерном пространстве.

ХИУ.1.3. Появляется возможность строить горизонтальные срезы с как угодно малым шагом по вертикали и таким образом детально картировать сложные по форме отражающие границы, например включающие в себя тела заполнения русел рек. Изучая изменения амплитуды отраженных волн от поверхностей таких тел, удастся выделять в них коллекторы и по «светлому» пятну – залежи УВ в них.

ХИУ.1.4. Надежная увязка геологических границ, по данным скважин, ВСП, ГИС и по сейсмическим данным. Для этого из системы параллельных разрезов выбирают разрезы, проходящие через скважины.

ХИУ.2. Совместная интерпретация данных трехмерной сейсморазведки, ВСП, ГИС и бурения. Для построения объемной модели резервуара используют данные трехмерной высокоразрешающей высокочастотной сейсморазведки, ВСП, ГИС, исследования керна, а также сведения о гидродинамике, т.е. о распределении проницаемости по данным о поглощении воды через скважины, по которым закачивают воду для законтурного обводнения. Все эти сведения представляют в едином масштабе для одного участка резервуара. Затем эти данные обобщают в интерактивных вычислительных системах, снабженных специальными программами, которые позволяют осуществлять графический диалог интерпретатора с вычислительной машиной. Видеть промежуточный результат и контролировать процесс обработки и интерпретации. В России такая система называется ГЕРМЕС-2 (геофизическая разведка месторождения), в США – «Лэндмарк», во Франции – «Интерпрет». Сети интерактивных систем связаны с мощными компьютерами. Главное достоинство таких систем заключается в скорости реакции, выборе интерпретатором одного из нескольких возможных решений, не противоречащих фактическим данным.

Для комплексирования данных ГИС и сейсморазведки необходимо точнее привязать время и глубину, что достигается с помощью данных ВСП. Для этого трассы ВСП совмещаются с соседними со скважиной трассами поверхностной площадной сейсморазведки, выбирая масштаб глубин по данным ВСП, совместимый с масштабом временем МОГТ. Увязывают одни и те же отражения на всех этих трассах и вносят поправки в величины $V_{омт}$ до совмещения трасс, выполняя сжатие или растяжение трасс МОГТ. Затем сюда же помещают данные ГИС: ПС, ГК, ГГК, ГНК и др. Для совмещения данных МОГТ с данными скважинных исследований (ВСП, ГИС) из данных площадных сейсмических исследований синтезируют

временной разрез, проходящий точно через скважины, в которых были выполнены эти исследования. Полученная модель проверяется по сходству синтетических трасс с наблюдаемыми трассами поверхностной сейсморазведки на пикетах, ближайших к скважинам. Кроме того, на всех материалах ГИС, ВСП и МОГТ должны совпадать признаки отображения геологических объектов. При этом ошибки должны быть минимальными в определении их глубин. Например, в Западной Сибири эти ошибки не превышают 7 м. В объемных изображениях объекта горизонты трассируются с шагом 25 м. Итеративная система позволяет перелистывать любые последовательности вертикальных разрезов и горизонтальные срезы с различными координатами t (сек). Таким способом уточняют положение перспективных горизонтов и выделяют участки для их детального анализа. Наконец, выбирают наиболее интересные разрезы для составления куба с вырезом (рис. XIV.1).

XIV.3. Построение геологической модели резервуара. Главный результат построения геологической модели резервуара – это трассирование кровли и подошвы каждой из уже известных продуктивных пачек. Это можно осуществить двумя способами.

XIV.3.1. Трассируют фазы ОВ по горизонтальным срезам. Отмечают линии равного времени отражений – изохроны, соответствующие подошве и кровле продуктивного пласта. Это повторяется на серии горизонтальных срезов; по ним строят кровли и подошвы продуктивных пачек в трехмерном пространстве.

XIV.3.2 Трассируют кровлю и подошву каждого продуктивного пласта на вертикальных разрезах, листая разрез за разрезом и отмечая линии нарушений. Затем строят рельефы кровель и подошв продуктивных пластов и сверяют их с построениями по горизонтальным срезам.

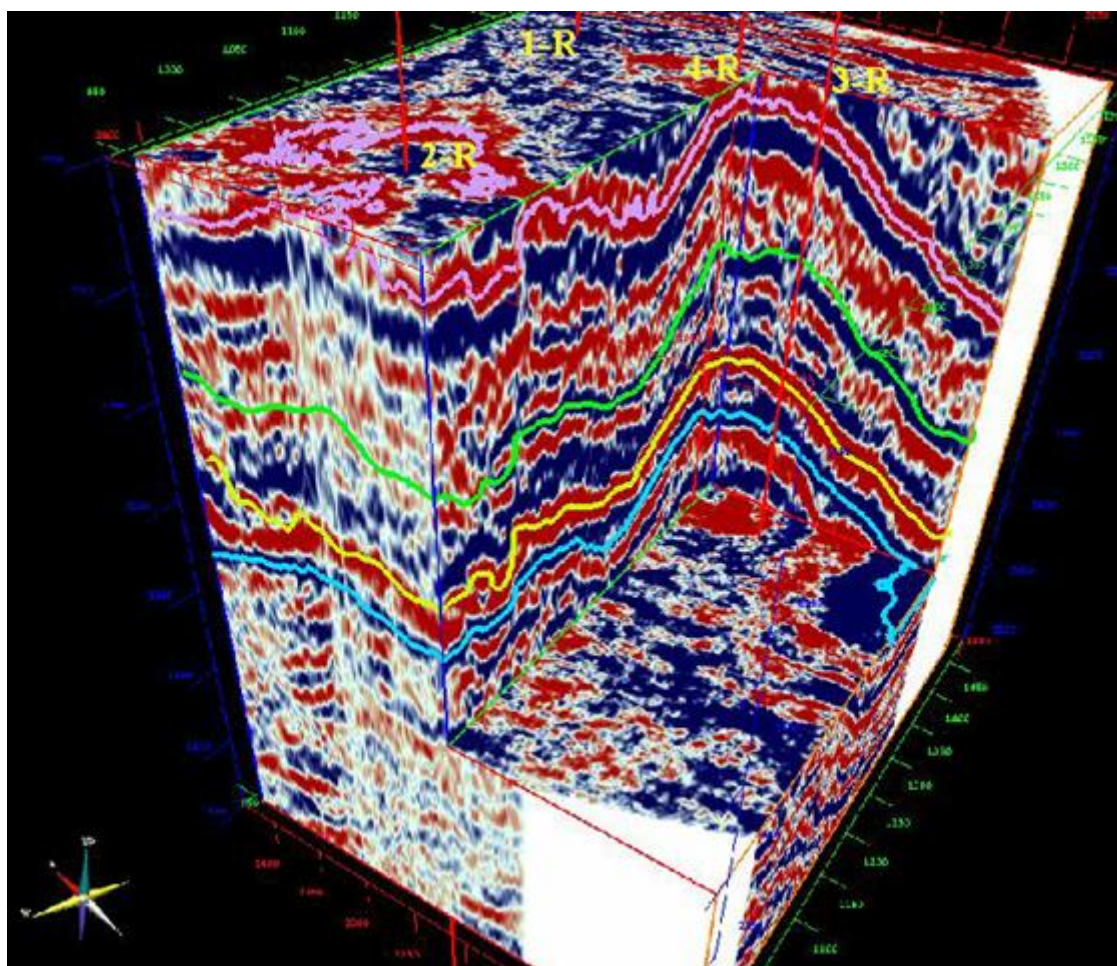


Рис. XIV.1. Использование данных 3D сейсморазведки для объемного изображения структуры

Информация, полученная каждым из методов МОГТ, ГИС и ВСП наносится своим цветом на одном экране. Такое представление материала позволяет проверить их увязку и оценить достоверность выделения и прослеживания продуктивных пластов.

XIV.3.3. Анализ продуктивных пластов.

XIV.3.3.1. Палеотектонический анализ и реконструкция заключаются в выравнивании, перемещении, изгибании отдельных фрагментов таким образом, чтобы границы, бывшие заведомо плоскими покровами до тектонических движений, стали снова плоскими. Для этого трассируются нарушения и определяются направления и амплитуды смещений или изгибов по ним. В результате восстанавливается первоначальная форма осадочных тел.

XIV.3.3.2. Анализ формы осадочных тел и характера отражений от их границ должен учесть степень изменения этой формы в результате эрозий. Она обнаруживается по структурным несогласиям, видимым на сейсмическом разрезе высокого разрешения и по данным ГИС. Все это выполняется в трехмерном пространстве, в том числе изучается изменение амплитуды отражения. Сумма этих данных позволяет изучить например сложные песчаные отложения палеодолины, выделяющиеся по высокой амплитуде отражения и таким образом определяется генезис ловушки.

XIV.3.3.3. Строят модель месторождения со всеми неоднородностями: пористости, проницаемости и нефтегазонасыщенности по увязанным данным ГИС, петрофизики, керна, сейсморазведки, закачки воды. При этом достигается предел вертикальной разрешенности около 10 м и точность до ± 4 м. Пористость удается прогнозировать с помощью разрезов псевдоакустического каротажа. При оценке проницаемости учитываются тектонические нарушения и обводнения эксплуатационных скважин в результате закачки воды через скважины, пробуренные за пределами контура месторождения.

XIV.4. Применение электроразведки для детального изучения месторождения УВ. С развитием техники и совершенствованием методики электроразведки появилась возможность построения в трехмерном пространстве геоэлектрического разреза с нанесенными на него границами между объектами, отличающимися по удельному электрическому сопротивлению ρ и по поляризуемости η . Разумеется, точность определения глубины до этих объектов у электроразведки меньше, чем у сейсморазведки. Но возможность определить геологическую природу объектов по перепаду электрических ρ и η и упругих V и σ физических параметров довольно высока. Так, при небольшой доле углеводородов, содержащихся в коллекторе при пористости в нем 5-10%, его акустическая жесткость $V\sigma$ может измениться незначительно. Тогда и амплитуда отражения от кровли залежи не намного изменится по сравнению с амплитудой отражения от коллектора, заполненного водой. На геоэлектрическом разрезе такая залежь будет выделена. Или, например, разница в акустической жесткости пласта-покрышки (флюидоупора) и продуктивного пласта может быть небольшой и отражение от его кровли окажется в этом случае слабым. Но разница в поляризуемости и удельном электрическом сопротивлении будет скорее всего значительной так как вода хороший проводник, а углеводороды – практически изоляторы. Такие объекты удастся точно нанести на разрез, если достоверно установить идентичность между слабыми отражающими границами и границами между породами, отличающимися по электрическим свойствам. На таких разрезах, построенных по увязанным сейсмическим и электрометрическим данным, можно проследить различные элементы разреза, например тектонические нарушения (рис. XIV.2), органогенные постройки (рис. XIV.3) и, наконец, залежи углеводородов (рис. XIV.4).

Последнее особенно ценно для поисков залежей, так как использование данных только одного из этих двух геофизических методов иногда приводит к неуверенным выводам. Поэтому рассмотрим методику электроразведки и электрометрическую модель залежи углеводородов подробнее.

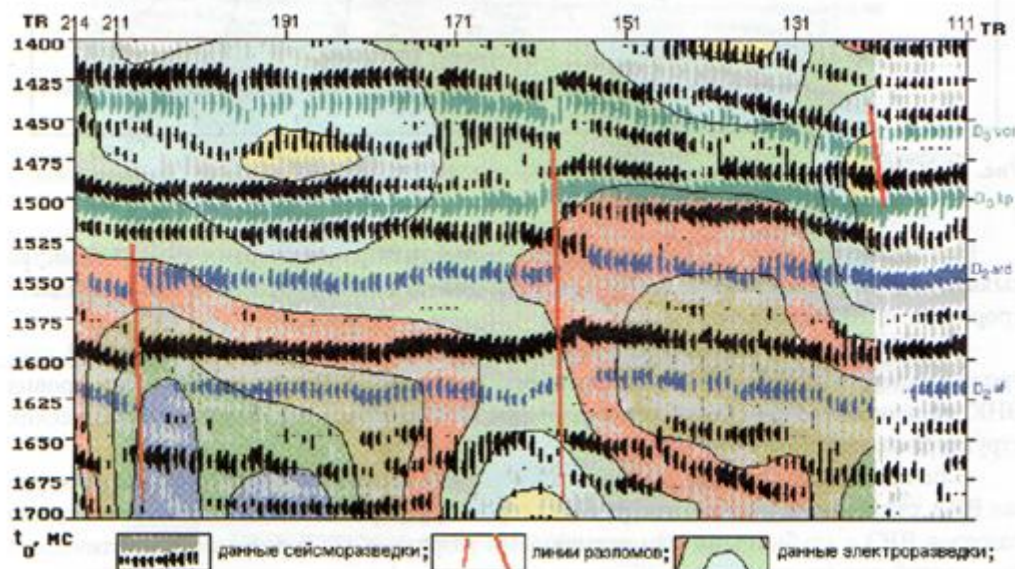


Рис. XIV.2. Сейсмоэлектрический разрез через разрывные нарушения (по: А.В.Овчаренко (11))

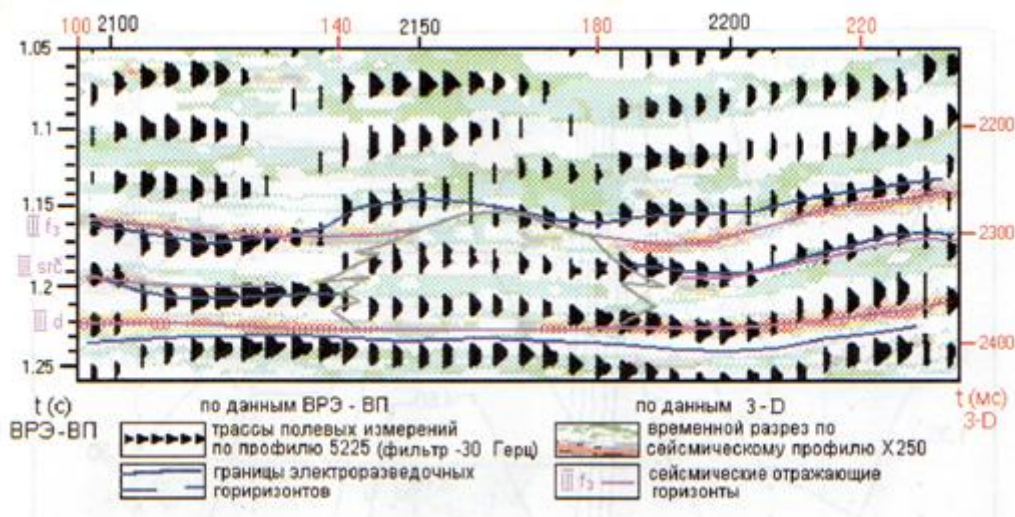


Рис. XIV.3. Сейсмоэлектрический временной разрез через органогенную постройку (по: А.В. Овчаренко (11))

Разумеется, залежь УВ с горизонтальными размерами в первые км и толщиной до десятков метров на глубинах 2-4 км – довольно мелкий объект и для его обнаружения электроразведкой необходимо использовать все особенности его электрических параметров: удельное электрическое сопротивление и поляризуемость. Необходимо объединить метод магнитотеллурического зондирования и метод вызванной поляризации (ВРЭ–ВП). Для этого через питающую цепь АБ размером в несколько километров пропускают импульсы тока, а на площади исследования в шахматном порядке располагают измерительные устройства, каждое из которых состоит из двух электродов и измерительной рамки. Таким образом, измеряются одновременно компоненты электрического поля E_x и производная

$$\frac{\partial B_z}{\partial t}$$

магнитного поля $\frac{\partial B_z}{\partial t}$.

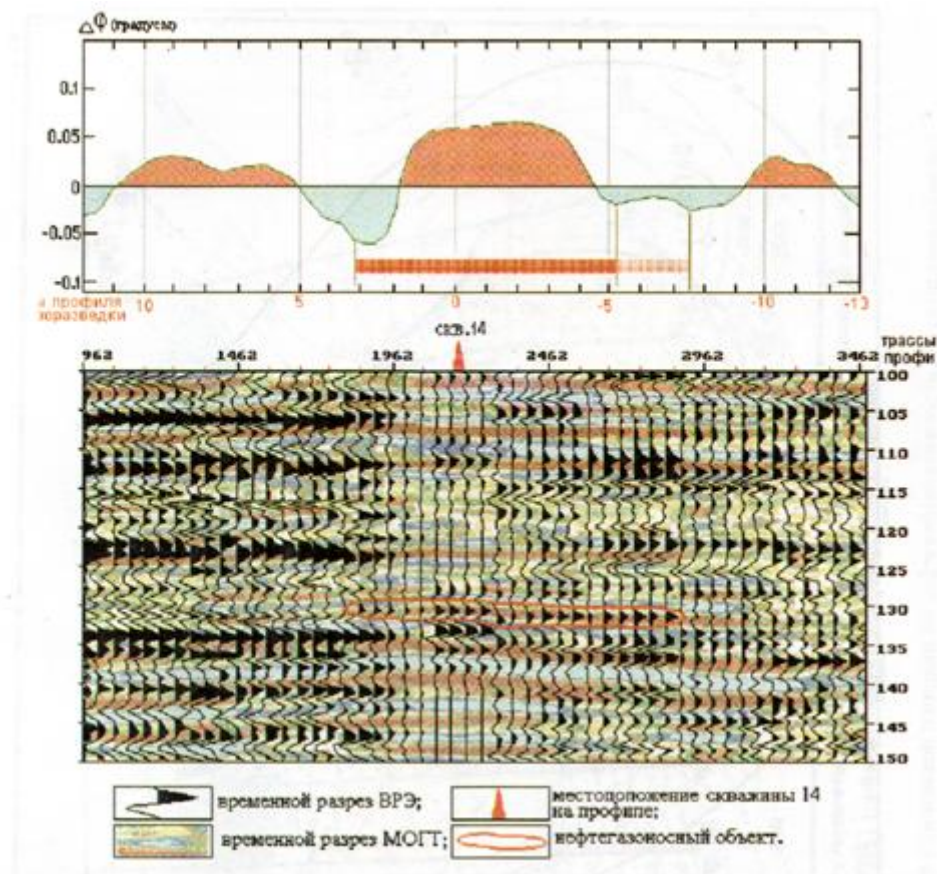


Рис. XIV.4. Выявления залежи УВ на временном разрезе ВРЭ и МОГТ и график $\Delta\varphi$ (по: [А.В. Овчаренко \(11\)](#))

На этапе разведки месторождения, когда имеется разведочная скважина, на поверхности вдоль линий, исходящих из скважин, устанавливаются пары электродов, измеряющих компоненты E_x и E_r электрического поля, а в скважине располагаются питающие электроды. Меняя их глубину, выявляют продуктивные части разреза.

Рассмотрим модель залежи и изменение над ней величин поляризуемости η , продольной проводимости S_a кажущегося удельного электрического сопротивления ρ_k и разности фаз между первой и третьей гармониками электрического поля $\Delta\varphi$ (рис. XIV.5).

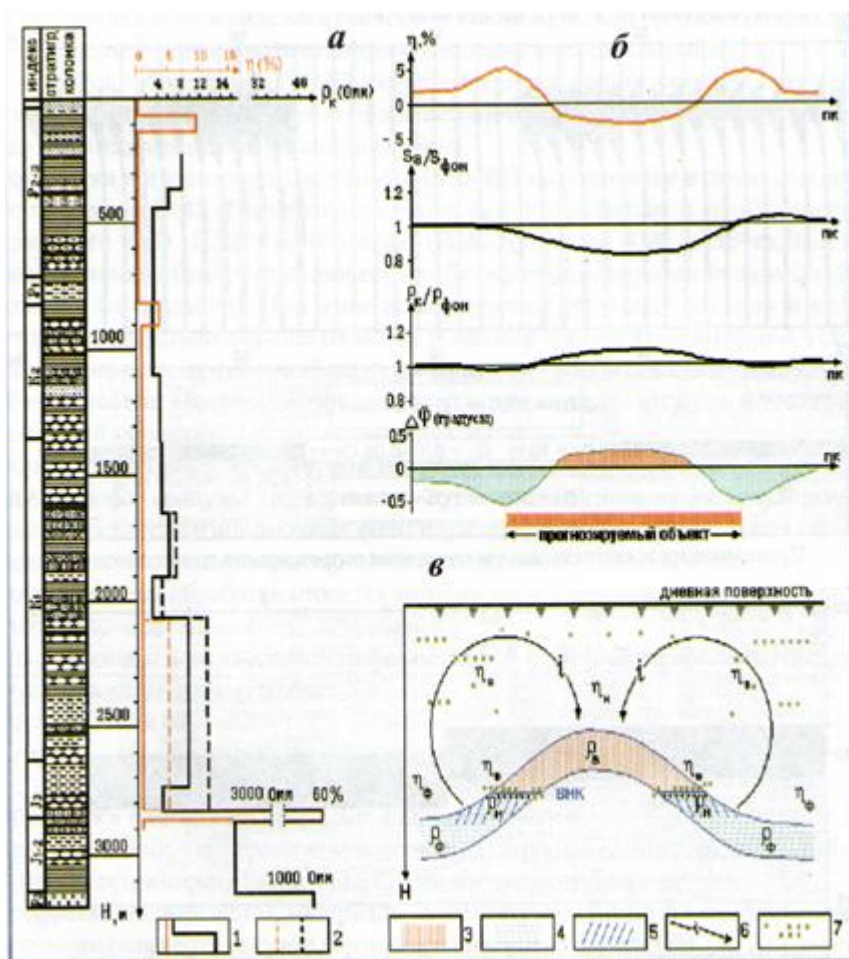


Рис. XIV.5. Геоэлектрическая модель залежи УВ:

а – геоэлектрический разрез; *б* – характерные графики вдоль профиля; *в* – модель залежи: 1 – графики ρ (черный) и η (красный) вне контура залежи; 2 – графики ρ (черный пунктир) и η (красный пунктир) в пределах контура залежи; 3 – нефтенасыщенная часть продуктивного пласта; 4 – водонасыщенная часть пласта; 5 – зона повышенной минерализации пластовых вод; 6 – направление естественных токов; 7 – перитизация;

$\rho_{фг}$, $\rho_{вг}$, $\rho_{н}$ и $\eta_{фг}$, $\eta_{вг}$, $\eta_{н}$ – значения сопротивления и поляризуемости пород (ϕ – фоновые, $в$ – повышенные, $н$ – пониженные (по: [А.В. Овчаренко \(11\)](#)))

Здесь же показано изменение кажущегося удельного сопротивления и поляризуемости вдоль скважины. Продуктивный слой выделяется по резкому изменению этих параметров (рис. XIV.4 и рис. XIV.5).

XIV.5. Зоны деструкции и нефтеносность. При высокоточных площадных сейсмических исследованиях повышенной разрешенности в условиях низкого фона помех обнаруживаются зоны пониженных амплитуд отраженных волн, или зоны деструкции диаметром до первых километров. Эти столбообразные субвертикальные зоны, в пределах которых амплитуды отражений от границ жестких пород уменьшаются в несколько раз, а отражения от границ более пластичных пород сохраняются. Кроме того, толщина пластов жестких и хрупких пород увеличивается особенно сильно на малых глубинах. Если скважина пересечет границу такой зоны деструкции, то эта подвижная зона разрушает, рвет обсадную трубу. При повторном нивелировании выясняется, что в середине зоны деструкции абсолютные отметки точек дневной поверхности растут на 1–2 м в год.

В зоне деструкции создается дополнительная трещиноватость коллекторов, и если это происходит между пластичными флюидоупорами, то такой продуктивный коллектор как насос выкачивает углеводороды из ближайших к зоне деструкций участков того же жесткого коллектора. Если существует многопластовая залежь, то зона деструкции пересекает все продуктивные пласты, так как она всегда существует до больших глубин. Скважина, пробуренная в зоне деструкции, дает резко повышенный дебит нефти, в то время как соседняя скважина, не попавшая в эту зону, но прошедшая через те же продуктивные пласты, дает дебит иногда на порядок меньше.

Хрупкие породы в зоне деструкции обладают повышенной трещиноватостью, созданной воздействием некоторых геологических сил, приложенных снизу. Возможно, что серия таких зон может объединиться в тектоническое разрывное нарушение. Такое предположение основано на том, что с приближением к крупным разрывным нарушениям густота расположения зон деструкции растет. На карте видно, что зоны деструкции располагаются чаще хаотически, но например над зонами проградации на континентальном склоне они выстраиваются параллельно палеокромкам шельфа, т.е. вдоль простирания клиноформ.

ТЕМА XV. ПРЯМЫЕ ПОИСКИ ЗАЛЕЖЕЙ УВ

Залежь УВ представляет собой значительную неоднородность для различных физических полей. Кроме того, в процессе формирования скоплений УВ происходят изменения во вмещающих породах, увеличивающих эту неоднородность.

Внутреннее строение и распределение физических параметров в залежи и во вмещающих ее породах весьма сложно. Рассмотрим модель простейшей залежи, локализуемой в пределах участка пласта – коллектора, смятого в антиклинальную складку (рис. XV.1). В залежи нефти, а еще сильнее в залежи газа, уменьшается скорость продольной волны при сохранении скорости поперечной волны. Затухание сейсмических волн увеличивается в залежи до 15 раз по сравнению с вмещающими породами. Особенно сильно затухают высокочастотные составляющие спектра сейсмического импульса. Над залежью часто наблюдается зона проникновения газа во флюидоупор. Для этих зон характерно заметное снижение скорости продольных волн при незначительном уменьшении плотности. Плотность пород в залежи по сравнению с плотностью водонасыщенного коллектора понижается на $\Delta \sigma = 0,1-0,25 \text{ т/м}^3$ в случае насыщения коллектора газом и $\Delta \sigma = 0,1-0,15 \text{ т/м}^3$ в случае насыщения его нефтью.

Суммарное удельное электрическое сопротивление коллектора повышается в 10 раз при нефтенасыщении и в 4 раза в случае газонасыщения. Поляризуемость пород в залежи повышается до величины 15% при поляризуемости в водонасыщенном коллекторе и вмещающих пород не более 2-3%.

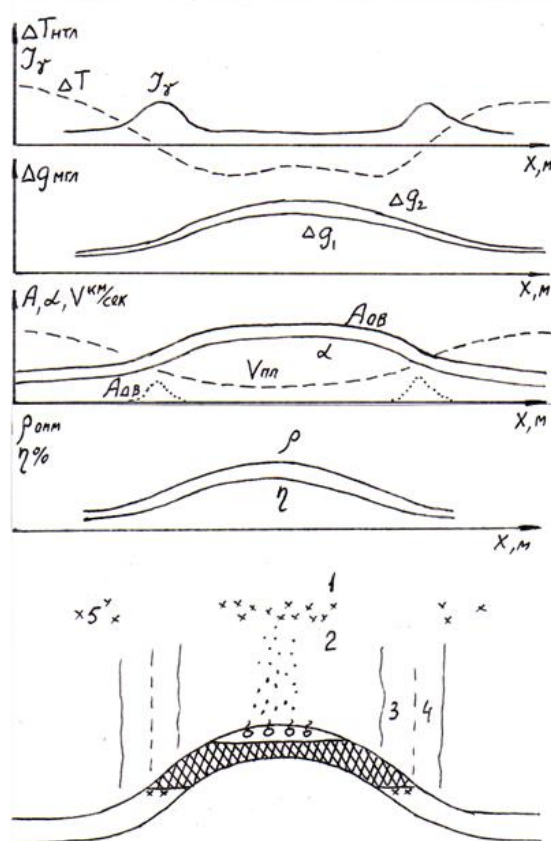


Рис. XV.1. Модель залежи и аномалии физических полей над ней:

- α – затухание волн; $A_{дв}$ – амплитуда дифрагированных волн;
 $A_{ов}$ – амплитуда отраженных волн; $V_{пл}$ – пластовая скорость;
 Δg_1 – аномалия с залежью; Δg_2 – аномалия без залежи;
 ΔT – аномалия полного вектора магнитного поля; I_γ – радиоактивность;
 ρ – удельное электрическое сопротивление; η – поляризуемость;
1 – зона окисления; 2 – зона восстановления; 3 – зона сжатия; 4 – зона растяжения;
5 – пиритизация (по [Г.Г. Кассину \(7\)](#))

Над крыльями антиклинали повышается статическое напряжение в перекрывающих коллектор породах. Напряжение сжатия сменяется напряжением растяжения над границей залежи. В зоне растяжения появляется трещиноватость, благодаря чему падает скорость, плотность и удельное электрическое сопротивление, растет только проницаемость и тепловой поток, который тоже может быть признаком залежи. В зоне сжатия наблюдается противоположное изменение физических параметров.

В процессе формирования скоплений УВ, в результате [миграции](#) УВ и других природных соединений, и в первую очередь метана и сероводорода, над залежью уменьшается окислительно-восстановительный потенциал Eh и увеличивается кислотно-щелочной потенциал pH . Это способствует аномальному минералообразованию вблизи границы между зонами окислительного и восстановительного режимов (рис. XV.1, зона 1-2). Этот процесс происходит над залежью особенно интенсивно в трещиноватых тектонических зонах в терригенных отложениях, содержащих первичные соединения железа, например гематит Fe_2O_3 . Под воздействием углеводородов образуется магнетит Fe_3O_4 , магнитный пирротин Fe_7S_8 и другие.

Под залежью вдоль границы УВ с водой часто формируется запечатывающий слой, сложенный плотными карбонатными породами толщиной от нескольких метров до сотен метров. Плотность этих карбонатных пород на 0,2-0,6 т/м³ больше, чем плотность залежи; их удельное электрическое сопротивление выше, чем в водонасыщенном коллекторе. Карбонатный слой вызывает повышение амплитуды отражений от меж флюидальной границы, вдоль которой он расположен.

Все описанные особенности строения и распределения физических параметров в залежи и во вмещающих ее породах определяют выбор геофизических методов для поисков залежей, а также методику исследований.

XV.1. Магниторазведка. Скопления магнитных минералов над залежью УВ или по их периметру создают в наблюдаемом магнитном поле локальную аномалию величиной 15-20 нТл, а иногда и больше. При интерпретации необходимо выделить в магнитном поле аномалии, связанные со вторичной магнитной минерализацией на фоне аномалий, вызванных первичными магнитными формированиями, сингенетичными осадконакоплением, а так же вторичными магнитными формированиями, образованными чисто химическими процессами, без участия УВ. Для этого учитываются все аномалиеобразующие факторы, не связанные с миграцией УВ и вычитают их из наблюдаемого магнитного поля. Оставшаяся аномалия рассматривается как полезная, связанная с миграцией УВ. Затем используется способ продолжения магнитного поля вниз, через магнитовозмущающие тела. Точки схождения силовых линий дают сведения о расположении скопления вторичных магнитных минералов, ниже которых локализуется залежь УВ (см. [практическое занятие № 12](#)). Такой результат может быть использован для обоснования постановки площадной высокоразрешающей сейсморазведки или электроразведки с целью подтверждения наличия залежи.

XV.2. Гравиразведка. В поле сил тяжести на фоне положительной аномалии Δg от антиклинали, вблизи максимума этой аномалии иногда наблюдается небольшой минимум Δg , связанный с понижением плотности пород коллектора в пределах залежи УВ. Ширина этого минимума лишь незначительно больше горизонтального размера залежи, что не соответствует классической теории Ньютона. В соответствии с ней ширина аномалии Δg должна быть приблизительно втрое больше глубины расположения объекта, вызвавшего эту аномалию. Амплитуда наблюдаемой над залежью аномалии составляет 0,1-0,3 мГл в случае газовой залежи и 0,05-0,15 мГл для залежи нефти. Над антиклиналями без залежи подобного минимума не наблюдается. Используя подобные результаты, А.И. Михайлов создал метод обнаружения УВ с помощью гравиразведки названный им ГОНГ. Он предлагает объяснить описанную выше особенность аномалии тем, что легкая залежь служит «экраном» для сил тяжести, созданных главным образом тяжелым ядром земли. Аномалия является «тенью» от залежи, и поэтому ее ширина лишь незначительно, на 15% больше ширины

«экрана» – залежи (см. [практическое занятие № 12](#)). Связь таких аномалий с залежами подтверждалась бурением в нескольких регионах в 85-90% случаев.

XV.3. Сейсморазведка. Сейсмическим методом выявляют наибольшее число признаков залежи.

XV.3.1. На границе нефтегазонасыщенного участка коллектора с покрышкой часто наблюдается заметный рост амплитуды отраженной волны, называемый «светлое пятно». Реже здесь происходит понижение этой амплитуды («тусклое пятно»). Это явление вызвано уменьшением скорости распространения продольной волны через нефтегазонасыщенный участок коллектора по сравнению со скоростью в водо-насыщенном коллекторе, что вызывает изменение перепада скоростей на участке кровли пласта коллектора с залежью УВ.

XV.3.2. В процессе обработки сейсмических данных МОГТ вычисляются поля пластовых скоростей $V_{пл}$ и выявляется ее уменьшение на участке нефтегазоносности.

XV.3.3. В нефтегазовой залежи до 15 раз растет поглощение энергии упругих колебаний, особенно высокочастотных составляющих их спектра, поэтому залежь может быть обнаружена на разрезах мгновенных параметров как зона пониженных мгновенных амплитуд и частот в отражениях от подошвы залежи.

XV.3.4. Выделяется залежь УВ так же на разрезе затуханий (рис. VII.5).

XV.3.5. В случае нефтегазонасыщения и связанного с ним резкого уменьшения пластовой скорости в коллекторе, на границе залежи может наблюдаться смена полярности отражения от кровли коллектора, хорошо видимая на разрезе полярностей.

XV.3.6. От горизонтальных межфлюидальных границ наблюдаются отражения, часто расположенные несогласно со всеми другими границами разреза (эффект «плоского пятна»).

XV.3.7. В случае даже незначительного проникновения углеводородных газов в покрышку над залежью, здесь заметно снижается пластовая скорость, что приводит к ошибочному построению ложной синклинали над залежью и прогибанием или снижением выпуклости кровли залежи. Эта ошибка может быть исправлена при комплексной обработке сейсмических и высокоточных гравиметрических данных, так как плотность пород покрышки мало меняется при проникновении в нее незначительного количества газов.

XV.3.8. Уменьшение пластовой скорости продольной волны в залежи и связанный с ним эффект «яркого пятна» не повторяется на записи поперечных (обменных) волн, так как они не распространяются через жидкости и газы и на их скорость не влияет смена флюида, в то время как V_p в них падает. Поэтому в залежи падает параметр $\gamma = V_p / V_s$. Эта особенность распространения волн позволяет отбраковать локальные изменения амплитуды отражений, не связанных с залежами УВ.

XV.3.9. Выявлению залежи может способствовать моделирование разреза с залежью и без нее и сравнение синтетической волновой картины с наблюдаемой.

Выявление большинства из перечисленных признаков залежи в сейсмических материалах оказывается возможным или достоверным при благоприятных поверхностных условиях: однородности ЗМС и ограниченного затухания колебаний в ней. Это не часто случается при наблюдениях на суше, но чаще имеет место на море или при ВСП.

Залежь можно спутать по некоторым аналогичным эффектам с участком фациальных изменений, особенно в случае одновременного изменения пористости.

XV.4. Электроразведка. Наиболее результативным методом электроразведки для прямых поисков залежей УВ оказался метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБЗ). Метод широко применяется в Канаде, где он получил название Electroflex. Преимущество метода заключается в том, что он использует одновременно рост удельного электрического сопротивления и поляризации пород. Эффект от роста обоих параметров залежи складывается. Несмотря на небольшой размер залежи по сравнению с глубиной ее локализации, аномалия оказывается достаточной для ее надежного обнаружения на глубинах до 4 км. Метод обычно применяется для оценки нефтегазоносности перспективных структур, обнаруженных сейсмическим методом, например для подтверждения наличия залежей в структурах с «ярким пятном» или в рифах, и т.д. Промышленные помехи и естественные магнитные поля снижают эффективность метода.

Последнее время в нашей стране развиваются работы методом ВРЭ-ВП. С помощью этого метода решается ряд задач, связанных с поисками залежей углеводорода, в том числе удается выделить и прямые признаки залежей (см. [XIV.4](#)).

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания содержат описания практических работ: краткую теорию, методику выполнения работы, контрольные вопросы. В конце дан список литературы.

Готовясь к занятию, студенты должны заранее законспектировать описание лабораторной работы и прочитать свои конспекты лекций, соответствующие разделы учебников и рекомендованной литературы.

Все результаты вычислений или измерений заносятся в заранее подготовленные таблицы.

При защите работы студент должен проявить понимание рассмотренных иллюстраций, уметь объяснить полученный результат, знать теорию работы и ответить на поставленные вопросы.

Практическое занятие №1 ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ.

Студенту выдается осциллографическая запись сейсмических волн, созданных взрывом в скважине.

Все поле ленты пересекают поперечные линии, позволяющие отсчитать время, прошедшее после взрыва. Это время отмечено вдоль верхней и нижней кромок ленты. Момент взрыва записан в виде импульса на верхней трассе (линии), протягивающейся вдоль всей ленты. На остальных 60 трассах записаны сейсмические колебания 60 сейсмоприемников, располагавшихся через 20 метров вдоль прямолинейного профиля.

Осциллографический способ записи сейсмических волн применялся в 60-х годах и относится к аналоговому способу записи, когда записывалась вся кривая в течение необходимого времени после взрыва. Подобную запись нельзя было воспроизвести, чтобы внести поправки, или обработать на ЭВМ. Но эта запись позволяет увидеть форму импульса волны, форму ее оси синфазности, т.е. линии, проходящей через максимум или минимум колебаний. Эта линия соответствует [годографу](#) волны – зависимости времени прихода волны от расстояния от источника до приемника.

Годографы не гладкие, они искривлены. Необходимо обратить внимание, повторяются ли эти искривления на различных годографах на одних и тех же трассах или группах трасс. Если искривления повторяются на всех осях (годографах), то они вызваны неоднородностями в верхней рыхлой части разреза (ЗМС). Сквозь эти неоднородности проходят все волны прежде, чем достичь поверхности, где они записываются сейсмоприемником. Если же искривления не повторяются на всех годографах, то они вызваны неоднородностями, расположенными на глубине, или искривлениями отражающей границы, или изменениями литологического состава вдоль пласта, или тектоническими нарушениями.. Последняя причина может вызвать ступенчатое или волнообразное искривления формы границы. Кроме того, в трещиноватой зоне скорость уменьшается до 2 раз по сравнению с ненарушенной породой.

Подумайте, как можно отличить друг от друга искривления годографов, вызванных перечисленными причинами.

На ленте можно видеть много годографов. Они имеют различную форму. Чем меньше время, на котором зарегистрирована ось, тем больше криволинейность годографа. Причина этого ясна из рисунка 1.1.

Объясните эту причину.

Задание:

На полученной ленте найдите две волны, отраженные от границ, расположенных на различной глубине. Эти волны отмечены в верхней части ленты цифрами I и II.

1. Постройте на миллиметровке годографы этих отраженных волн. Горизонтальный масштаб 1 мм - 4 м. В этом масштабе расстоянию между сейсмоприемниками на профиле, равному 20 метрам, будет соответствовать расстояние между точками годографа, равное 5 мм. Вертикальный масштаб: 1 мм = 1 мсек., или 1 мм = 2 мсек для обоих годографов так, чтобы высота годографа (по оси времени) была не меньше 100 мм.

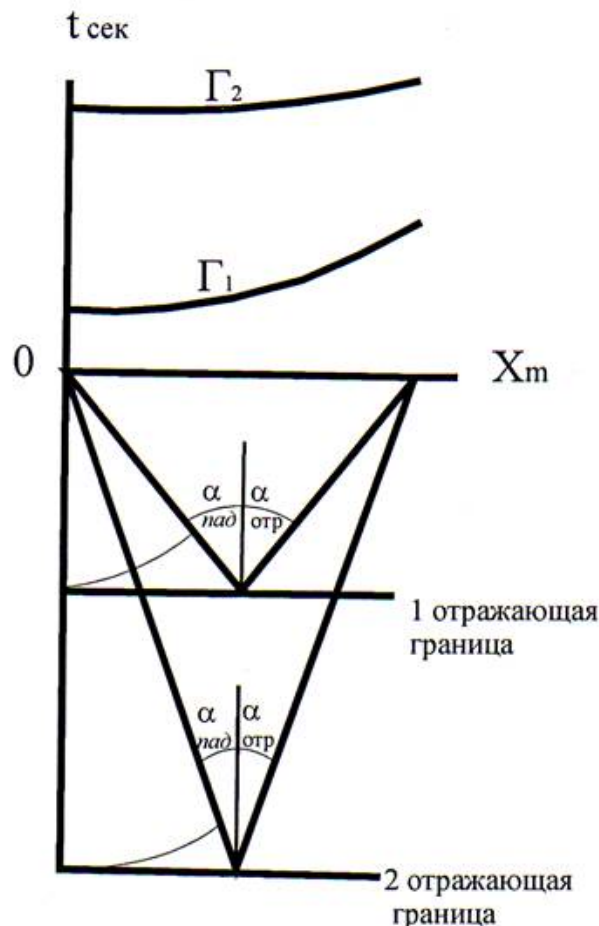


Рис. 1.1. Годографы отраженных волн Γ_1 и Γ_2

Положение максимумов импульса волны, выделенное карандашом, определяется на глаз относительно двух ближайших поперечных линий, расстояние между которыми соответствует времени 10 мсек. Ошибка отсчета не должна превышать ± 1 мсек.

Сначала постройте в нижней части миллиметровки (вдоль оси длинной ее стороны) годограф I волны; выше – годограф II волны. Для этого годографа, пришедшего позже, сделайте другую градуировку времени в том же масштабе, но выше по оси времени. Сравните формы этих годографов. Обратите внимание на разницу во времени прихода волн вблизи пункта взрыва на максимальном расстоянии от него. Какие локальные искривления повторяются на обоих годографах, а какие не повторяются? Какие возможны причины этих искривлений?

2. Внимательно рассмотрите формы импульсов сейсмических волн. Сколько максимумов и минимумов у каждого импульса? Как меняется их амплитуда? В начальной части записи первой приходит прямая волна. Какова форма ее годографа?

В каких случаях годограф отраженной волны может иметь разрыв со смещением?

3. Кроме ответов на вопросы в тексте, продумайте ответы на вопросы, которые также будут заданы Вам на защите:

а) Какой путь от источника до сейсмоприемника прошла прямая волна? Отраженная волна?

б) Равны ли амплитуды колебаний волн, отраженных от границ, расположенных на различной глубине?

в) Приведите примеры геологической обстановки (кроме перечисленных выше), которые могут быть причиной изменения формы годографа отраженной волны.

г) Чем отличаются друг от друга формы годографов отражения от более мелкой I и более глубокой границ II?

После выполнения работы, сдайте преподавателю миллиметровку с годографами, она понадобится для защиты, а также для выполнения [лабораторной работы №3](#).

Практическое занятие №2 ИЗУЧЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА

Источником сейсмических волн в сейсморазведке может быть взрыв в скважине. В момент взрыва в породе возникает большая нагрузка, которая быстро падает. Изменение нагрузки во времени $A(t)$ показана на Рис. 2.1. Взрыв произошел в момент $t=t_1$.

Такой импульс близок к [импульсу Дирака](#), или единичной функции.

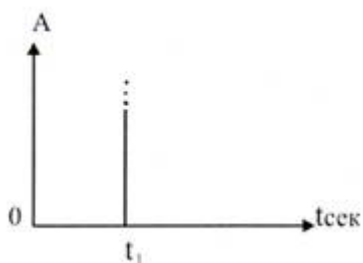


Рис. 2.1. Единичный импульс



Рис. 2.2. Спектр единичного импульса

Если выполнить Фурье-преобразование единичной функции, то получим ее спектр, который состоит из всех частот от 0 до ∞ с одинаковой, но конечной амплитудой. Рис. 2.2.

Часть энергии взрыва расходуется на разрушение породы, создание полости-камуфлета и пластическую деформацию пород. За пределами зоны разрушения и пластических деформаций порода испытывает упругие деформации и в ней начинает распространяться во все стороны упругая волна. При этом более высокая часть спектра волны затухает быстрее, чем низкая.

В верхней части разреза волна распространяется в наиболее рыхлых породах, где сейсмический импульс теряет значительную часть оставшихся высокочастотных компонент своего спектра. Отраженная или головная («преломленная») волны пересекают верхнюю, рыхлую низкоскоростную часть разреза поперек нее, по самому короткому пути. Прямая волна проходит весь свой путь по рыхлым породам, и лишь в середине своего пути за счет [рефракции](#) проходя несколько глубже. Поэтому прямая волна теряет больше высокочастотных компонент, проходя сравнительно небольшое расстояние от источника до дальнего сейсмоприемника.

Значительная часть высокочастотных компонент теряется в зонах дробления тектонических нарушений.

По мере проникновения упругих сейсмических колебаний на глубину они также теряют часть своих высокочастотных компонент пропорционально пройденному пути. Если отраженная волна (2 на Рис. 2.6) проходит путь в несколько километров, то головная («преломленная») волна (3) проходит путь в несколько десятков километров, и потому теряет гораздо большую долю высокочастотной части своего спектра. Импульс головной волны – самый низкочастотный.

Таким образом, при прохождении волной значительного расстояния по породе, ее спектр сужается (Рис. 2.3), что приводит к удлинению его импульса (Рис. 2.4-а); в нем становится все больше максимумов и минимумов, значительно больше, чем у импульса распространявшегося от источника (Рис. 2.4-б, 2.5) Рост периода колебаний с ростом пройденного волной пути показан на Рис. 2.6.

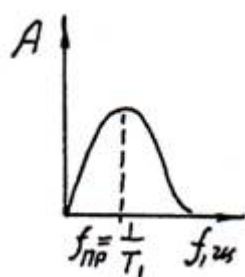


Рис. 2.3. Спектр ОВ

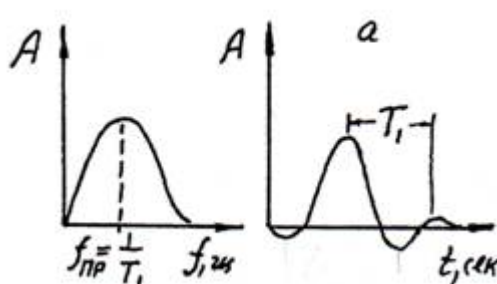


Рис. 2.4. Импульс ОВ (а) и импульс

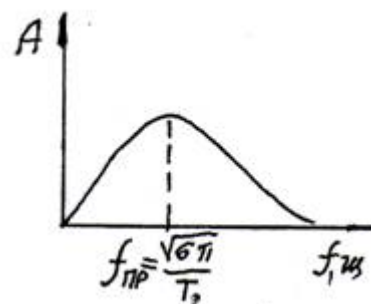


Рис. 2.5. Спектр импульса

волны, распространяющийся от источника (б) волны, распространяющейся от источника

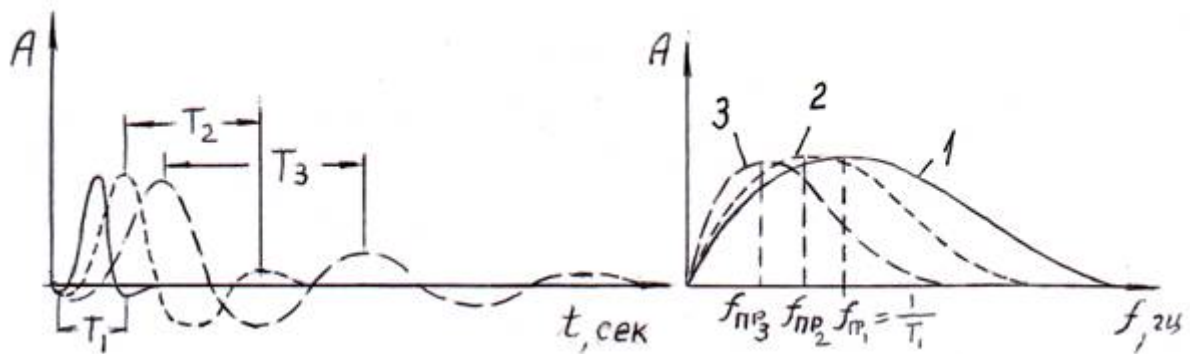


Рис. 2.6. Сейсмические импульсы и их спектры

Главной характеристикой импульса является его основной период T , определяющий преобладающую частоту спектра $f_{пр} = 1/T$.

Но кроме длины пути, пройденной волной в породе, период T также зависит от величины заряда и скорости в породе. Чем больше заряд и ниже скорость в породе, в которой произошел взрыв, тем больше T .

Форма импульса зависит также от типа волны.

Поперечные волны имеют несколько меньшую частоту, по сравнению с продольными и распространяются с меньшей скоростью ($V_s = 0.9V_p$). Так например, при одном и том же источнике и на тех же пикетах приема прямая волна имеет $T = 38 \times 10^{-3}$ сек., а поперечная (поверхностная волна Релея) имеет $T = 52 \times 10^{-3}$ сек. Для сравнения приведем данные об отраженной волне: $T = 30 \times 10^{-3}$ сек., что соответствует 33 гц; для преломленной волны $T = (50-100) \times 10^{-3}$ сек, что соответствует преобладающей частоте 20-10 гц соответственно, в зависимости от глубины до преломляющей границы. Рост периода ОВ с ростом глубины можно видеть на Рис. 2.7.

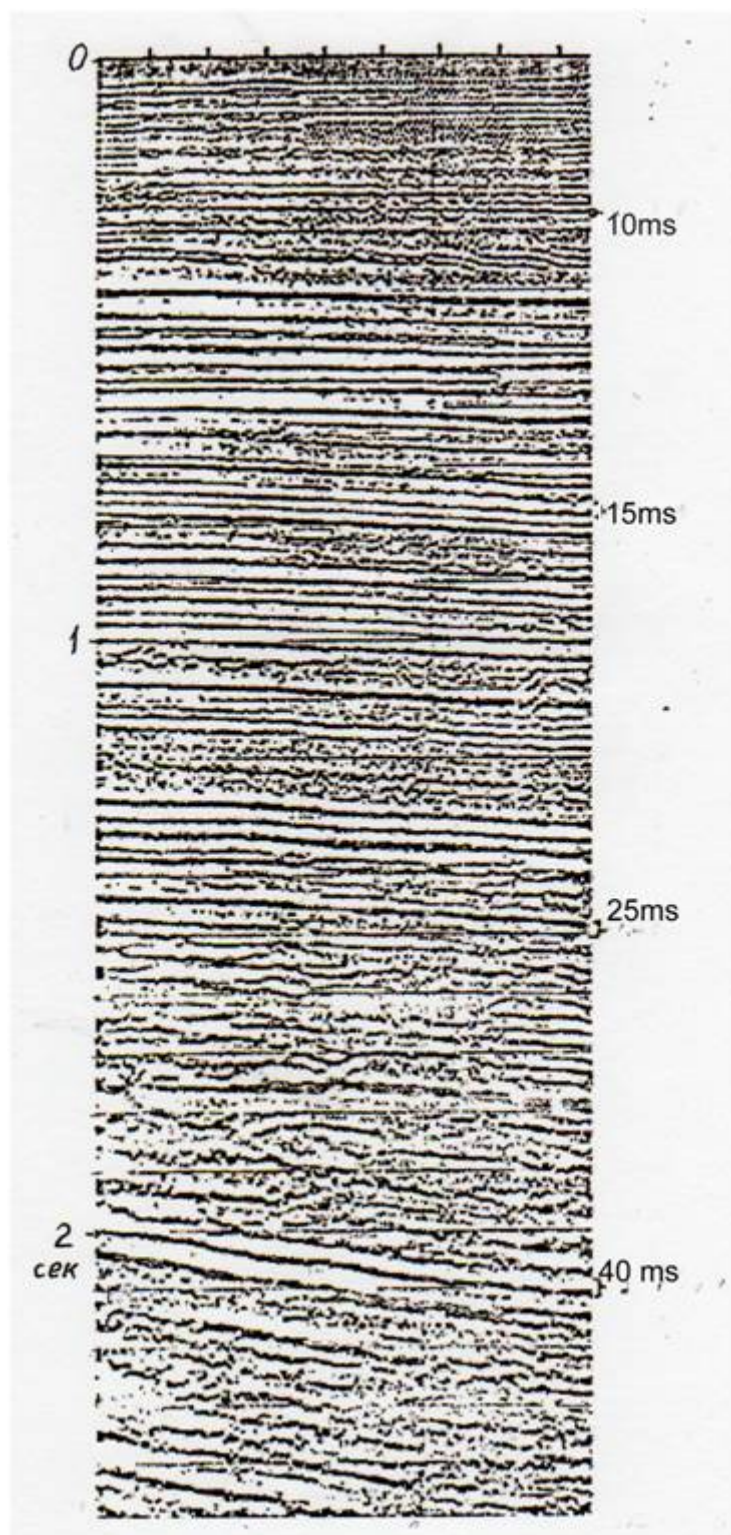


Рис. 2.7. Рост периода волны с ростом глубины до границы (по [Mike Badley, 19](#))

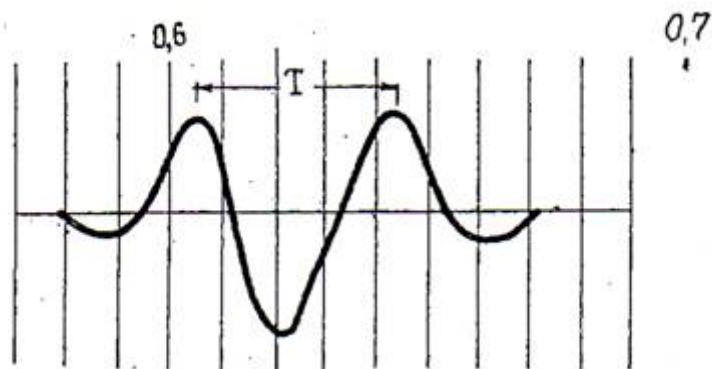


Рис. 2.8. Прямая волна. Расстояние от источника 0,8 км. $V = 600 \text{ м/сек}$

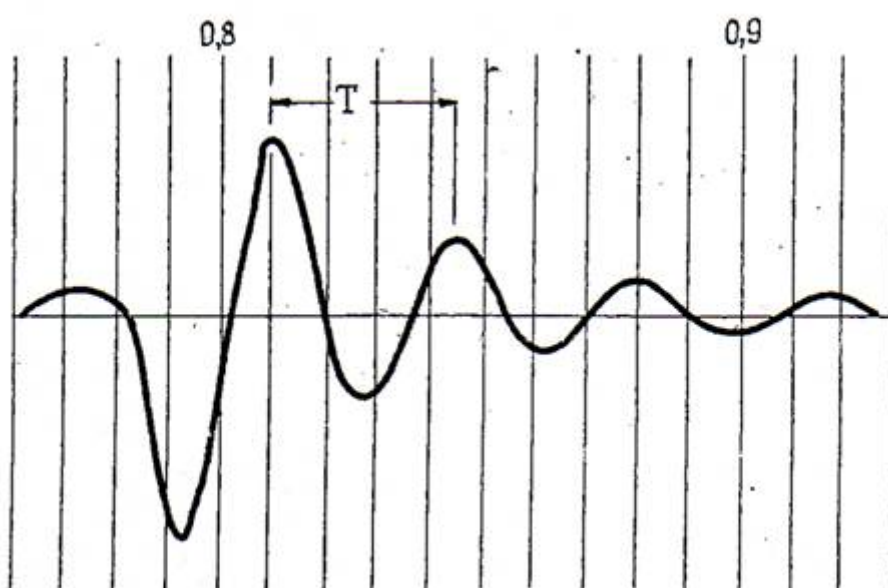


Рис. 2.9. Отраженная волна. $V = 2700 \text{ м/сек}$.

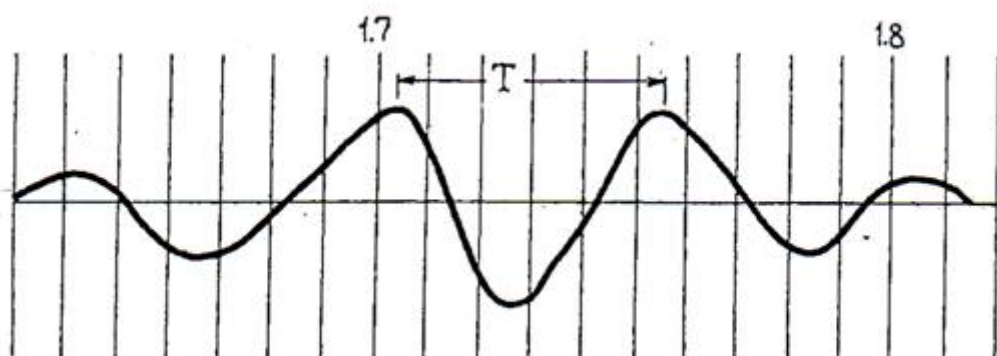


Рис. 2.10. Релеевская (поверхностная) волна. Расстояние от источника 0,8 км
 $V = 540 \text{ м/сек}$.

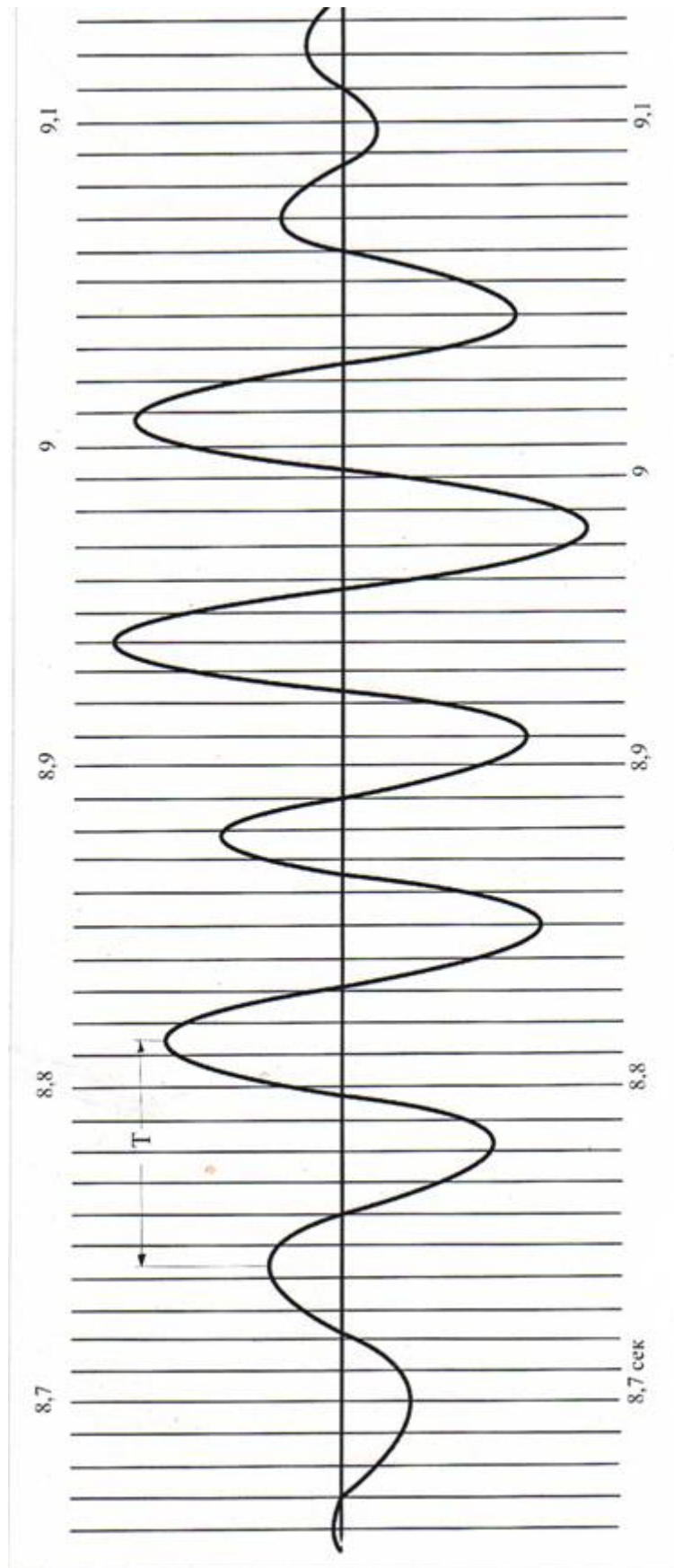


Рис. 2.11 Головная (преломленная) волна. Расстояние до источника 50 км.
 $V = 4000$ м/сек.

Задание:

1. Сравните формы импульсов прямой, отраженной Релеевской поверхностной показанных на рисунках 2.8, 2.9, 2.10. На каком из этих импульсов больше максимумов и минимумов? Почему? Почему скорости прямой и Релеевской волн и их периоды различны?

2. Для каждого импульса измерить основной период T (сек) с точностью до 10^{-3} сек = 1 мск – т.е. расстояния между парами соседних максимумов или минимумов. Расстояние между соседними линиями пересекающимися импульсы (масштаб времени) соответствует 10^{-2} сек = 10 мсек. С чем связана разница T ?

3. Вычислить преобладающую частоту для каждого из импульсов по формуле $f = 1/T$ сек.

4. Составьте таблицу 1, где укажите T , f и число максимумов для импульсов каждого из приведенных типов волн: прямой, отраженной, преломленной, Релеевской. Рассчитайте $\lambda = VT$ и длительность импульса $L = nT$

Таблица 1

Тип волны	T сек	$f=1/T$ гц	V м/сек	$\lambda=VT$ м	n шт.	$L=nT$ сек
Прямая						
Релеевская						
Отраженная						
Головная						

5. Ответьте на вопросы:

а) Какие геологические особенности разреза влияют на спектр импульса волны?

б) В каких частях разреза больше всего теряется самая высокочастотная часть спектра импульса волны?

6. На Рис. 2.12 сложите значения трех синусоид (измеренные линейкой в мм) вдоль сплошной и пунктирной линий. Частота первой синусоиды обозначена на оси F как f_1 .

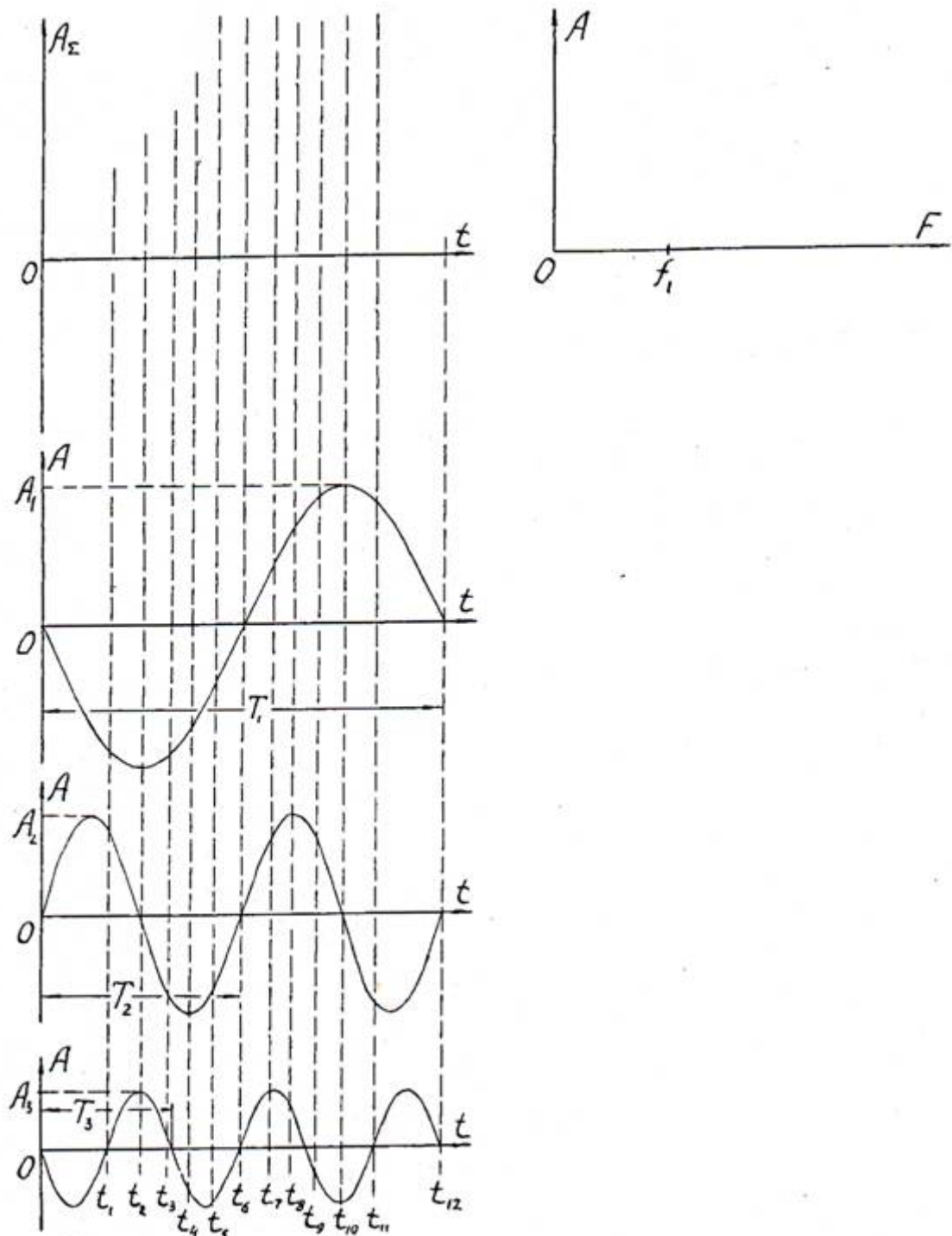


Рис. 2.12. Построение формы импульса и его спектра.

Сложите значения трех синусоидов для каждого из времен $t_0 - t_{12}$ и постройте форму импульса $A(t)$.

Постройте спектр $A(F)$ этого импульса по значениям амплитуд и частот этих синусоид

Во сколько раз частота у других синусоид отличается от частоты f_1 ? Отложите эти частоты на оси F и постройте спектр импульса, полученного в результате сложения трех синусоид. Как словами описать этот спектр, т.е. из каких геометрических элементов он состоит?

Практическое занятие №3

ВЫЧИСЛЕНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПОПРАВКИ ДЛЯ ГОДОГРАФА ОТРАЖЕННОЙ ВОЛНЫ (О.В.)

Форма [годографов](#) ОВ зависит от особенностей разреза (форма, наклон и глубина отражающих границ; средняя скорость, зависящая от возраста, пористости, литологии пород) и от расстояния между источником и приемником (т.е. от методики наблюдения).

Кинематическая поправка вносится в величину времени прихода О.В. для того, чтобы исключить влияние расстояний от источника до приемников. После внесения этой поправки на форму кривой будут влиять только особенности геологического разреза. Таким образом, она станет отрезком геологической границы. Время движения волны по наклонным лучам от источника до отражающей границы и от нее до приемника пересчитывается в t_0 – время движения волны по перпендикуляру к отражающей границе от воображаемого источника до общей глубинной точки отражения и обратно к приемнику, расположенному в той же точке, что и воображаемый источник (Рис. 3.1). Это время относится к срединной точке, расположенной в середине между источником и приемником. Проекция средней точки на отражающую поверхность совпадает с общей глубинной отражающей точкой.

По временам $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0n}$ строят на временном разрезе отражающую границу любой формы. При этом считают, что луч О.В. всегда вертикален.

$$\Delta t_s = \frac{x^2}{2V^2 t_0}$$

Кинематическая поправка вычисляется по формуле
источника до данного приемника;

$V_{\text{ср}}$ – средняя скорость в породах, перекрывающих отражающую границу;

t_0 – время прихода О.В. к приемнику, расположенному в той же точке где и источник. Это время называется в сейсморазведке «вертикальным».

При наблюдении по методу общей глубинной точки (МОГТ) отражение от каждой точки границы происходит несколько раз при возбуждении и приеме из нескольких пар приемник – источник, расположенных симметрично относительно одной средней точки, но на различных расстояниях от нее (Рис. 3.1). Для всех пар приемник-источник точка отражения оказывается общей. Она называется общей глубинной точкой и совпадает с проекцией средней точки на горизонтальную отражающую границу. Отражение от каждой точки происходит десятки раз. Такое многократное прослеживание увеличивает амплитуду ОВ., т.к. импульсы складываются в фазе, что уменьшает амплитуду помех, т.к. они складываются в случайных фазах.



Рис. 3.1. Метод общей глубинной точки



Рис. 3.2. Метод общего источника.

При наблюдении по методу общего источника (Рис. 3.2) отражение во всех точках на отражающей границе прослеживается один раз. Но и в этом случае можно внести кинематическую поправку, вычислить $t_{01}, t_{02}, \dots, t_{0n}$ и по этим точкам построить отражающую границу на временном разрезе. Расстояние между точкой отражения и проекцией источника на отражающую границу, как видно из Рис. 3.2, вдвое меньше расстояния от источника до приемника.

Задание:

1. Разделить годограф, построенный при выполнении [практической работы №1](#), на 8 равных частей по оси X, как показано на Рис. 3.3. Между каналами 20 м, число каналов 60, поэтому длина годографа составит $20 \times 59 = 1180$ м, а 1/8 его части составляет $1180/8 = 147,5$ м.

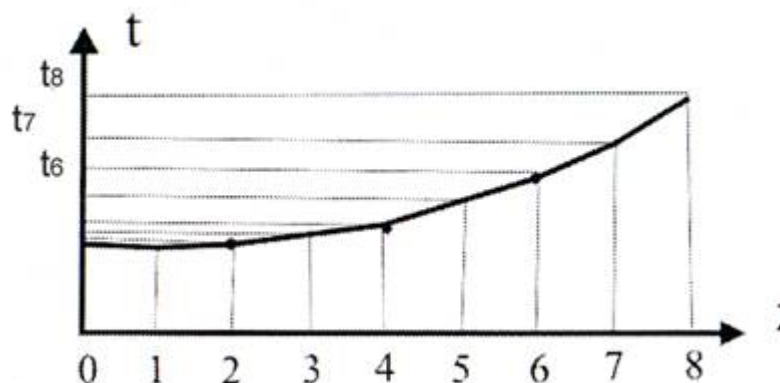


Рис. 3.3. Обработка годографа отраженной волны.

2. Составить и заполнить таблицу 2 :

№пп	X (м)	$t_{\text{набл}}$ (сек)	$t_{\text{набл}}^2$ (сек) ²	X^2 (м ²)	$\Delta t_{\text{п}} = x^2 / 2V_{\text{ср}}^2 t_0$ (сек)	$T_{\text{оп}} = t_{\text{набл}} - \Delta t_{\text{п}}$ (сек)	$x/2$
0	0						0
1	147,5						74,0
2	295,0						147,5
3	442,5						221,0
4	590,0						295,0
5	737,5						369,0
6	885,0						442,5
7	1032,5						516,0
8	1180,0						590,0

3. Вычислить $V_{\text{ср}}$. Для этого на годографе выбирают 3 точки, например с координатами X_2, X_4, X_6 . Скорость вычислим по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \Delta x \sqrt{2 / (t_2^2 - 2t_4^2 + t_6^2)},$$

где $\Delta x = 295$ м – расстояние между точками X_2 и X_4 , X_4 и X_6 .

4. Исправленные значения $T_{\text{исп}} = t_{\text{набл}} - \Delta t_{\text{п}}$ нанести в виде точек на тот же график ОВ, но отнести каждое значение t_0 и к точке с координатами $x/2$ (два последние столбца таблицы). Через полученные точки провести линию, которая представляет собой отрезок отражающей границы, от которой происходило отражение, соответствующее наблюдаемому годографу ОВ.

5. Ответьте на вопросы:

а) От каких параметров (величин) зависит время прихода ОВ? Какие из этих параметров содержат сведения о геологическом разрезе, а какие только о методике наблюдения?

б) Как исключить влияние методики наблюдений на результат обработки?

в) Что представляет собой кривая, построенная в результате внесения кинематической поправки в годограф ОВ? Почему длина этой кривой не равна длине годографа?

Практическое занятие №4

ИЗУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ, ГРУППИРОВАНИЯ И ДЕКОНВОЛЮЦИИ.

4.1. Фильтрация

Упругие волны различаются по траекториям колебания частиц среды, в которой они распространяются. При распространении поперечных волн частицы среды колеблются в направлении, перпендикулярном к лучу, т.е. к направлению распространения волны. При распространении продольных волн направление колебания частиц совпадает с направлением распространения волны.

Продольные и поперечные волны распространяются во все направления от источника. Поверхностная Релеевская волна распространяется также во все направления от источника, но только вдоль дневной поверхности, не распространяясь вниз. Поэтому с удалением от источника ее амплитуда падает медленнее, чем у прямой волны. При распространении Релеевской волны частицы колеблются по сложной траектории, в которой есть продольная составляющая, но преобладает поперечная.

Формы (Рис. 4.1а) и спектры импульсов различных волн, взятых из реальной записи, даже вблизи от источника отличаются друг от друга. Самый высокочастотный спектр у продольной волны. Самый низкочастотный спектр у поверхностной Релеевской волны-помехи. (Рис. 4.1б).

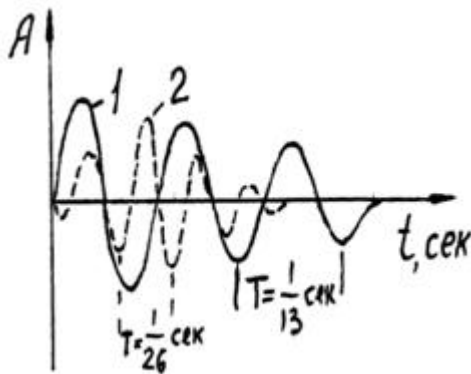


Рис. 4.1а. Импульсы Релеевской и отраженной волн.

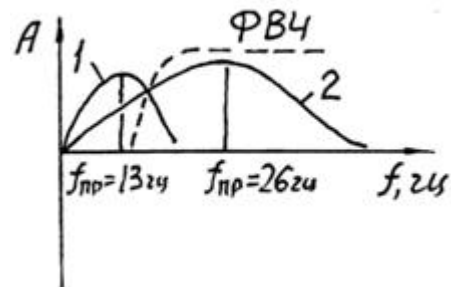


Рис. 4.1б. Спектры Релеевской и отраженной волн.

Разница в спектрах полезной отраженной волны (ОВ) и поверхностной Релеевской волны-помехи позволяет использовать [фильтр высокой частоты](#) (ФВЧ, рис 4.1.б) для уменьшения амплитуды помехи, почти не изменяя импульс полезной отраженной волны. Это происходит потому, что ФВЧ избирательно подавляет низкие частоты, преобладающие в спектре Релеевской волны-помехи, пропуская без ослабления более высокие частоты, преобладающие в спектре полезной отраженной волны.

Применяя ФВЧ, удастся существенно уменьшить интенсивность поверхностной Релеевской волны-помехи и уверенно проследить ОВ (Рис. 4.3, 4.4) Найдите здесь полезные ОВ и волны Релея. Как измерить их периоды? Как сказывается скорость этих волн на форму их голограмм? Как изменились амплитуды волн после фильтрации?

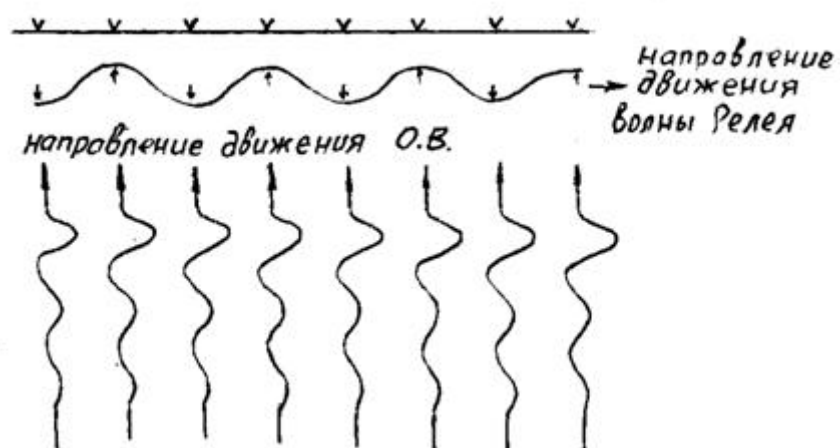


Рис. 4.2. Подавление волны Релея и усиление ОВ группой сейсмоприемников

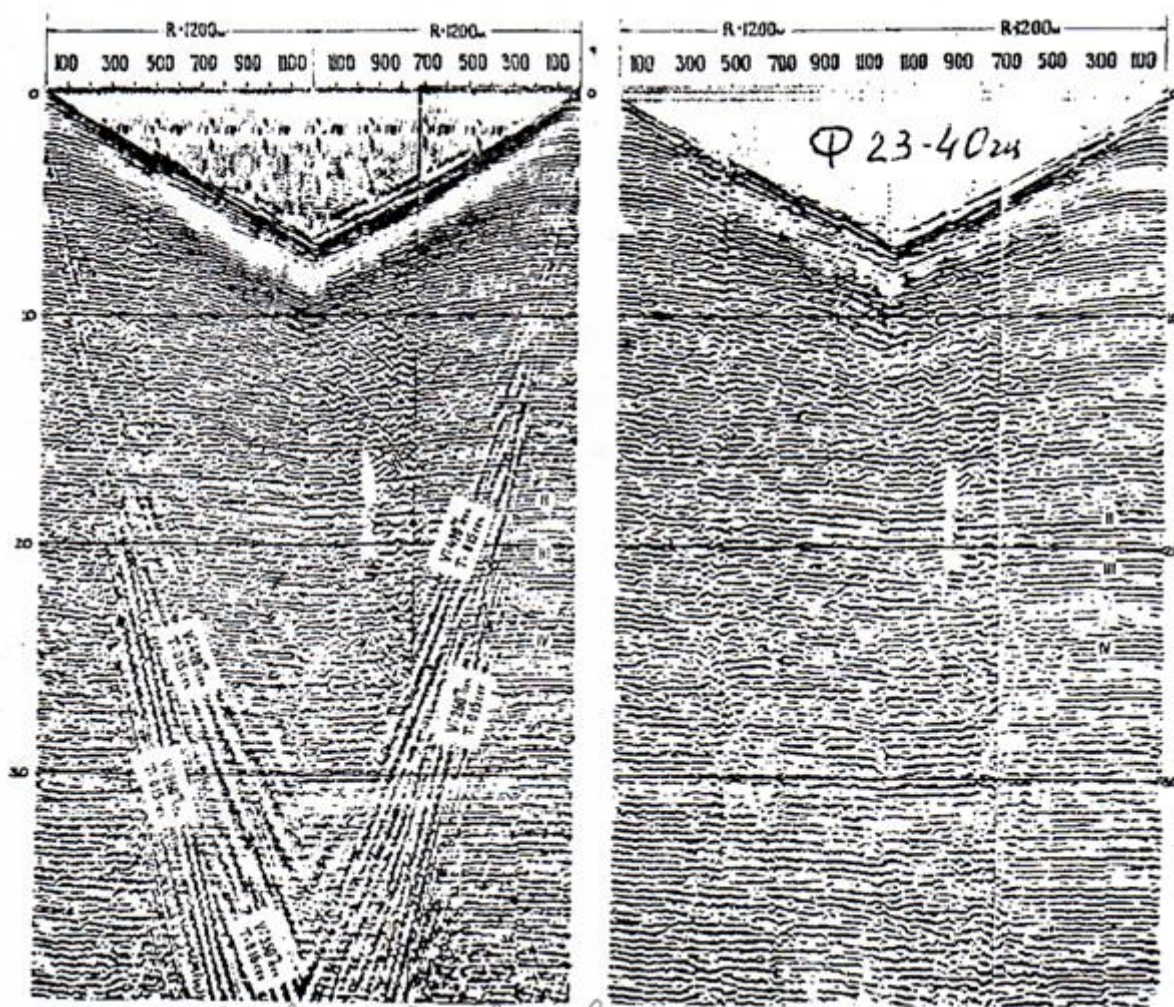


Рис. 4.3. Подавление Релеевской волны с помощью фильтра высокой частоты по [Урупову А.К.](#) (14)

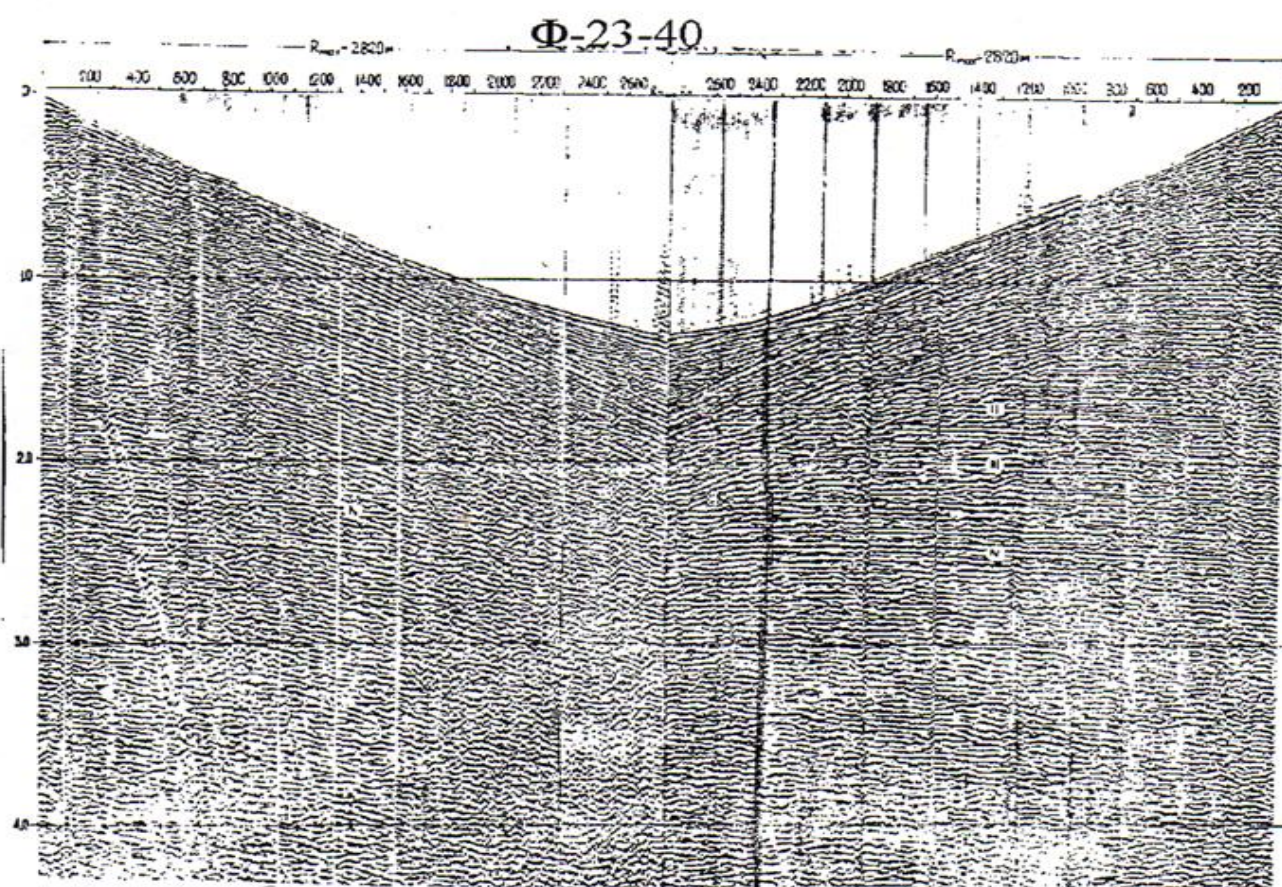
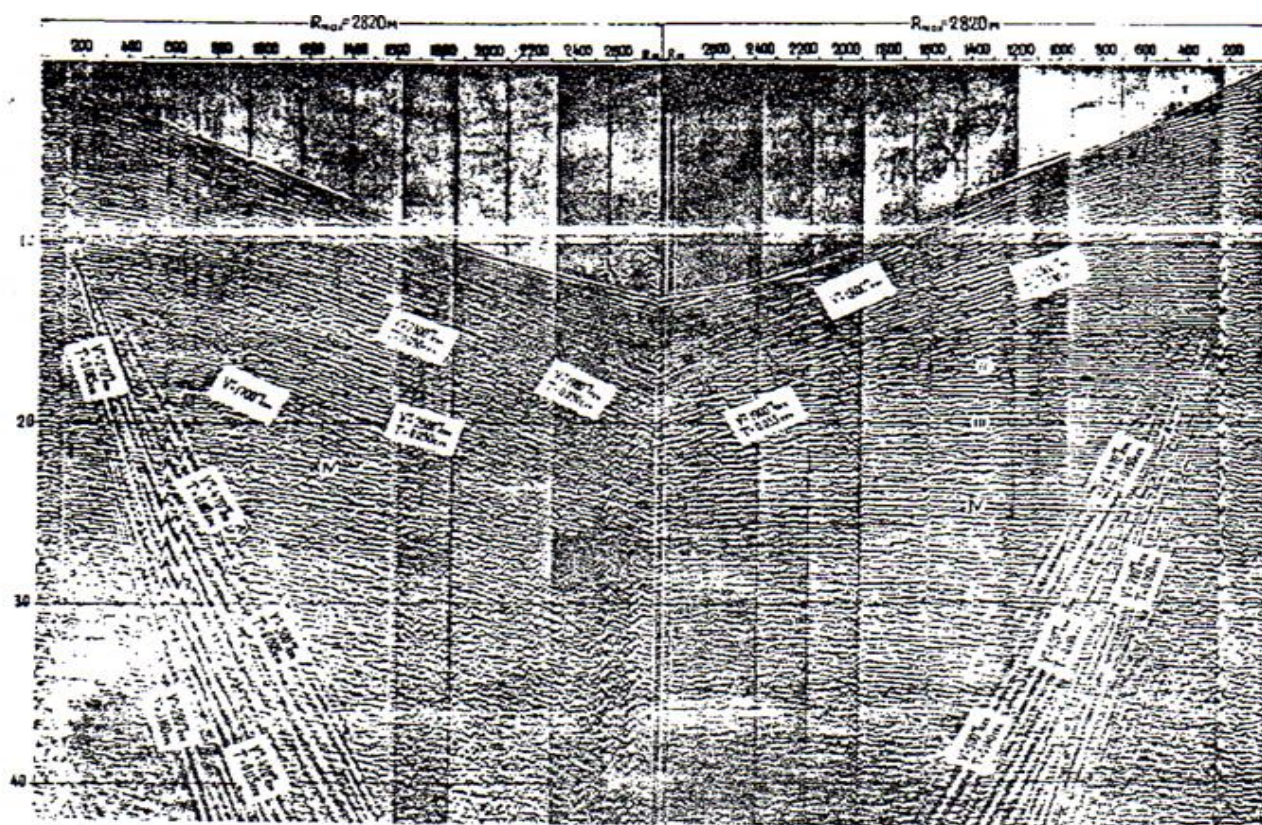


Рис. 4.4. Подавление Релевской волны с помощью фильтра высокой частоты. По [Урупову А.К.](#) (14).

Как изменились Релевская и отраженные волны после применения фильтрации?

4.2. Группирование

Группирование приемников на профиле (или группирование источников, что приводит к тому же результату) позволяет избирательно пропускать одни волны и подавлять другие, в зависимости от их кажущихся скорости V^* и частоты f^* , измеренных на сейсмолентах. Кажущиеся V^* и f^* , измеренные вдоль дневной поверхности, отличаются от истинных V и f , которые можно измерить только вдоль направления распространения волны.

Группы приборов избирательно подавляют более низкоскоростные помехи и не подавляют высокоскоростные полезные ОВ. Это можно объяснить следующим способом. Полезная ОВ приходит ко всем сейсмоприемникам снизу по направлению, близкому к вертикальному, и поэтому приходит к каждому сейсмоприемнику почти одновременно и почти в фазе. Сигналы ОВ, полученные каждым из сейсмоприемников, складываются.

Поверхностная волна-помеха движется вдоль дневной поверхности, проходя поочередно к каждому из сейсмоприемников со сдвигом фаз. Выбирая число сейсмоприемников и расстояние между ними, можно сделать сдвиг фаз таким, чтобы при суммировании Релеевские волны-помехи уничтожались. (Рис. 4.2)

Кроме того, группа сейсмоприемников позволяет уменьшать некоррелируемый сигнал-помеху, например от дождя и ветра. Эти сигналы приходят к n сейсмоприемникам группы в случайной фазе и уровень шумов уменьшается в $\sqrt{n}$ раз.

Познакомьтесь с результатом применения группирования и выбором числа n приборов в группе и расстояния между приборами ΔX на Рис. 4.4, 4.5, 4.6, 4.7. Найдите ОВ и Релеевскую волну на Рис. 4.4 и 4.5. Как изменилась их амплитуда после группирования? На Рис. 4.6 и 4.7 найдите наилучшие n и базы группирования. Как измерить Т волны Релея и ОВ?

4.3. Деконволюция

После того как взрыв или удар вызвали появление в породе упругого колебания, оно начинает распространяться в разные стороны от источника.

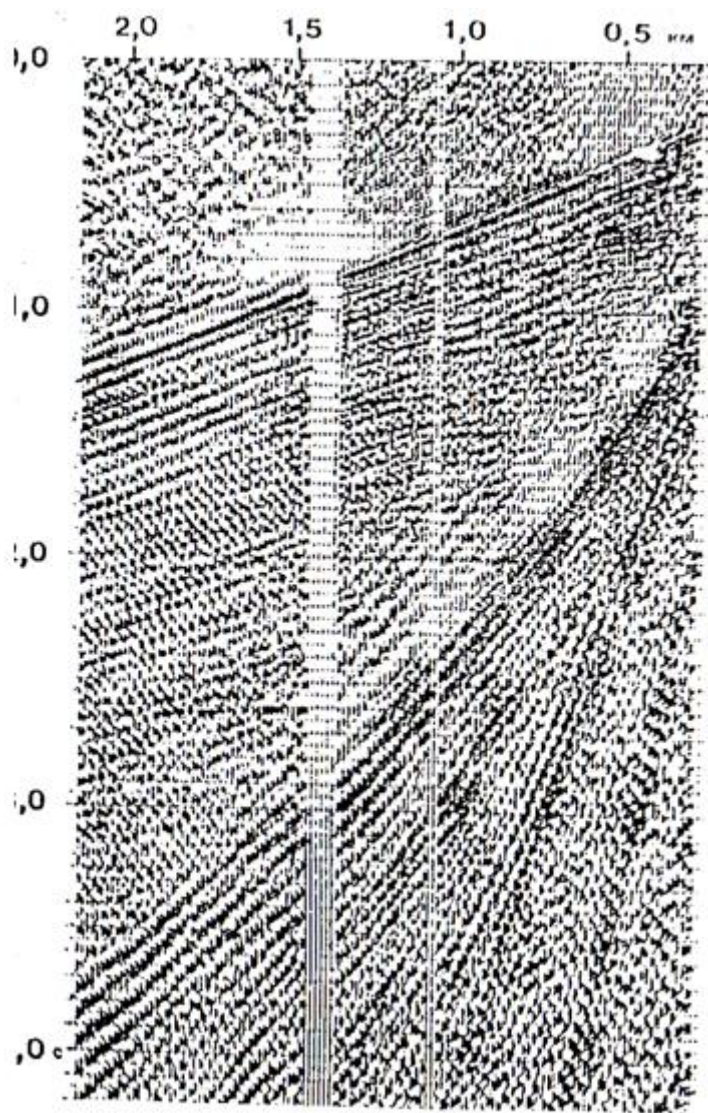


Рис 4.5а ОВ и волна Релея до применения группирования сейсмоприемников

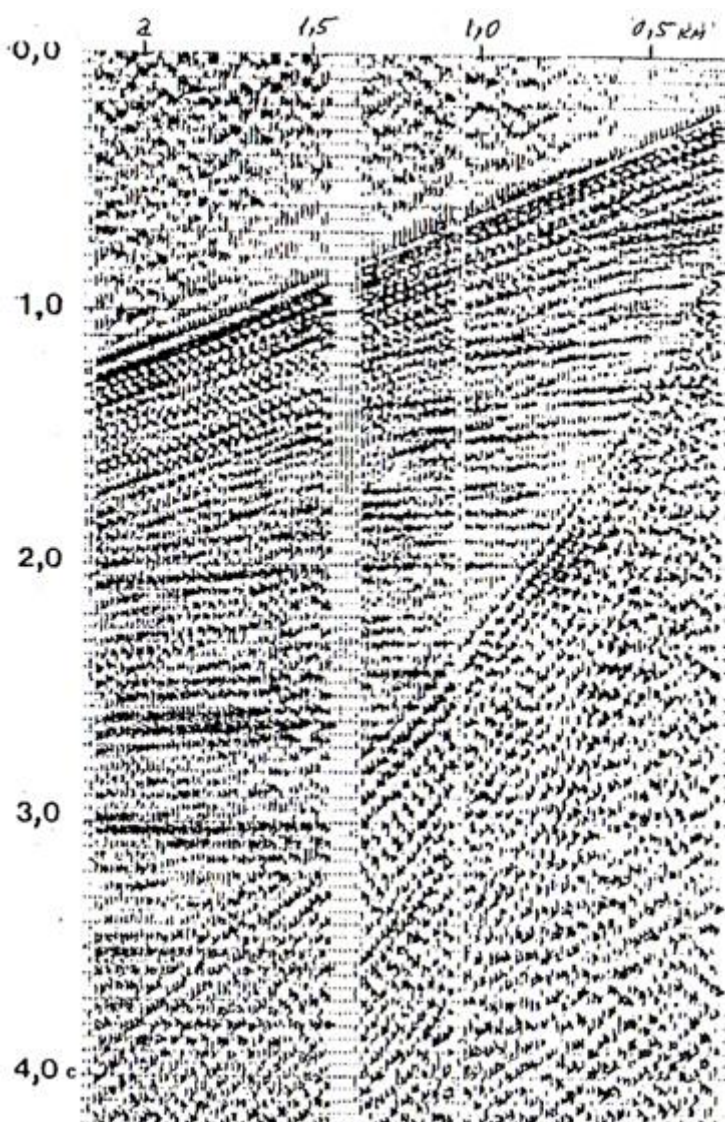


Рис 4.5б Результат применения группирования сейсмоприемников по [П. Кири \(8\)](#)

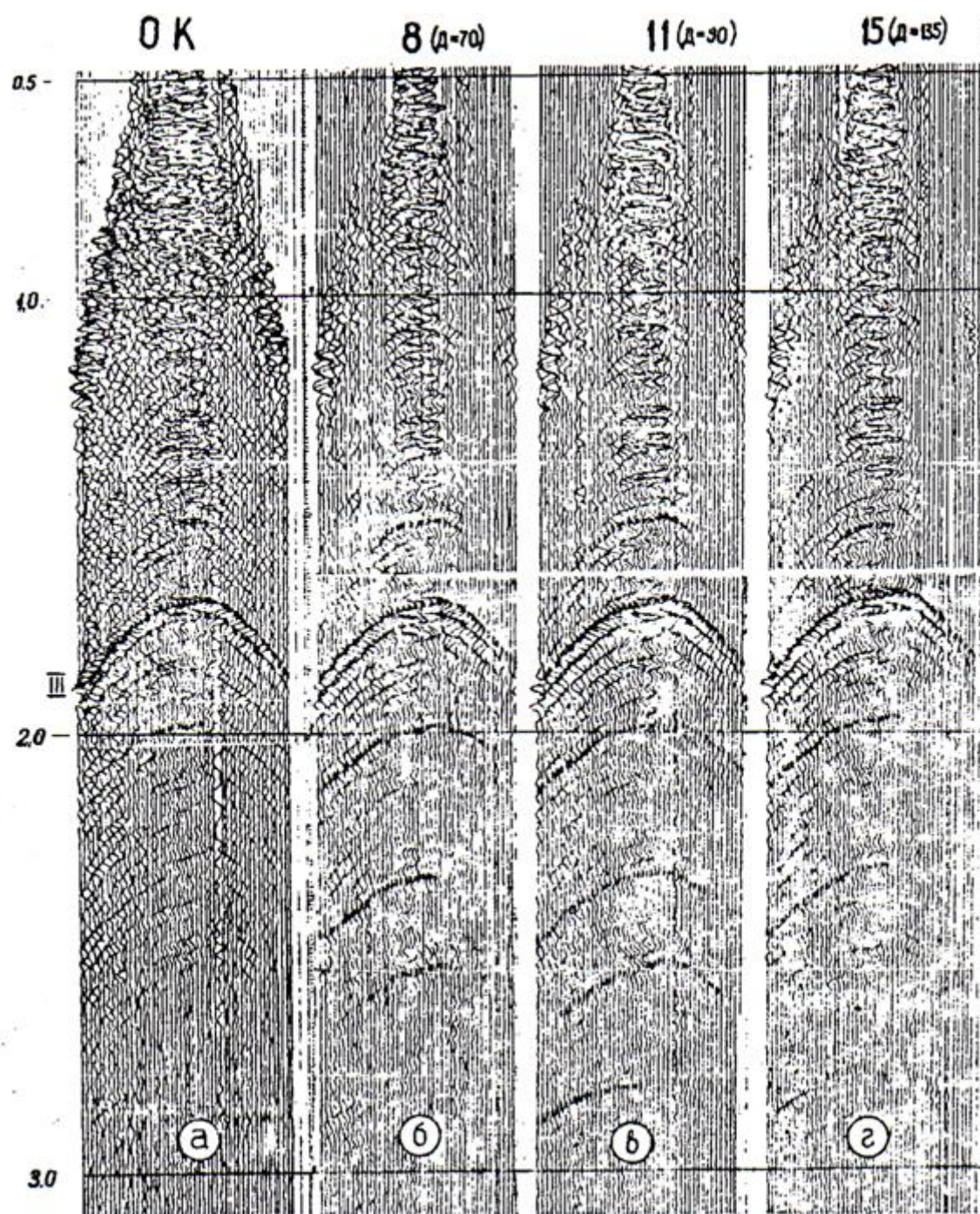


Рис. 4.6. Выбор числа приемников в группе. По [Урупову А.К. \(14\)](#)

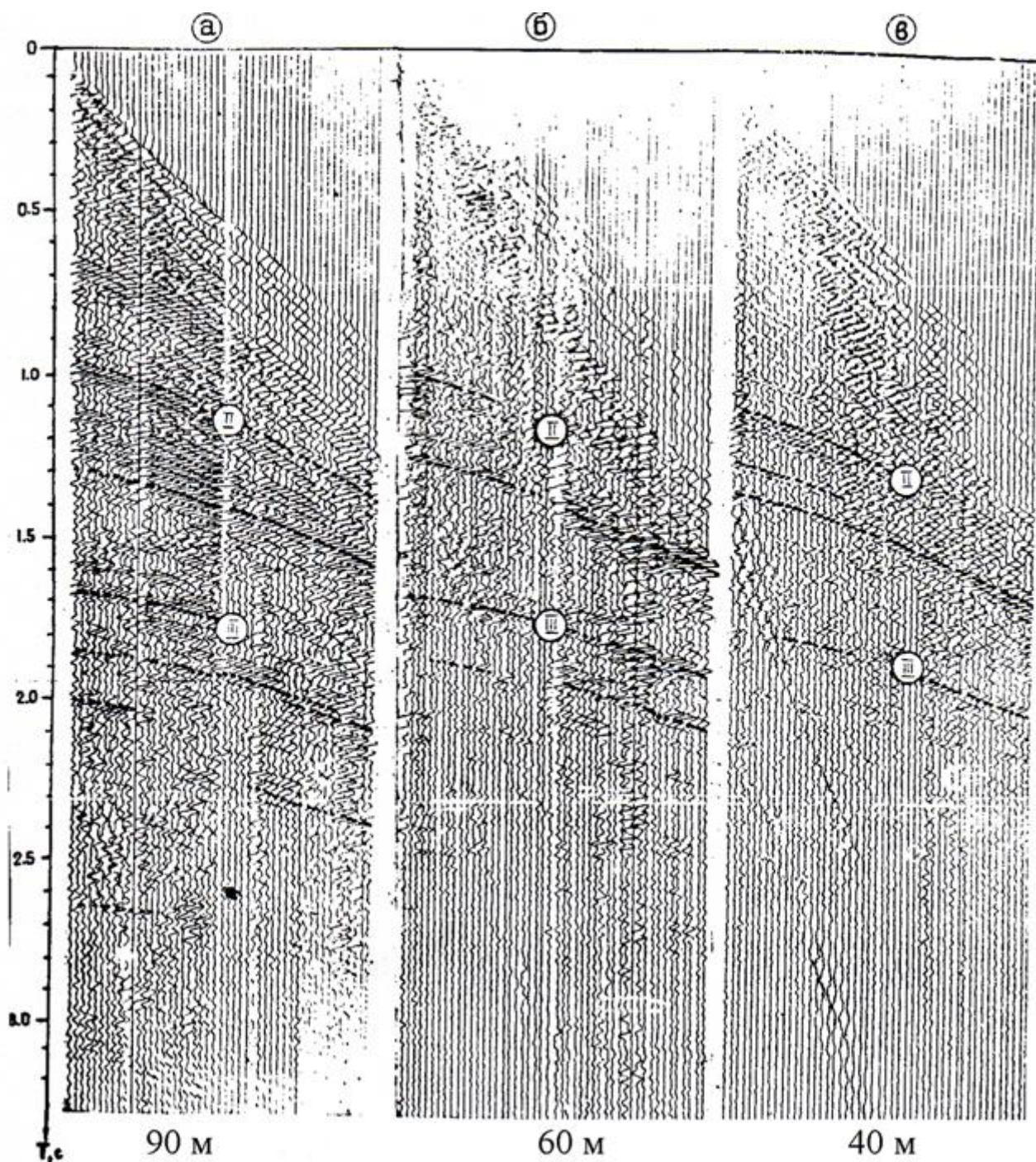


Рис. 4.7. Выбор базы группирования (расстояния между крайними приемниками в группе
По [Урупову А.К.\(14\)](#)

Чем больше путь пройдет упругая волна в породе, тем уже становится спектр импульса упругой волны и тем длиннее, многофазнее становится импульс. (Рис. 4.8). Это происходит в связи с тем, что при прохождении по породам быстрее всего затухают высокочастотные составляющие спектра импульса. Такое же изменение спектра произойдет, если импульс пропустить через фильтр низких частот ([ФНЧ](#)).

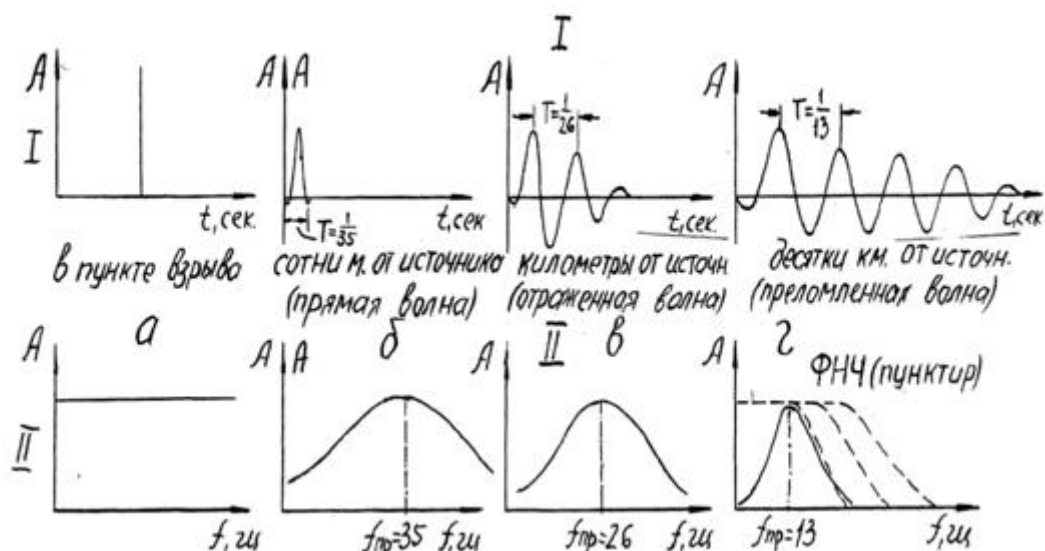


Рис. 4.8 Единичный импульс (а), формы сейсмических импульсов I и их спектры II

Особенно сильно затухают высокочастотные составляющие импульса в рыхлых приповерхностных отложениях (в зоне малых скоростей), в зоне тектонических нарушений, в пористых или очень неоднородных средах, а также при отражении от шероховатых границ, сформированных процессами эрозии.

Чем длиннее, многофазнее импульс волны, тем меньше разрешающая способность сейсморазведки. Разрешающая способность определяется длиной импульса: определить время прихода отражения от подошвы пласта можно только спустя некоторое время Δt , когда прекратится запись импульса отражения от кровли этого пласта (Рис. 4.9) Если же отражение от подошвы наложилось на отражение от кровли, то на записи будет зарегистрирована сумма этих импульсов, где можно определить только время прихода отражения от кровли (Рис. 4.9)

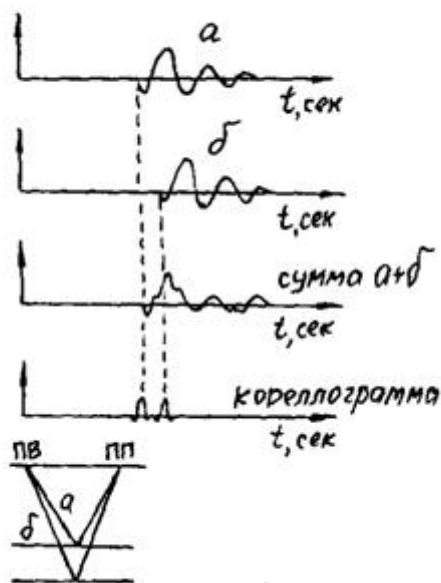


Рис. 4.9. Импульсы ОВ (а, б), их сумма и корреллограмма.

Необходимо восстановить форму и длину импульса отражения такой же, какой она была вблизи источника (Рис. 4.8 б) После этого произошла «фильтрация» импульса в результате прохождения волны через породу на пути от источника до отражающей (преломляющей) границы и обратно. Для восстановления первоначальной формы импульса выполняют «обратную» фильтрацию, которая и называется *деконволюцией*. Для этого определяют форму и спектр импульса отраженной волны. Затем

выполняется математическая операция, аналогичная «обратному» фильтру, и длинный импульс ОВ заменяется на короткий (Рис. 4.9.г). Теперь появилась возможность определить время прихода как отражения от кровли, так и отражения от подошвы пласта, т.е. определить глубину кровли и подошвы и расстояние между ними. Результат применения деконволюции изучите на Рис. 4.10, 4.11, 4.12, 4.13. На этих рисунках видно, что после деконволюции уменьшилось число фаз волны, и остались на записи только линии границ раздела.

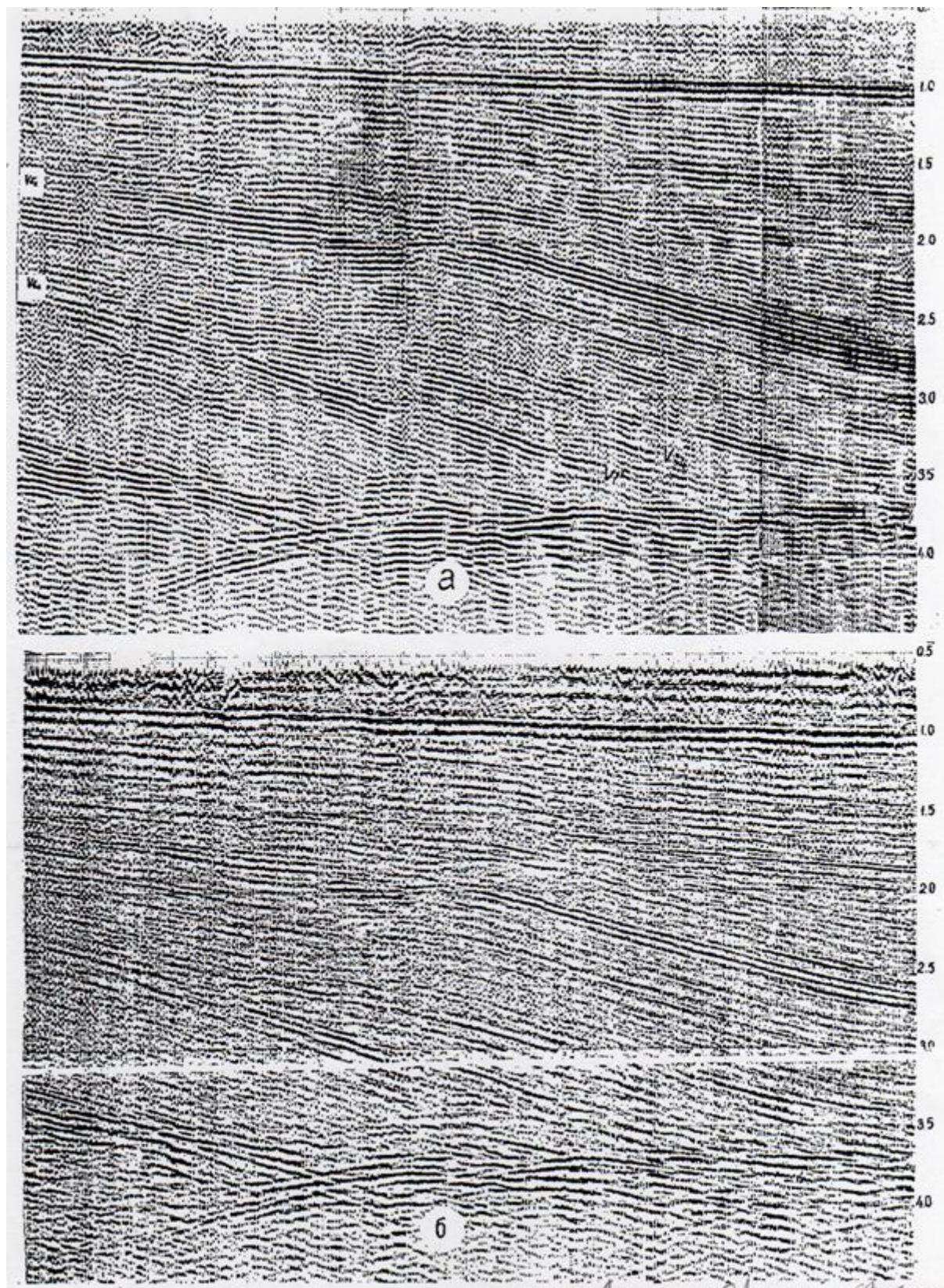


Рис. 4.10. По [Урупову А.К.\(14\)](#) На каком из этих разрезов выполнена деконволюция?

Чему равны расстояния между соседними линиями до деконволюции и после ее выполнения?
Как меняются расстояния между линиями с глубиной на этих разрезах?

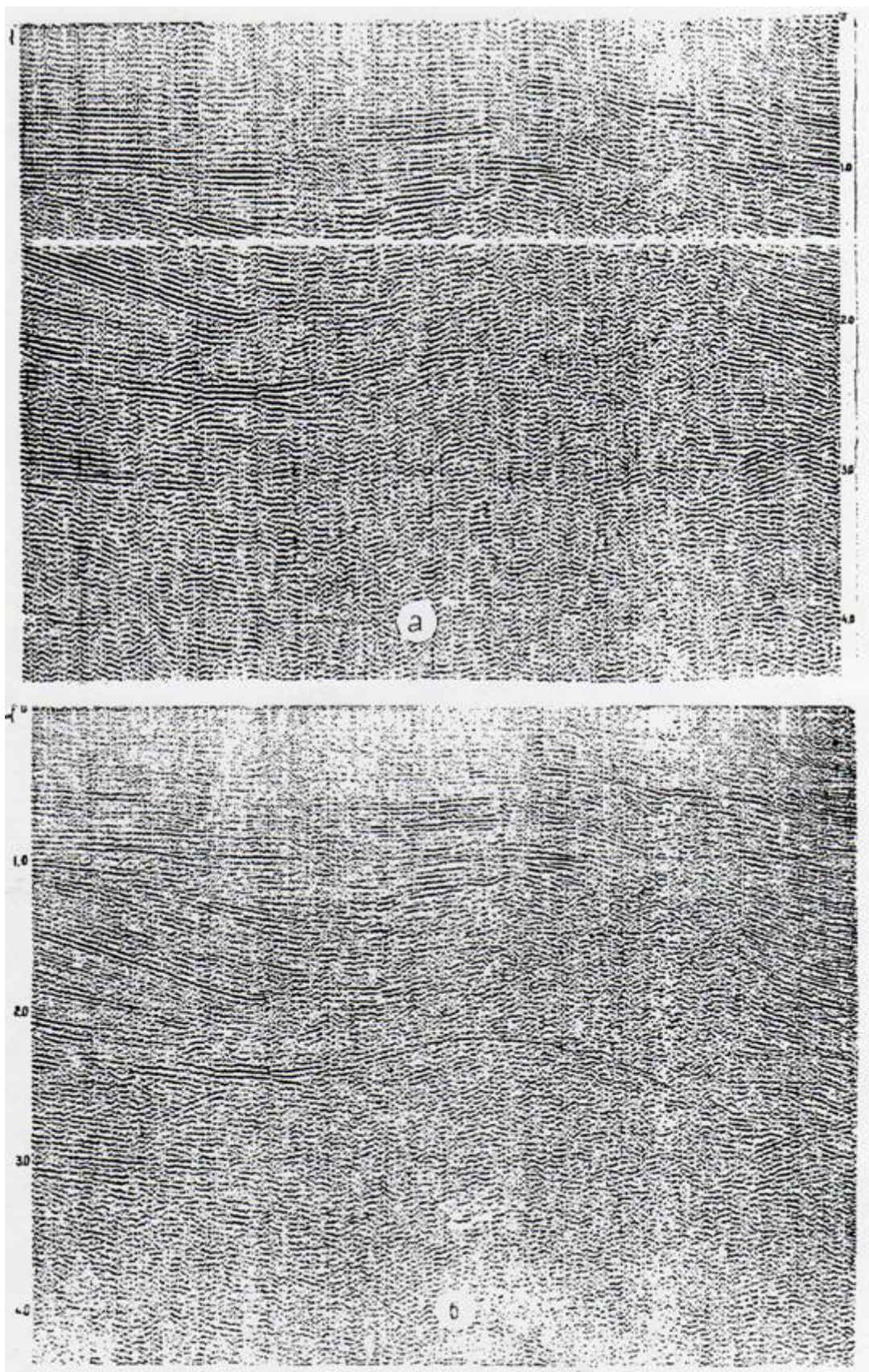


Рис. 4.11. По [Урупову А.К. \(14\)](#). Временной разрез до (а) и после (б) выполнения деконволюции.

Что изменилось в результате выполнения деконволюции?

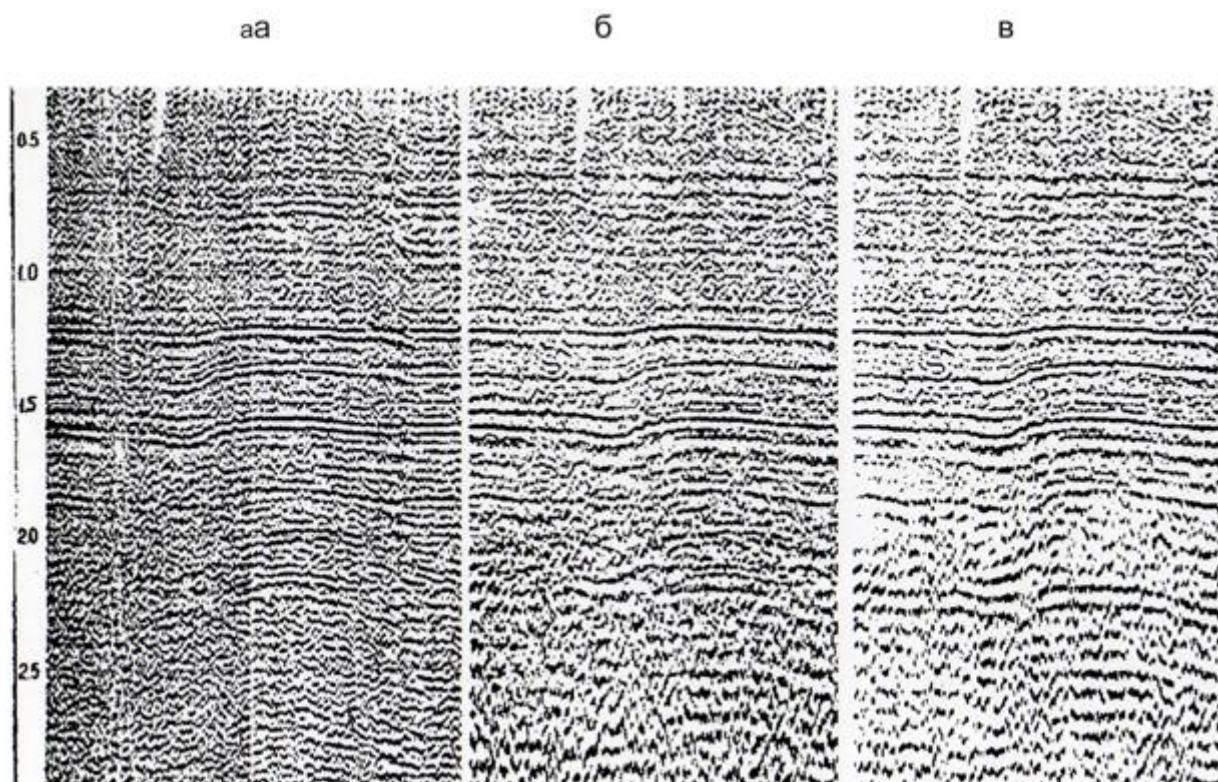


Рис 4.12. По [Урупову А.К. \(14\)](#). Временной разрез а – до деконволюции, б – после деконволюции, в - после смещения в область пониженных частот.

Почему на пониженной частоте граница на времени 2,3 сек. прослеживается лучше?



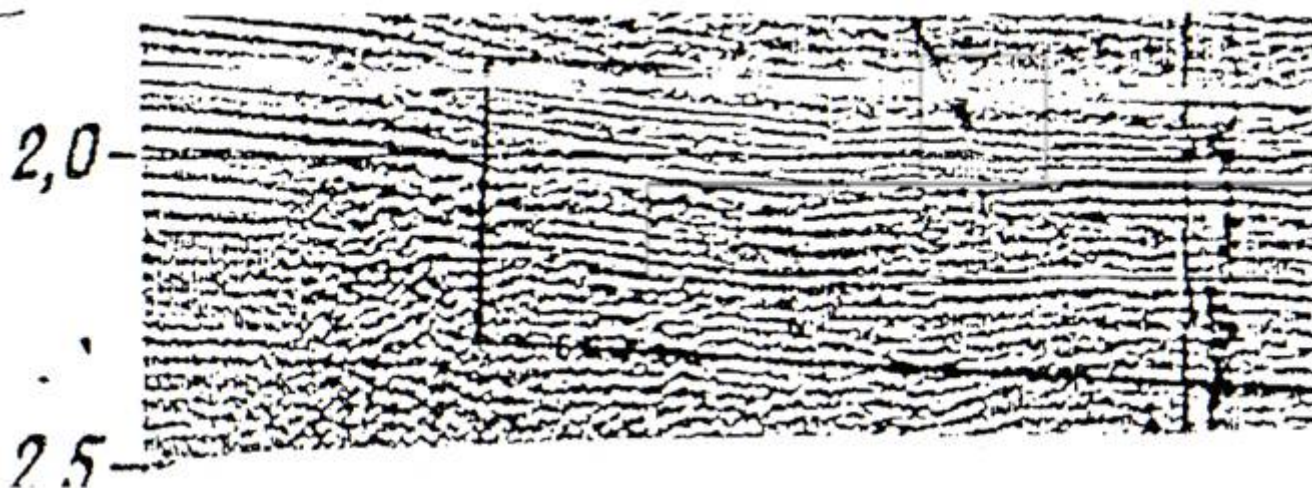


Рис. 4.13. По [Баллод С.А. \(2\)](#). Результат применения деконволюции на различных частотах.
а – Стандартная обработка с деконволюцией в оптимальном диапазоне частот.
б – Обработка с повышением разрешенности, с деконволюцией в высокочастотной области. Что нового (отмечено стрелкой) можно увидеть на рисунке б ?

Отраженная волна от наиболее глубокой границы осадочного чехла имеет самую низкую преобладающую частоту. Такая ОВ может быть уверенно прослежена только на низкочастотной фильтрации. деконволюцию в низкочастотной области (Рис. 4.12)

Но при низкочастотной фильтрации уменьшается точность и детальность изучения разреза. Поэтому, если требуется повысить детальность разреза, то для изучения средних глубин можно применять деконволюцию в высокочастотной области (Рис. 4.13). Такая деконволюция иногда позволяет увидеть наиболее мелкие детали разреза, среди которые могут быть и неантиклинальные ловушки углеводородов. Разницу в разрешающей способности сейсморазведки на разных частотах иллюстрирует Рис. 4.14.

При выполнении сейсмических работ на море приходится бороться с кратными отражениями от границ водного слоя. Разницы в скоростях в воде и воздухе (поверхность моря) и в воде и горных породах (дно моря) оказываются больше, чем между различными породами разреза. Поэтому и отражения от границ водного слоя (поверхности моря и от дна) оказываются намного интенсивнее, чем полезные отражения от геологических границ разреза. На фоне интенсивных одно-двух-трехкратных и т.д. отражений от границ водного слоя более слабые полезные отражения от границ разреза проследить трудно (Рис. 4.15). Такие многократные отражения водного слоя называются реверберацией. Однако, в воде легко с большой точностью зарегистрировать форму импульса упругой волны вблизи источника. При этом известны точно: скорость в воде и толщина водного слоя (глубина моря).

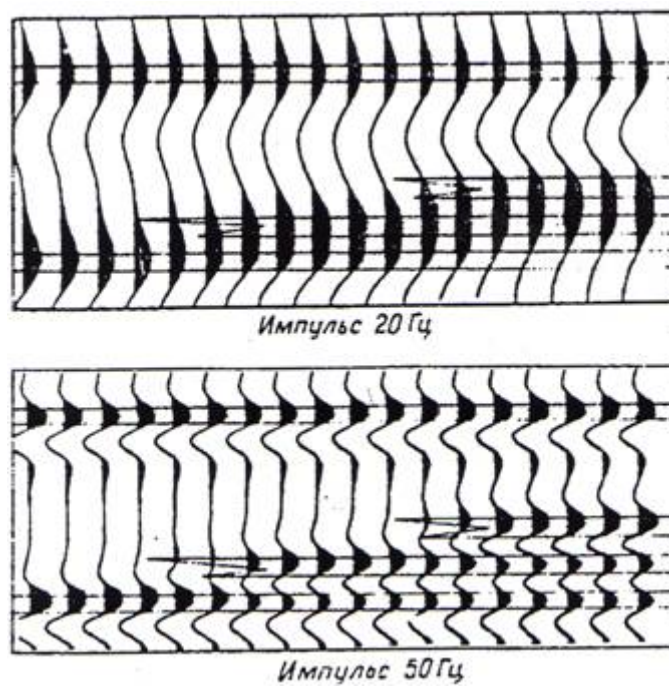
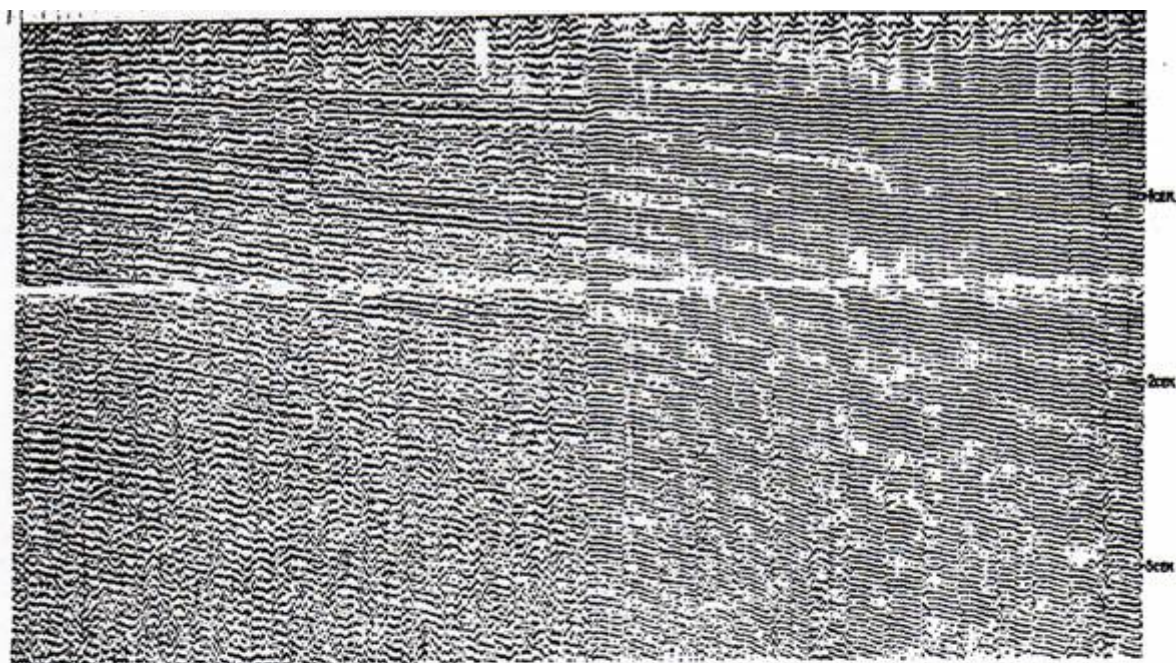


Рис. 4.14. Сравнение разрешающей способности сейсморазведки при частотах исходного импульса 50 и 20 гц.



ПРИМЕНЕНИЕ ОБРАТНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ПОЗВОЛЯЕТ УСТРАНЯТЬ ВОДНУЮ РЕВЕРБЕРАЦИЮ.

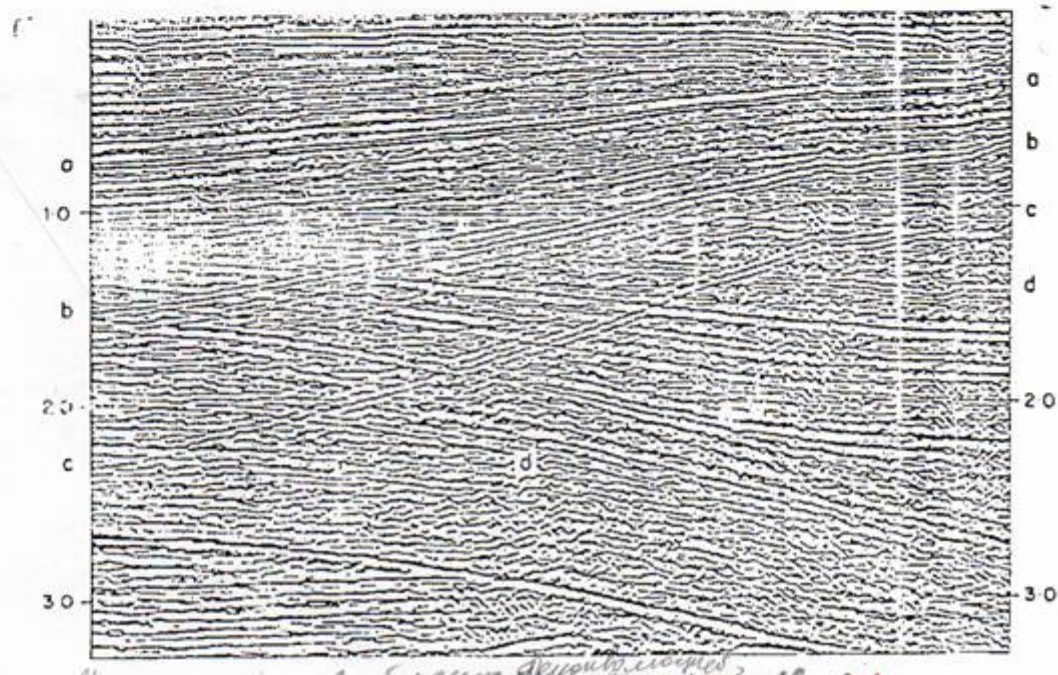
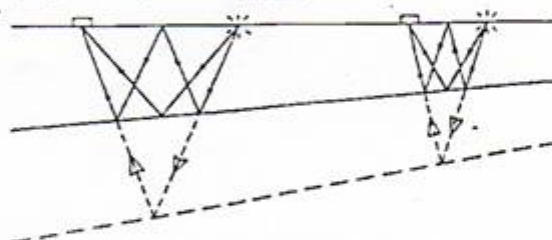


Рис. 4.15. По [Mike Badley \(19\)](#)

Устранение реверберации с помощью деконволюции

Поэтому легко с необходимой точностью предсказать, когда будут зарегистрированы эти отраженные волны-помехи и какова будет форма импульса этих волн. Этих данных достаточно, чтобы применить предсказывающую деконволюцию, т.е. очистить запись от кратных отражений от границ водного слоя. После чего построить временной разрез.

Такая деконволюция называется дереверберацией. Предсказывающая деконволюция может быть использована и для подавления частично кратных отражений от границ разреза, однако при работе на суше трудно точно изучить форму импульса волны вблизи источника.

Вопросы:

1. Почему фильтрация позволяет подавить поверхностную волну-помеху и выделить полезную отраженную волну?
2. Почему группа приборов позволяет подавить поверхностную волну-помеху, не уменьшая амплитуду полезной отраженной волны?
3. Как меняются форма и спектр импульса волн с ростом пути, пройденной ею по горным породам?
4. На каких геологических объектах сильнее всего затухают высокочастотные составляющие спектров импульсов упругих волн?
5. Что такое деконволюция? Почему она позволяет улучшить разрешающую способность сейсморазведки?

Практическое занятие №5 ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО МЕТОДУ ОБЩЕЙ ГЛУБИННОЙ ТОЧКИ (МОГТ)

Главный этап обработки данных по МОГТ заключается в суммировании сигналов (импульсов) вдоль [годографа ОГТ](#). Однако, этот годограф искажен в результате сложения импульсов отраженной волны (ОВ) с шумами-микросейсмами, из-за неточностей в учете влияния зоны малых скоростей и из-за сложения (интерференции) ОВ с другими волнами. Автоматическое суммирование максимумов импульсов ОВ вдоль такого искаженного годографа привело бы к значительным ошибкам в вычислении скоростей. Поэтому для суммирования сигнала, записанного на профиле и осложненного вышеуказанными помехами, сначала вычисляют серию теоретических годографов для того же t_0 , что и у годографа зарегистрированной ОВ, но для серии V_{cp} (Рис. 5.1 годографы $V_1, V_2, \dots, V_n$). Для определения скорости выполняют автоматическое суммирование всего наблюдаемого сигнала вдоль этих теоретических годографов с минимальным временем t_0 .

Максимальная суммарная амплитуда сигнала $\check{A}_{\Sigma}$ будет получена при суммировании вдоль того из теоретических годографов, форма которого окажется ближе всего к форме зарегистрированного (искривленного помехами) годографа ОВ, т.к. в этом случае все импульсы ОВ будут складываться почти в фазе. Поэтому амплитуда ОВ будет самой большой (смотри суммарный импульс на Рис. 5.1). Скорость, для которой был посчитан этот теоретический годограф, и будет с наименьшей ошибкой равен истинной скорости $V_{огт.ист.} = V_3$.

Однако при поочередном сложении сигнала вдоль серии теоретических годографов может быть получено еще одно максимальное значение $\check{A}_{\Sigma}$. Такой максимум появится, если был зарегистрирован годограф частично кратной отраженной волны, и один из теоретических годографов оказался по форме близкой к нему (Рис. 5.1, годограф V_6).

Амплитуда частично кратной волны меньше, чем амплитуда однократной ОВ, т.к. частично кратная ОВ потеряла больше энергии в результате двух дополнительных актов отражений.

Вторым результатом обработки по МОГТ будут сведения о средней скорости на различных глубинах (Рис. 5.2), по которым строится зависимость $V(H)$ для данной точки на профиле. Если эту же зависимость построить для всех точек отражения X_n на профиле на профиле, то будет построен скоростной разрез $V(H, X)$.

Описанная выше процедура суммирования требует большого количества машинного времени и поэтому очень дорогая. Ее выполняют в том случае, если кроме борьбы с частично-кратными ОВ, необходимо построить скоростной разрез. Если же решается только проблема борьбы с кратными ОВ, применяется процедура сканирования скоростей, которая требует значительно меньшего объема машинного времени (Рис. 5.4).

Для выполнения сканирования весь диапазон возможных скоростей разбивается на поддиапазоны, например через 100 м/сек: 1800. 1900. ...4500 м/сек. Выполняется суммирование во всем интервале времени регистрации волн.

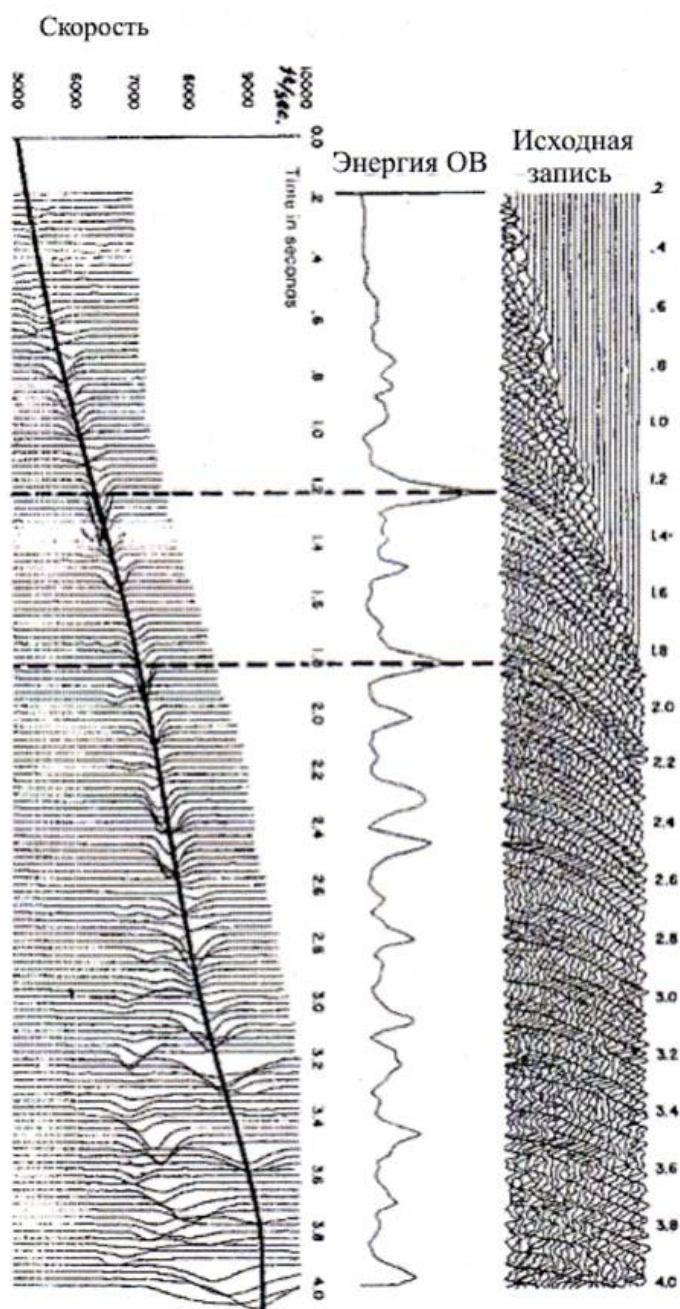
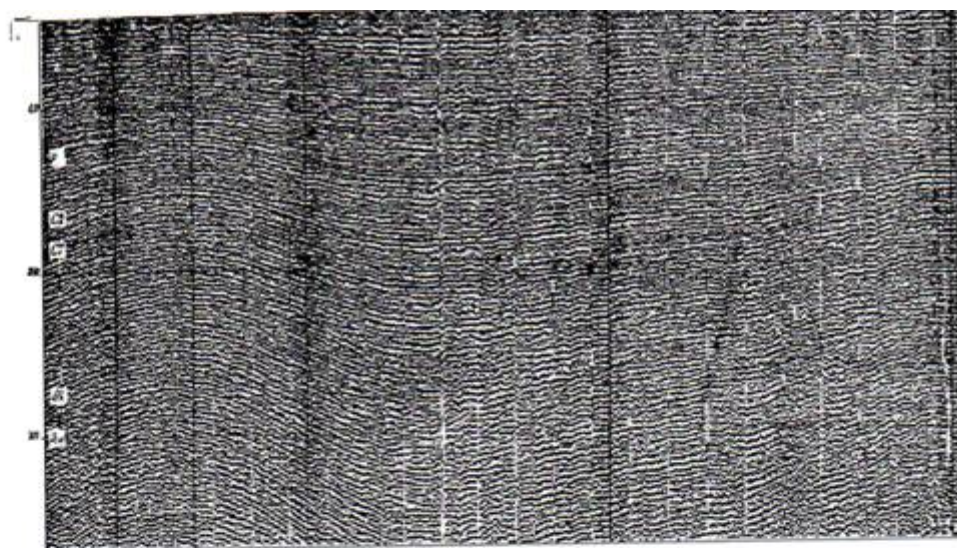


Рис. 5.2. По [П. Кири \(8\)](#). Получение спектра скоростей при обработке по МОГТ.



МОВ

ОГТ

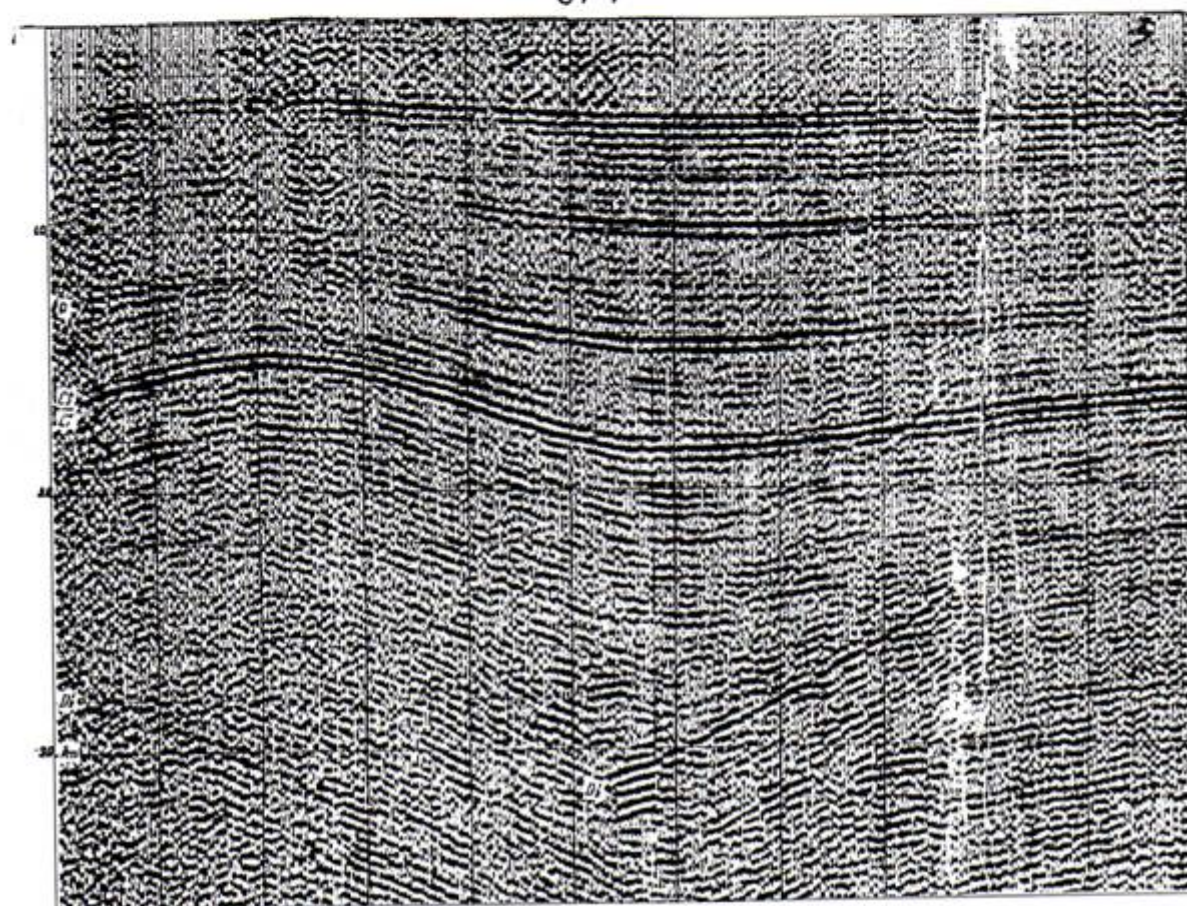


Рис. 5. 3. По [Урупову А.К.\(14\)](#). Сравнение временных разрезов МОВ и ОГТ.

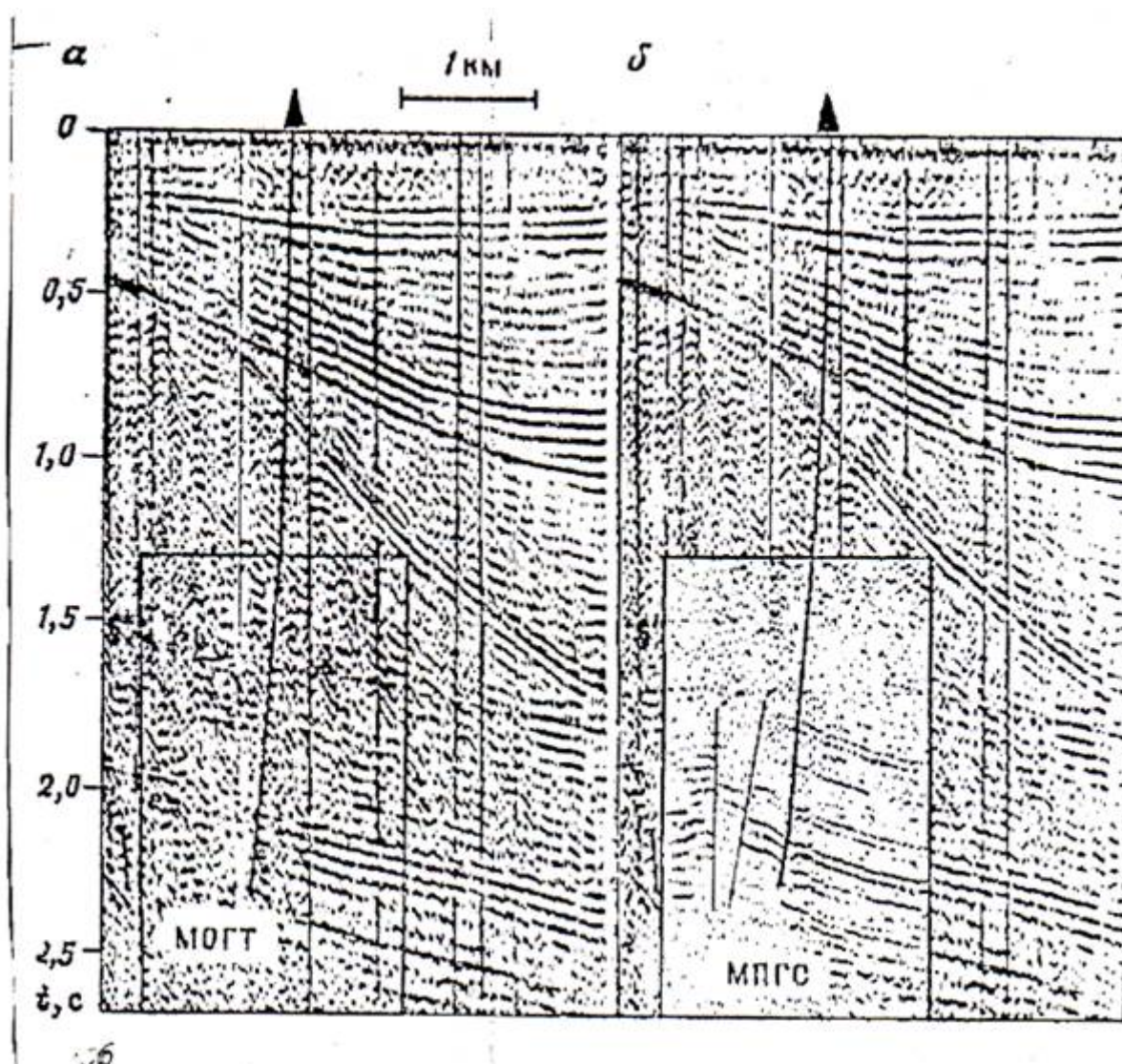


Рис. 5.4. Применение МОГТ для результатов наблюдения на поверхности (а) и при вертикальном сейсмическом профили

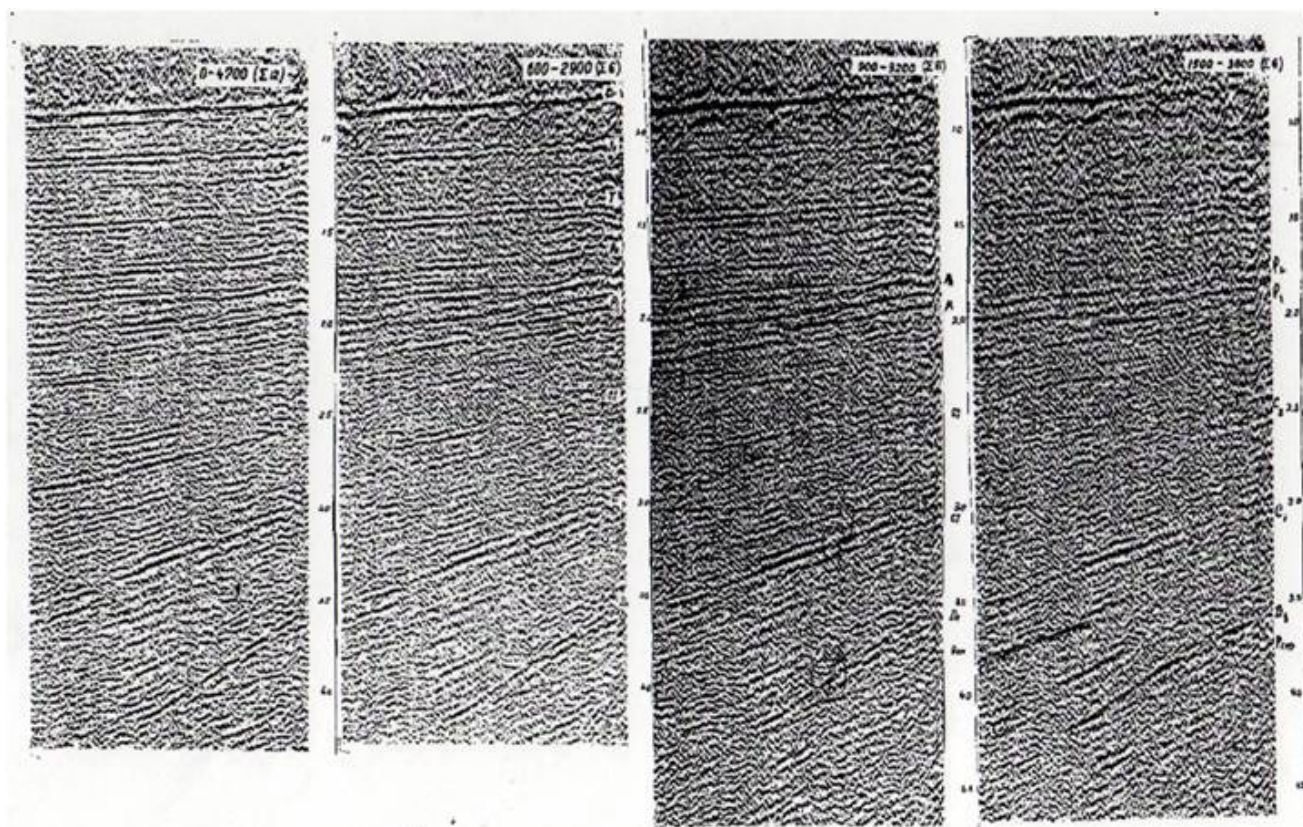


Рис. 5.5 По [Урупову А.К. \(14\)](#). Выбор оптимального интервала суммирования.

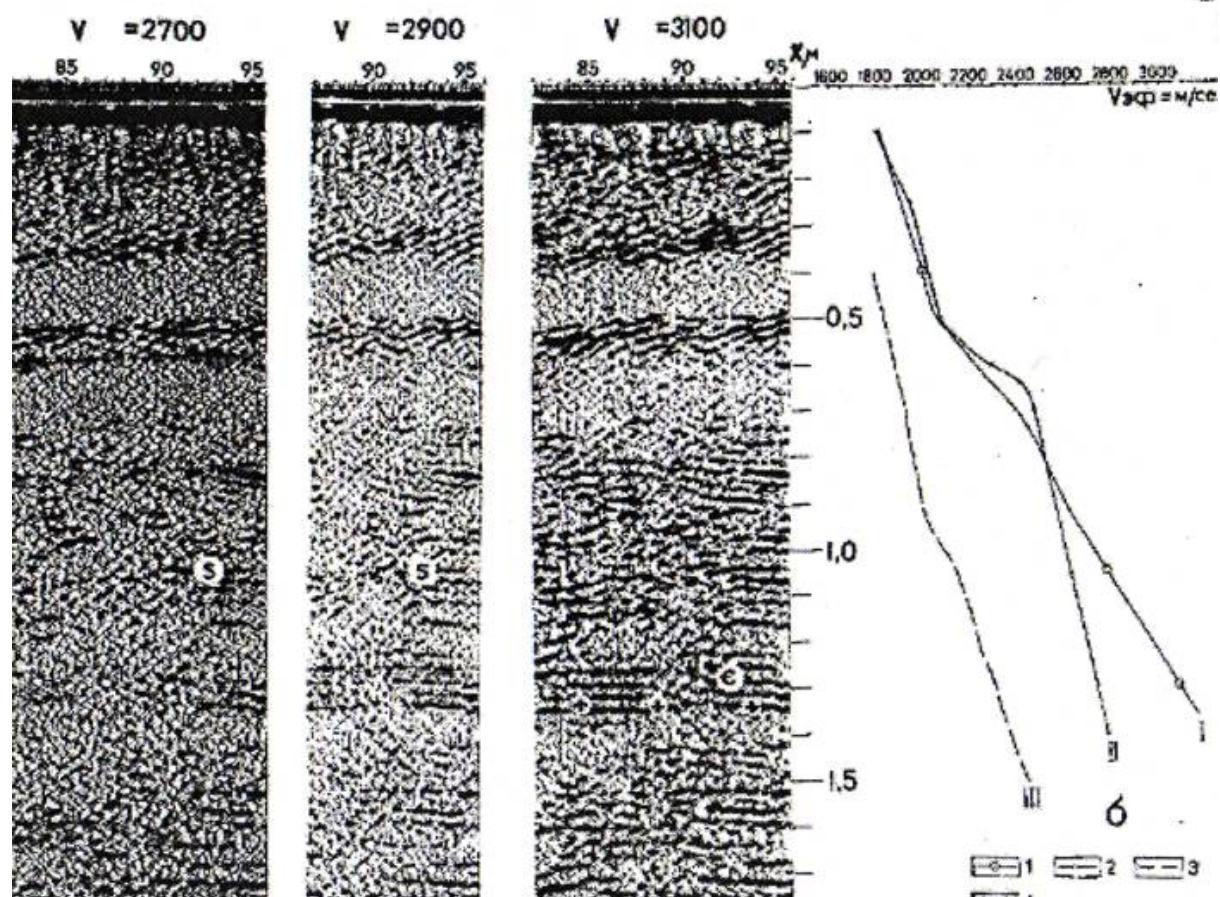
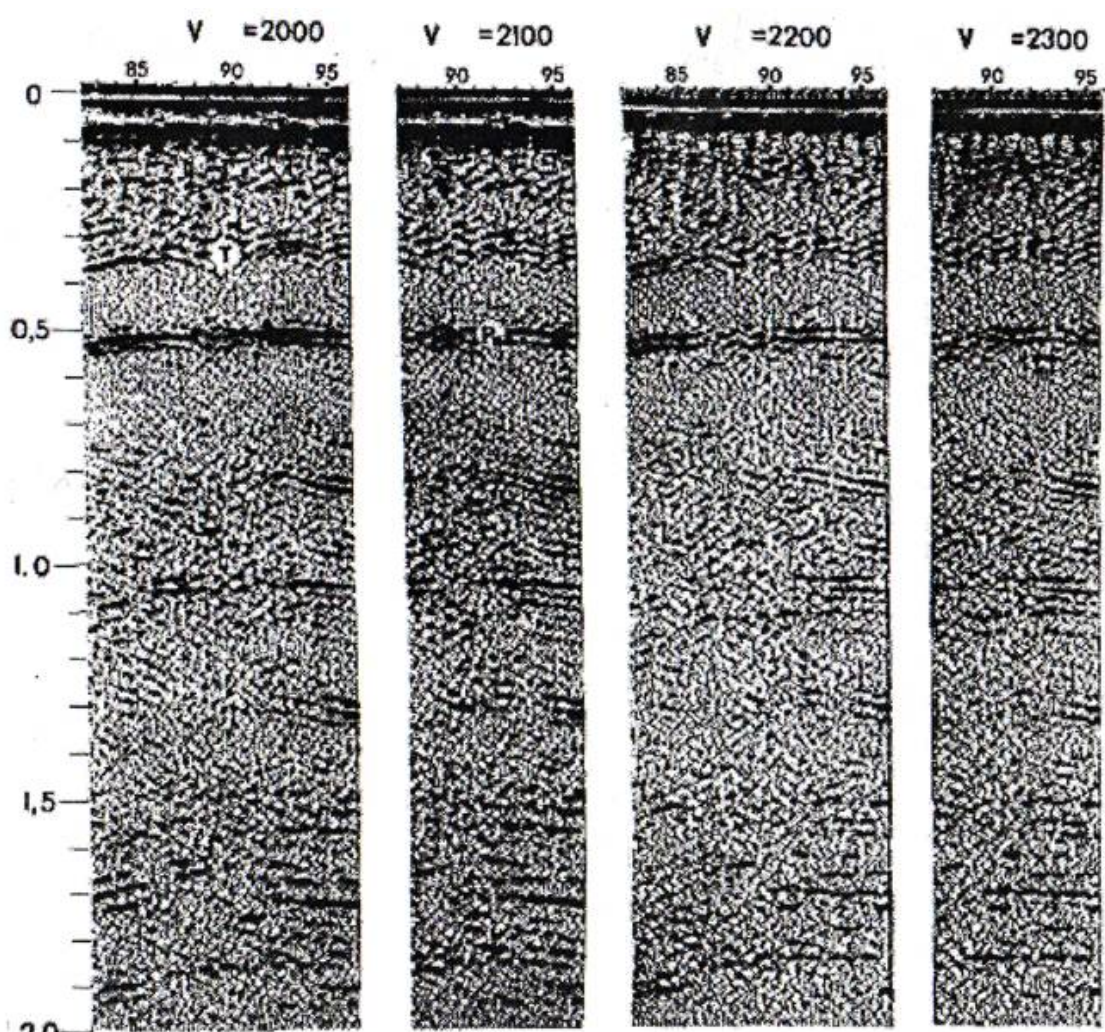


Рис. 5.6 По [Урупову А.К. \(14\)](#). Получение приближенной зависимости скорости от глубины сканированием по скоростям от 2000 до 3100 м/с

Суммирование выполняется вдоль теоретического годографа, посчитанного поочередно для каждой скорости. В результате для каждой скорости получают временной разрез, на котором в пределах некоторого интервала Δt наблюдаются наиболее интенсивные волны (Рис. 5.4). Наибольшей интенсивностью будут обладать те ОВ, годографы которых окажутся по форме близкими к теоретическому годографу, посчитанному для данной скорости. По выбранным временным интервалам Δt для каждой скорости V строится зависимость $V(t)$.

Иногда удается улучшить результат применения МОГТ, если выбрать наилучший диапазон расстояний источник-приемник, для которого выполняется регистрация упругих волн. (Рис. 5.5). Это связано с тем, что на различных расстояниях от источника могут ствовать очень интенсивные низкочастотные низкоскоростные Релеевские поверхностные волны-помехи, от которых иногда трудно избавиться. Кроме того, от длины интервала, на котором выполняется регистрация волн, зависит разница формы кратных и однократных волн, что определяет возможность избавиться от кратных ОВ.

Обработку по МОГТ можно применить при сейсмических исследованиях в глубоких скважинах (ВСП – вертикальное сейсмическое профилирование). При ВСП также удастся увеличить амплитуду ОВ и детальность исследований, а также избавиться от кратной ОВ (Рис. 5.6).

Сравните исходный материал (ряды), полученный при полевых наблюдениях (Рис. 5.7.1) и результат его обработки (Рис. 5.7.2). Как называются линии, наблюдаемые на Рис. 5.7.1 в интервале времени 1-3 сек и линии полученные после суммирования по МОГТ на Рис. 5.7.1. Как называется часть разреза в интервале времени 0-2,5 сек и в интервале времени после 2,5 сек, показанные на Рис. 5.7.3? Где здесь однократные и частично-кратные волны?

1. Назовите четыре основных результата, достигаемые с помощью МОГТ.
2. Что такое сканирование скоростей? Для чего оно выполняется?
3. При каких разновидностях сейсмических исследований применяют МОГТ?
4. Почему на Рис. 5.8.б появились отражения К и П, после обработки по МОГТ, которых не было до обработки (Рис. 5.8.а)?

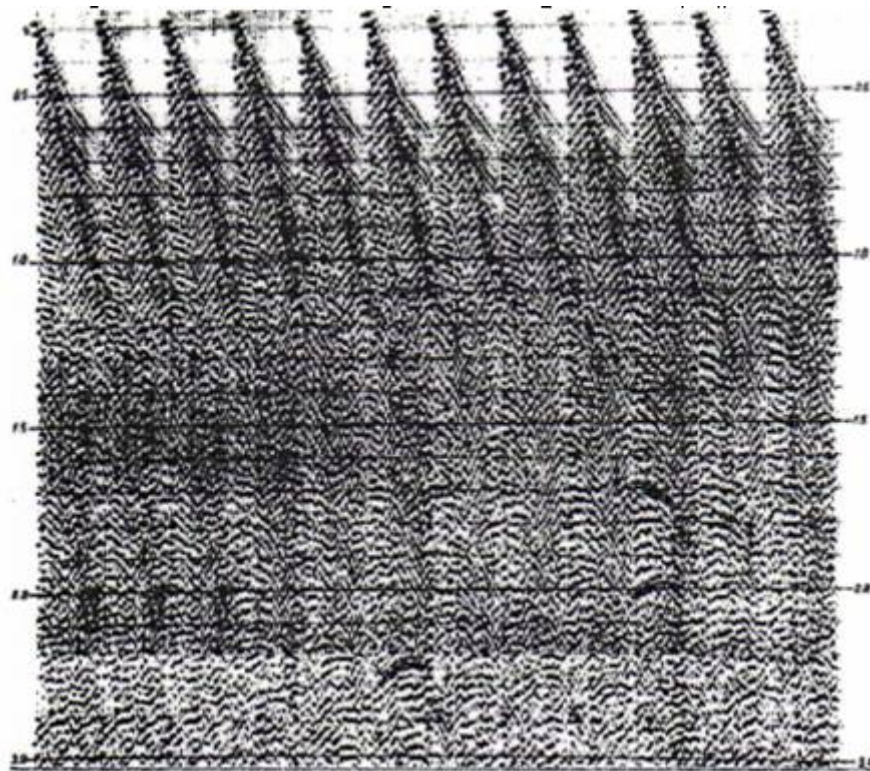


Рис 5.7.1 РЯДЫ

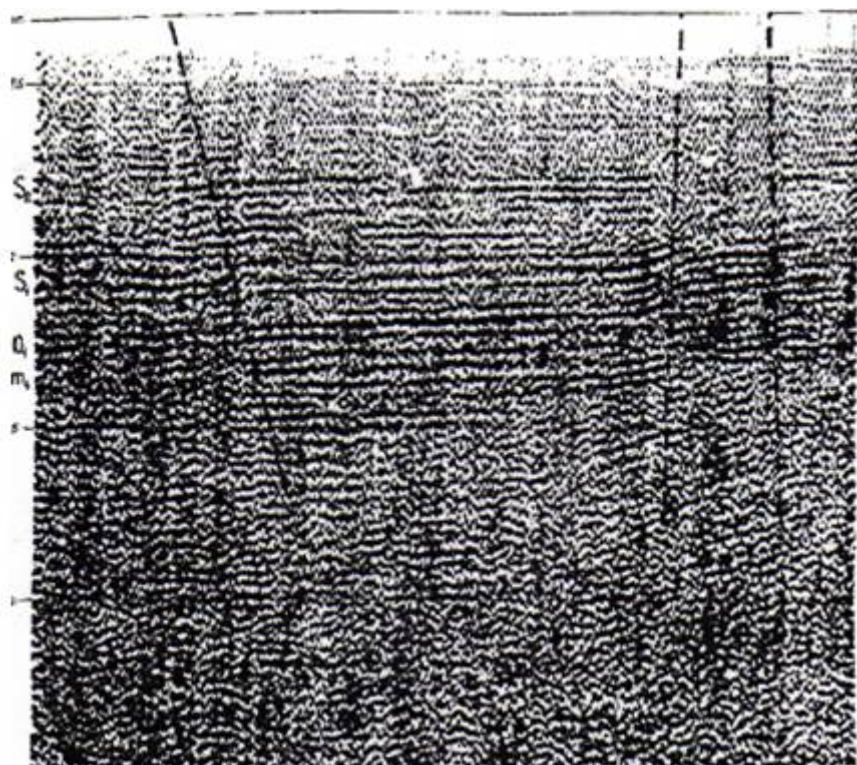


Рис. 5.7.2. Разрез МОГТ. По Урупову А.К. ([14](#)).

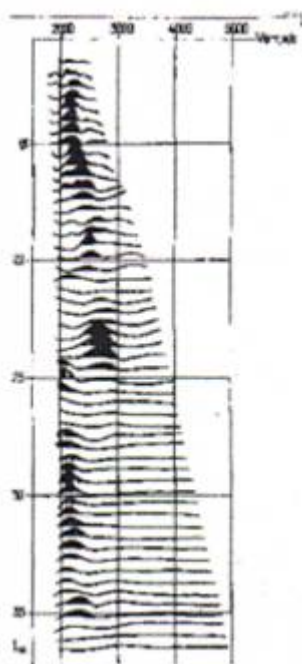


Рис 5.7.3 Спектры скоростей

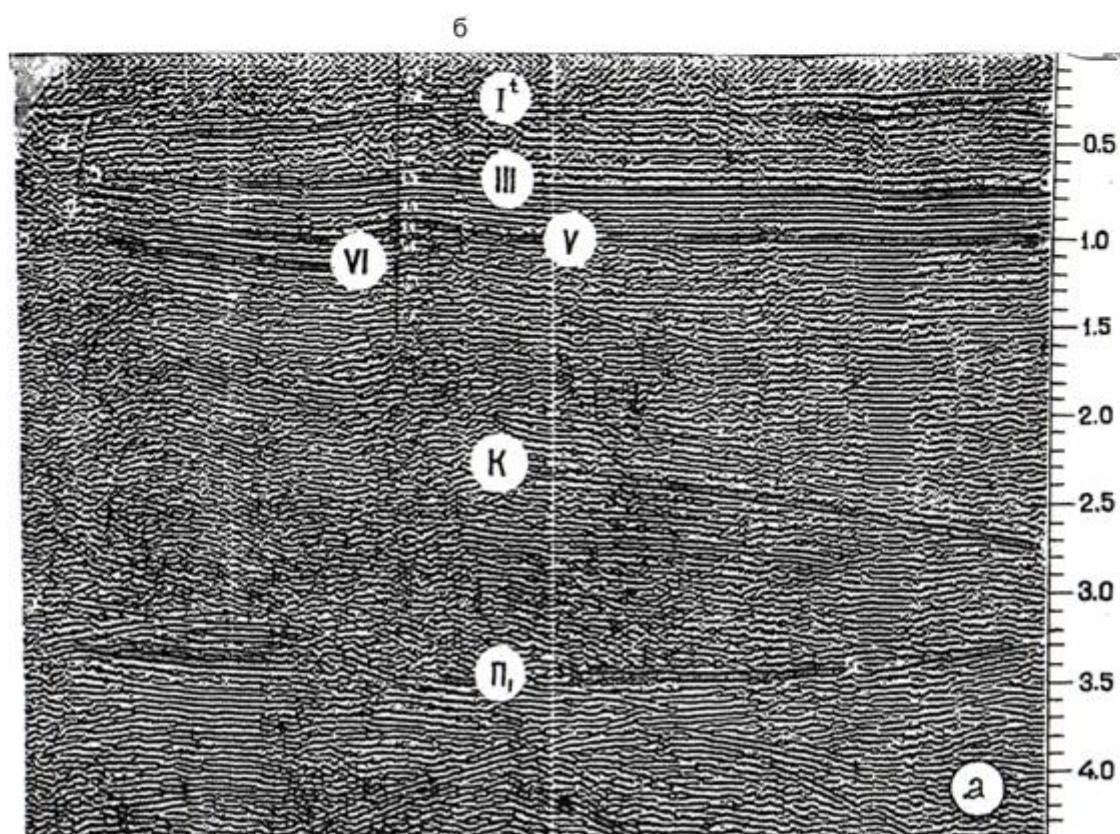
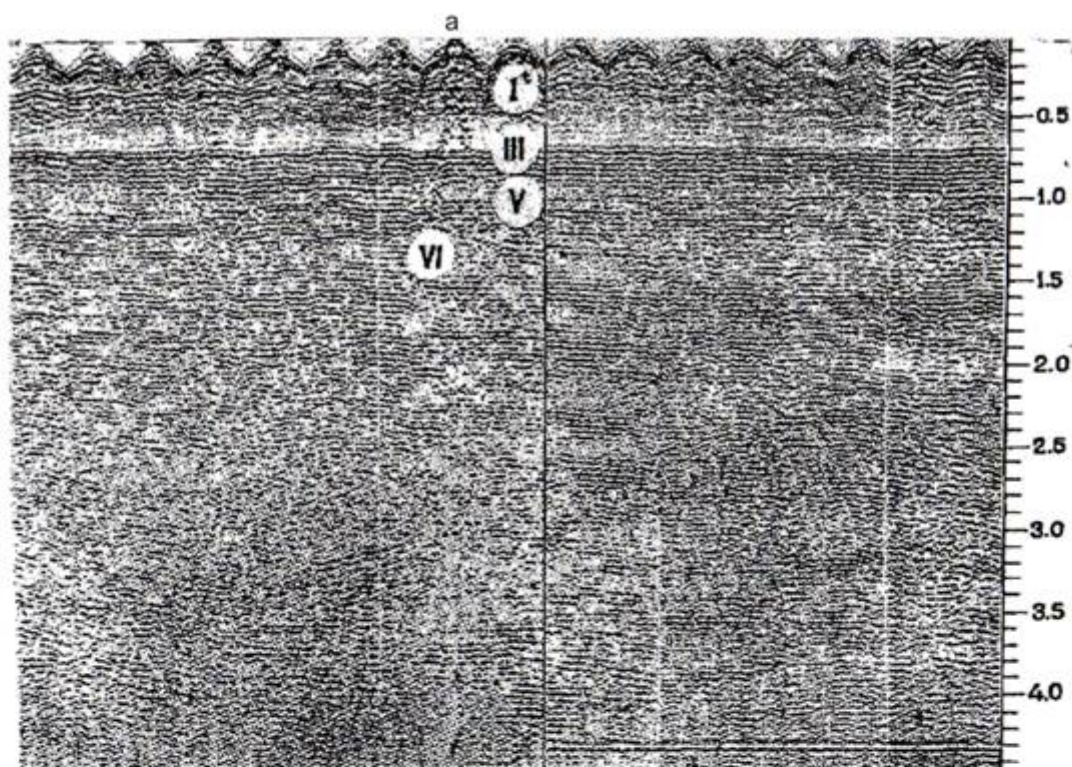


Рис. 5.8. Разрезы : а – МОВ , б – МОГТ . По [Урупову А.К \(14\)](#).

Практическое занятие №6

ПОПРАВКА ЗА СЕЙСМИЧЕСКИЙ СНОС (МИГРАЦИЯ)

В результате обработки первичных материалов, зарегистрированных по МОГТ, получаем временной разрез. Он может оказаться искаженным, не совсем подобным геологическому разрезу. Эти искажения вызваны тем, что в реальном разрезе обычно имеются наклонные или криволинейные отражающие границы. Они сформированы в результате тектонических процессов – опускания или воздымания земной коры, процессов складкообразования, образования пликтивных или разрывных нарушений. Кроме того, в разрезе могут присутствовать органогенные постройки сложной формы, линзы песчаников (бары, дюны и пр.), клиноформы, а также криволинейные границы, образовавшиеся в результате процессов эрозии.

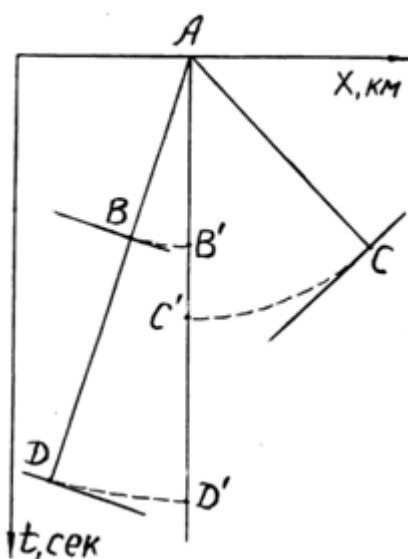


Рис. 6.1. Сейсмический снос на линию АД

Рассмотрим простейший пример, когда в разрезе имеется наклонная граница. В точке А расположены источник упругих колебаний и приемник. Упругая волна после отражения вернется в ту же точку только в том случае, если она будет двигаться по нормали к точке В на отражающей границе (Рис. 6.1).

В случае, если отражающая граница имеет наклон, то и линия АВ также имеет наклон. Однако, время движения волны на разрезе с осями t и X должно быть отложено на вертикальной линии, проходящей через точку А, т.е. вдоль линии AB' . Точка В, где произошло в действительности отражение, на временном разрезе займет положение B' , причем $AB = AB'$. Таким образом, точка отражения В сместится на величину BB' , изменив свое положение как вдоль оси X , так и вдоль оси t . Точки В и B' соединены дугой окружности BB' , представляющей собой фронт падающей волны.

Смещение точки отражения увеличивается при увеличении угла наклона отражающей границы $CC' > BB'$. Смещение увеличится также, если угол наклона границы сохраняется, но увеличится ее глубина: $DD' > BB'$.

Отметим, что здесь в одну точку А пришли отражения от трех точек В, С, D, расположенных на трех разных границах. Все эти точки отражения сместятся в точки B' , C' , D' , расположенные на одной вертикальной линии, проходящей через точку А.

Отражение от нескольких точек может быть зарегистрировано в пункте приема в случае, если отражающая граница смята в складки и поэтому имеет криволинейную форму (Рис. 6.2).

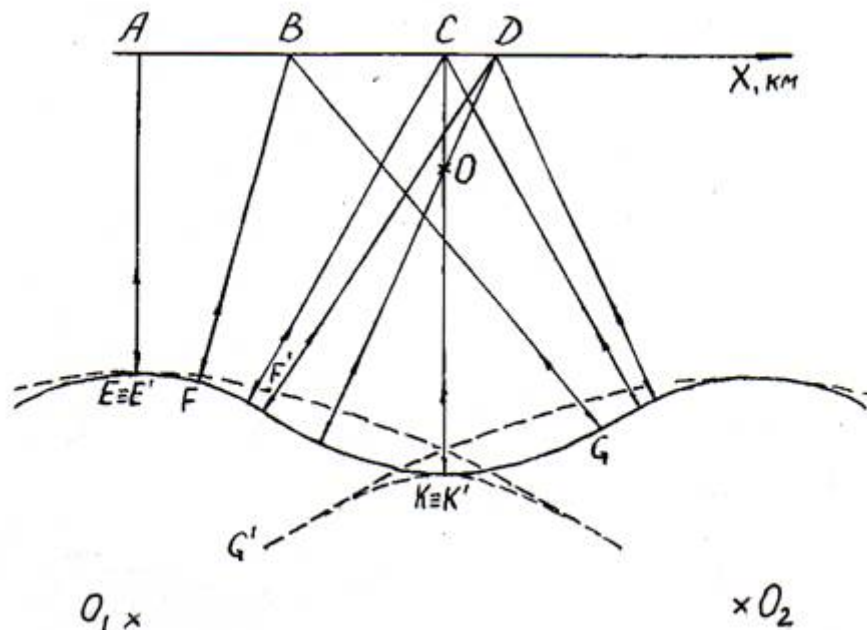


Рис. 6.2. Образование «петли» в случае если центр кривизны границы O расположен ниже дневной поверхности.

Рассмотрим расположение лучей отраженной волны в этом случае. Нормаль к плоской отражающей границе здесь заменим нормалью к касательной криволинейной границы в точке отражения. По нормали к касательной расположены центр и радиус кривизны кривой линии. Поэтому и отражение, возвращающееся к источнику, будет проходить только вдоль направления, проходящего через центр кривизны границы.

Рассмотрим точку B (Рис. 6.2). Через нее можно провести две линии, проходящие через центры кривизны O_1 и O_2 отражающей границы. Следовательно, в эту точку поступят отражения из двух точек F и G . Эти истинные точки сместятся в точки F' и G' соответственно.

В точке A зарегистрируется одно отражение, причем отражающая точка E не будет смещена: $E=E'$, т.к. касательная к отражающей границе в замке антиклинали горизонтальна.

В точку C поступят отражения от трех точек, причем смещения точки K не произойдет (замок синклинали).

Для построения всех мнимых точек отражения необходимо взять радиус, равный расстоянию от пункта приема до точки отражения. Этим радиусом из пункта приема провести дугу до пересечения с вертикалью, проходящей через пункт приема. Точка пересечения дуги с вертикалью будет мнимой точкой отражения. По таким точкам можно построить отображение реальной криволинейной отражающей границы во временном разрезе, неисправленном за [сейсмический снос](#) (до процедуры [миграции](#)).

Выполним эти построения (на Рис. 6.2 нет дуг и вертикальных линий), получим отображение отражающей границы, смятой в складку. Она отображается петлей вместо синклинали. Петля образуется в том случае, если центр кривизны расположен ниже дневной поверхности (точка O на Рис. 6.2). После выполнения миграции крылья антиклинальной части границы стали круче.

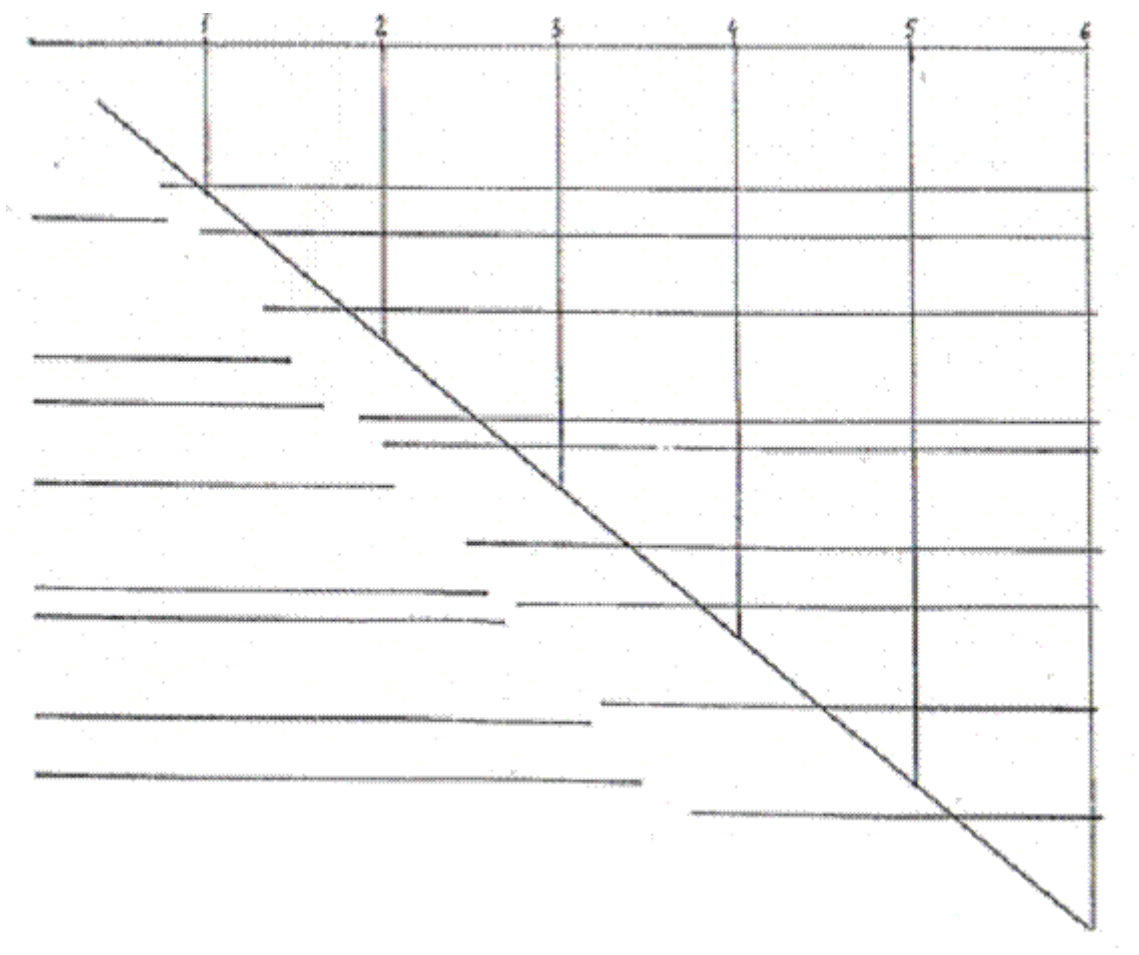


Рис 6.3. Сейсмическое отображение разреза.

Внесите поправки за [сейсмический снос](#) Выполните миграцию методом общей касательной. Как называется полученная линия? Как называется такой разлом?

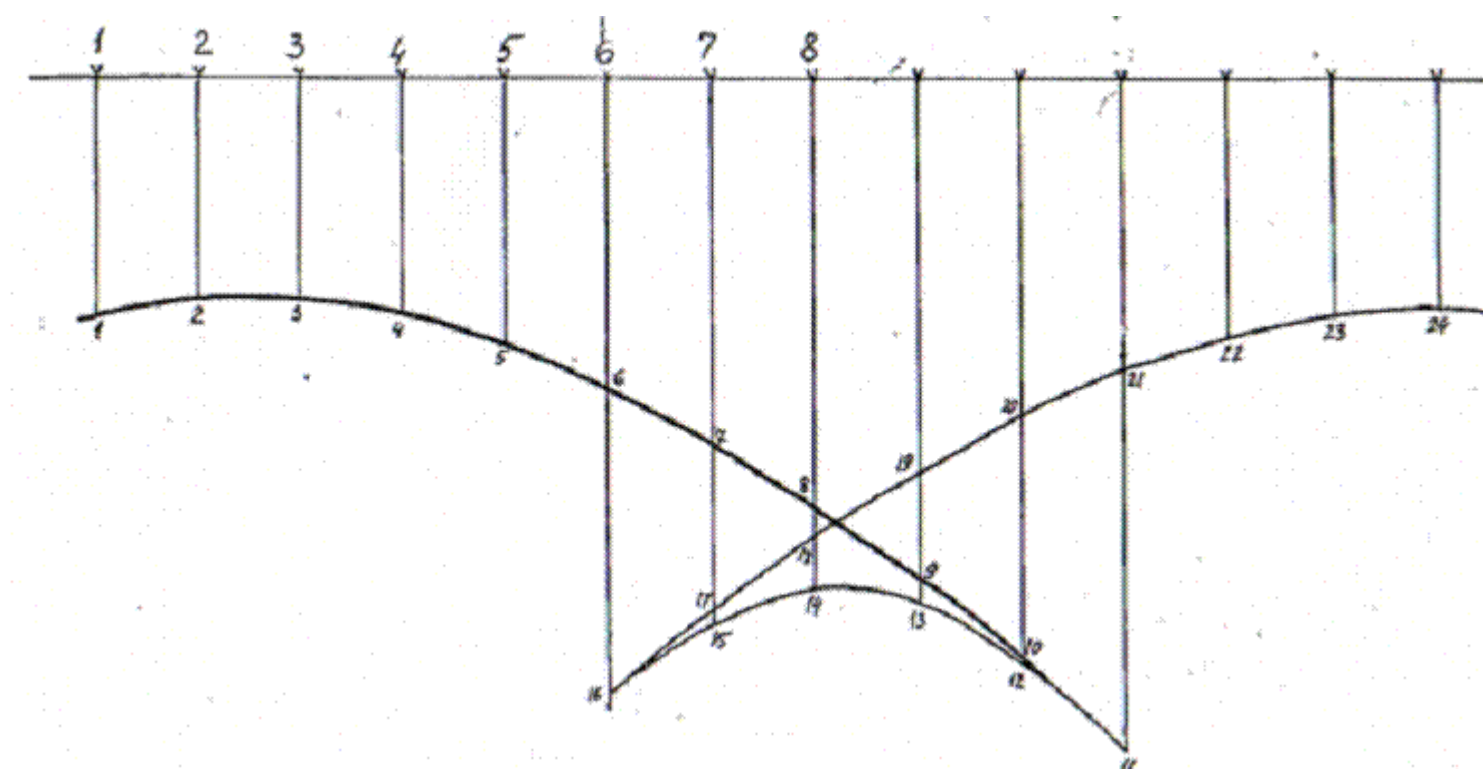


Рис. 6.4. Восстановление формы криволинейной отражающей границы методом общей касательной.

Проведите 2 - 3 дуги, используя вертикальные линии 1.1, 2.2, №.№. ид как радиусы дуг. Выберите радиусы в порядке возрастания их номеров от одного до двадцати четырех. Проведите сначала общую касательную к первым трем дугам, затем проведите следующие три дуги и продолжите их общую касательную. Не забывайте, какие точки "петли" не должны и изменять своего положения после внесения поправки. Дуги с радиусами от 1 до 13 проведите влево, а от 14 до 24 вправо.

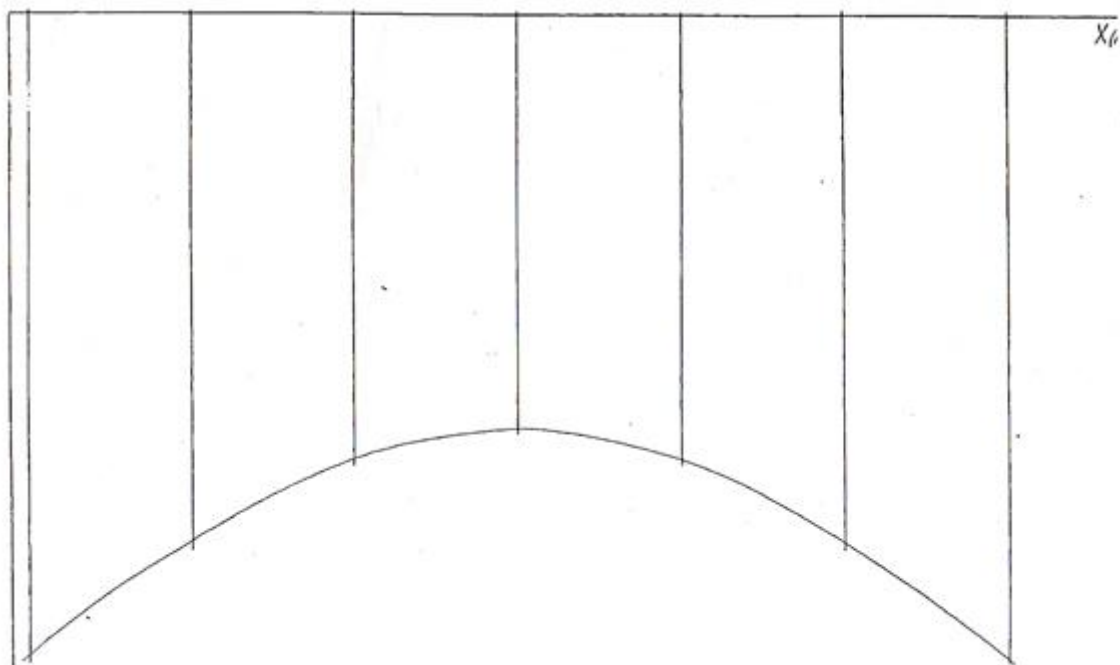


Рис. 6.5.

Выполните миграционные преобразования графическим способом методом общей касательной. Какая геометрическая фигура оказалась общей огибающей? Если эта фигура оказалась причиной появления данной кривой, то как называется эта кривая?

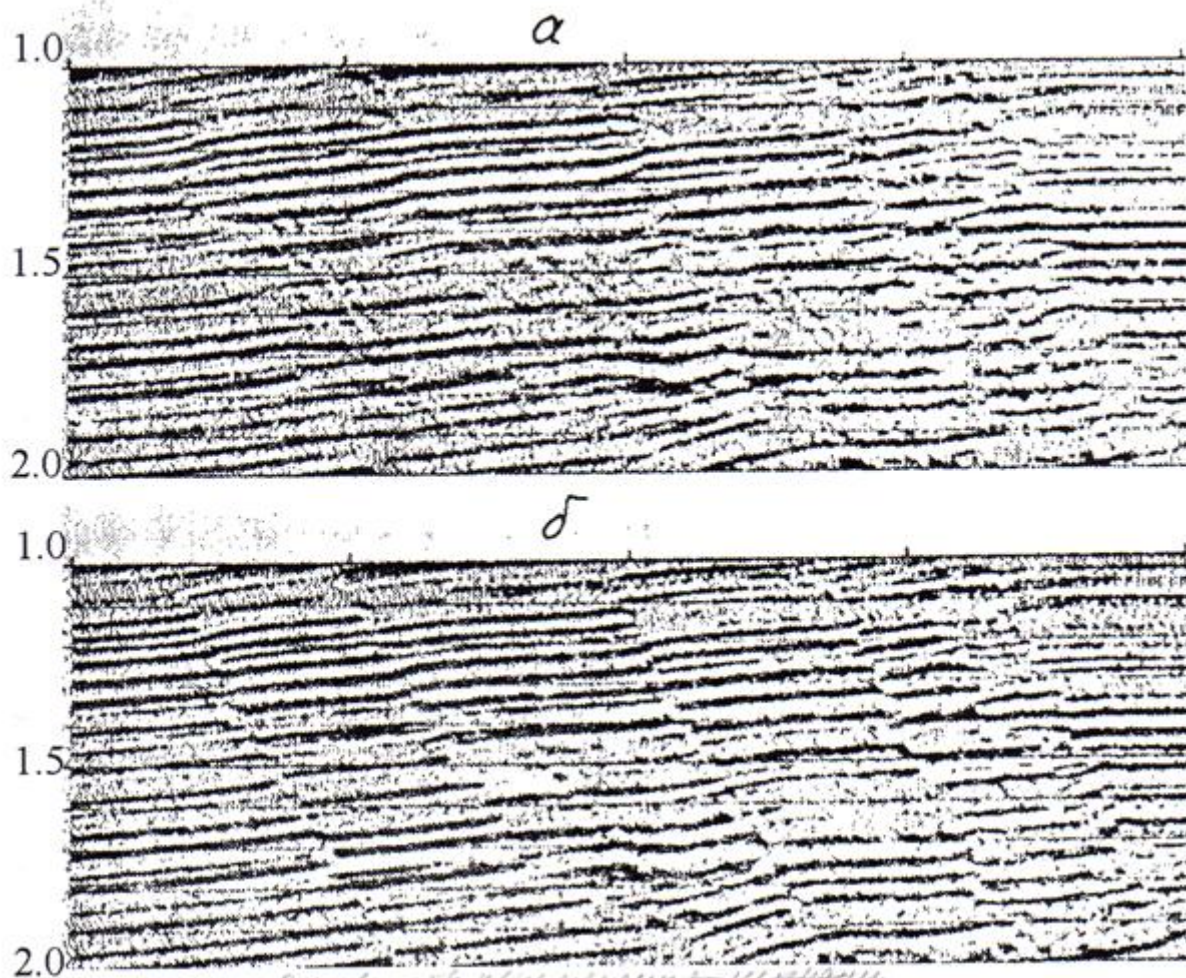


Рис. 6.6. Временной разрез до миграции (а) и после нее (б).

Найдите на рисунке 6.6а положение смещенного сносом сместителя левого разлома и линию флексур на месте линии разрывов нарушения. Мнимые флексуры образуются годографами дифрагированных волн от граней ступенчатой тектонической структуры. На линии 6.6б найдите положение этого разлома после выполнения миграции.

Задание:

Выполнить миграцию, т.е. восстановить истинное положение и форму отражающих границ по их отображениям на трех моделях временных разрезов (6.3, 6.4, и 6.5) графическим способом с помощью циркуля и линейки, применив метод общей касательной. Для этого: а) Из имеющихся на дневной поверхности пикетов 1, 2, 3.... провести вертикали. б) Радиусами, равными расстояниям вдоль нормали от этих пикетов к отображениям отражающих границ, провести дуги окружностей. в) Построить истинное положение отражающей границы как общую касательную к этим дугам.

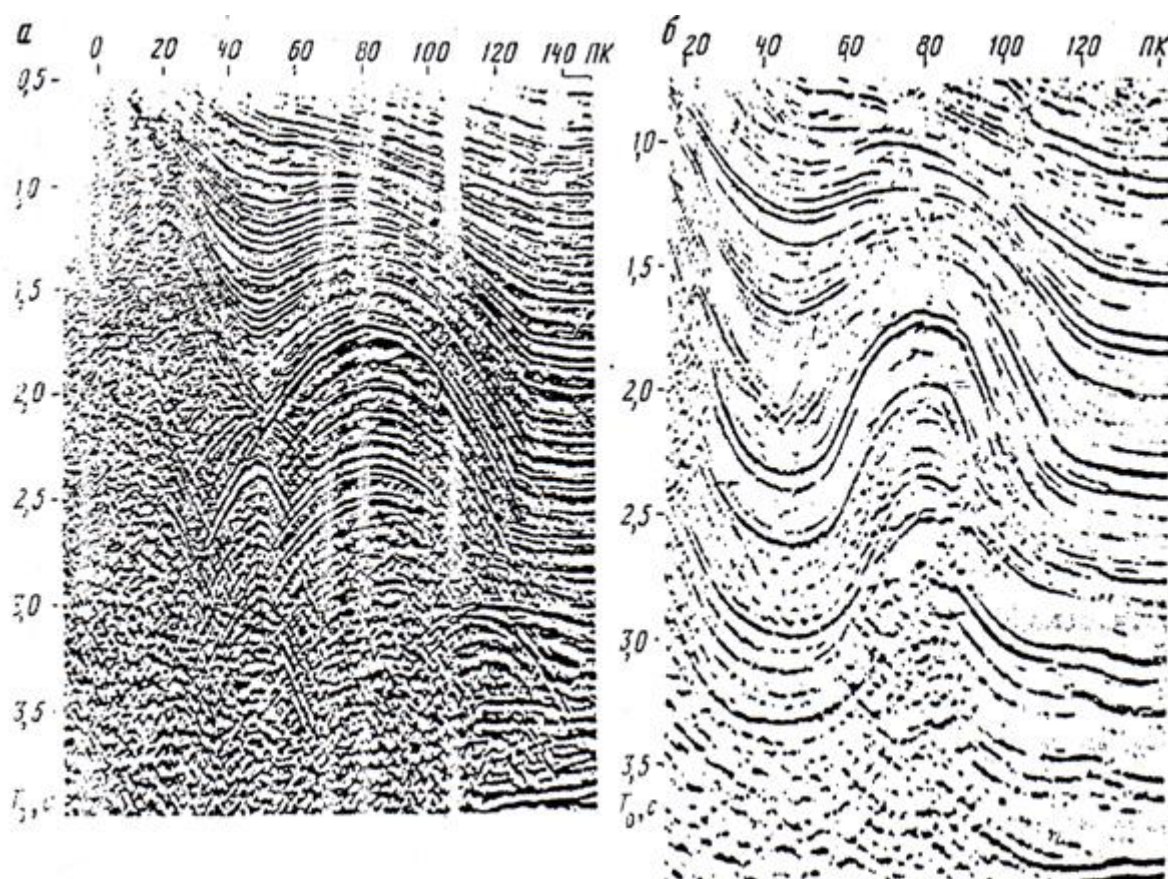


Рис. 6.7. По Москаленко В.Н. Результаты применения миграции .

Сравните Рис. 6.7. а и б. Какой из разрезов получен после выполнения миграции? Как исказились антиклинали и синклинали в результате сейсмического сноса? Найдите на не мигрированном разрезе [годограф](#) дифрагированной волны, а на мигрированном разрезе – геологический объект, оказавшийся дифрагированным. Какова его геологическая природа?

2. Ответьте на вопросы.

Для модели временного разреза №1:

От каких элементов разреза получены отражения?

Как исказились горизонтальные и наклонная границы?

Для модели №2:

Каково условие появления петли на временном разрезе?

Каков характер искажений для антиклиналей и для синклиналей?

Для обеих моделей:

Какие Вы знаете графические способы внесения поправки за [сейсмический снос](#)?

3. Познакомьтесь с реальными примерами искажений, вызванных сейсмическим сносом на разрезах, аналогичных моделям №1 и №2 по иллюстрациям на Рис. 6.6, 6.7

Практическое занятие №7

ЗНАКОМСТВО С РЕЗУЛЬТАТАМИ МИГРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ

Миграция сейсмической записи выполняется с целью внесения поправок за сейсмический снос. При этом антиклинали становятся уже и круче, а синклинали – положе; ликвидируются «заходы», разрывы и «петли», искажающие реально существующий разрез (см. лекции, занятие № 6) Кроме того, годографы дифрагированных волн сворачиваются в изображение дифрагирующего объекта (или точки), т.е. такого элемента разреза, радиус кривизны которого меньше длины сейсмической волны.

Для выполнения миграции необходимо решить волновые уравнения. Это сложное математическое преобразование, требующее большого количества машинного времени и детальных сведений о распределении упругих параметров в разрезе. Такие сведения можно получить при обработке сейсмических данных по МОГТ (см. практическое занятие №5) . Однако данные о распределении скоростей могут оказаться недостаточно точными. Поэтому для выполнения миграции пользуются приблизительными представлениями о распределении упругих параметров, что упрощает волновое уравнение и уменьшает объем машинного времени, необходимого для их решения.

Цель данной работы – познакомиться с разницей между немигрированными и мигрированными временными разрезами.

В практической работе №6 Вы познакомились с сейсмическим сносом, петлями и графическим способом внесения поправок за снос.

Рассмотрим примеры более сложных моделей или реальных разрезов и более совершенных способов осуществления миграции.

На Рис. 7.1 показаны: модель многослойного разреза и лучи, по которым отраженная волна возвращается к источникам. Пласты на этой модели смяты в несимметричную складку. На каждый пункт приема приходят отражения от нескольких границ слоистой среды.

На Рис. 7.2 и 7.3 видно, что отображения таких криволинейных границ на синтетическом временном разрезе из-за сейсмического сноса продолжают дальше, за пределы их реального существования. Эти продолжения пересекают друг друга, образуя «заходы», чего не может быть в реальном геологическом разрезе. Подобные «заходы» можно наблюдать на другой модели (Рис. 7.4) и соответствующем ей синтетическом временном разрезе (Рис. 7.5).

На Рис. 7.6 представлена модель с границами, смятыми в антиклинальную складку. Особенности формирования петель изучите на Рис. 7.6 и синтетическом временном разрезе (Рис. 7.7) Чем глубже залегает отражающая граница криволинейной формы, тем шире петли.

Рисунок 7.8 знакомит Вас с моделью разреза, включающего в себя складку более сложной формы. Она отобразилась во временном разрезе (Рис. 7.9) с многочисленными «заходами» и разрывом.

На всех последующих рисунках представлены реальные временные разрезы до и после миграции.

Рисунок 7.10 – фрагмент немигрированного временного разреза с отображением контрастной отражающей границы, осложненной малоамплитудными разрывными нарушениями. Сформированные ими ступени плохо видны, т.к. на ребрах ступеней образовались волны дифракции. Годографы дифрагированных волн сгладили ступени.

В результате миграции годографы дифрагированных волн свернулись в изображения узлов дифракции, которыми служили ребра ступеней. На мигрированном разрезе (Рис. 7.11) ступени четко прослеживаются, несмотря на малые амплитуды смещений.

В результате миграции могут быть обнаружены элементы структуры, которые не прослеживаются на немигрированном разрезе. На таком разрезе (Рис. 7.12,а) отобразились останцы частично размытого пласта соли. В результате размыва сформировались резкие перегибы и выступы в кровле пласта, на которых происходила дифракция, а также сейсмический снос, исказившие разрез. Увидеть реальную форму останцов соляного пласта можно только на мигрированном разрезе (Рис. 7.12, б) после того, как годографы дифрагированных волн свернулись в изображения дифрагирующих объектов и были устранены результаты сейсмического сноса.

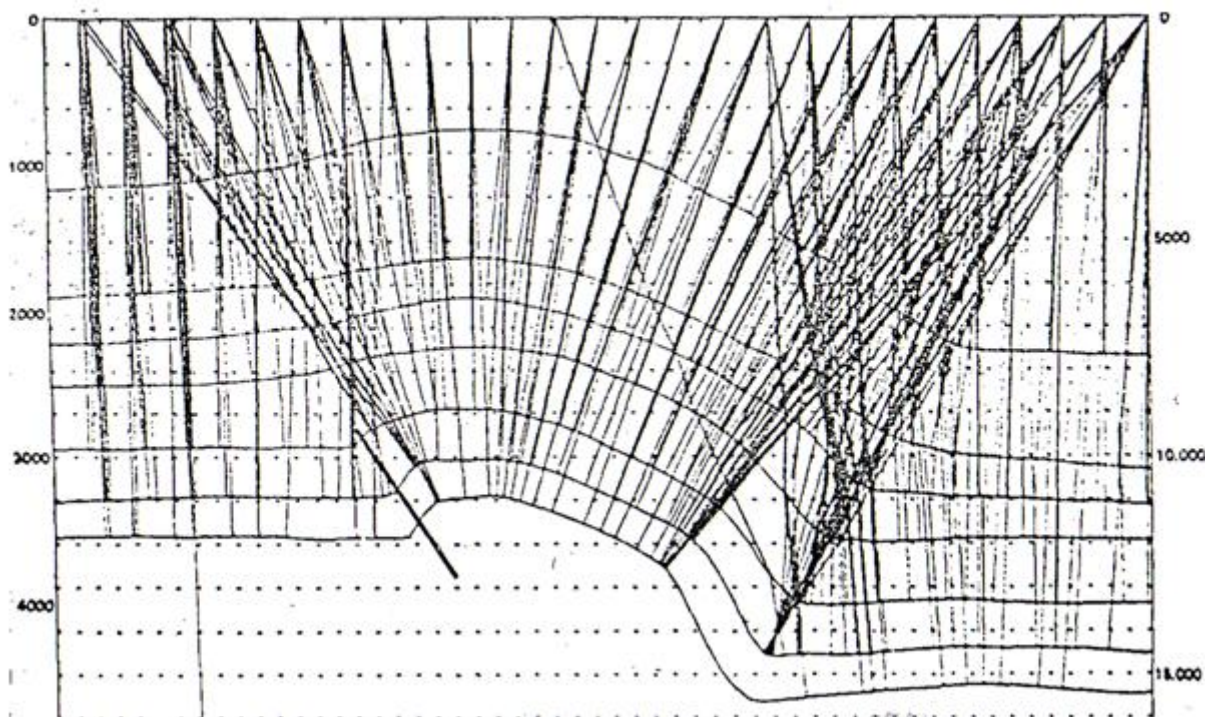


Рис. 7.1. По [A. W. Bally \(17\)](#). Приход к каждому приемнику ОВ от нескольких точек расположенных на криволинейных отражающих границах.

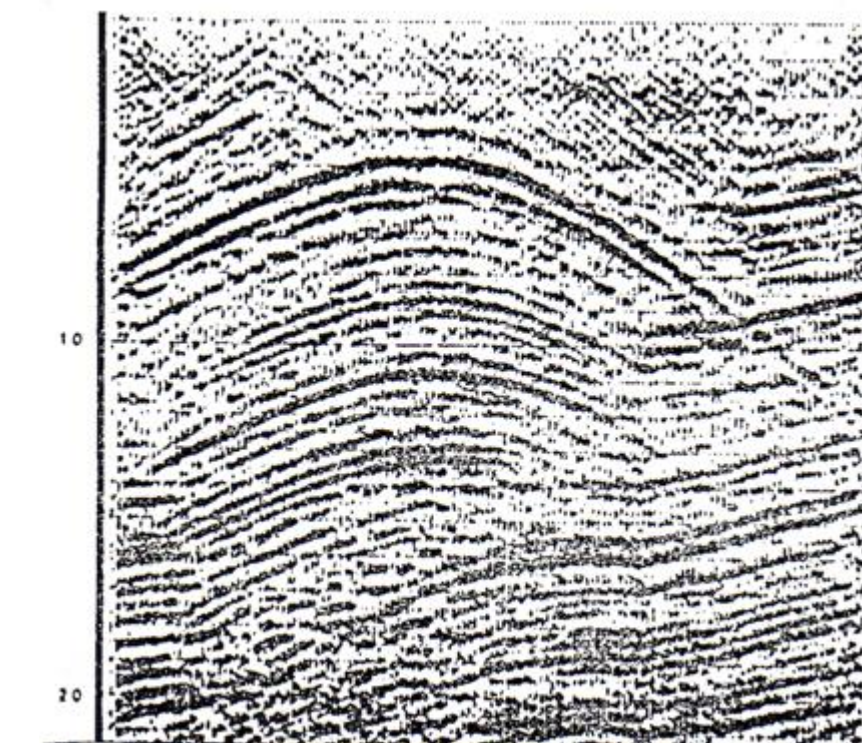


Рис. 7.2. По [A. W. Bally \(17\)](#). Пример отражения криволинейных границ.

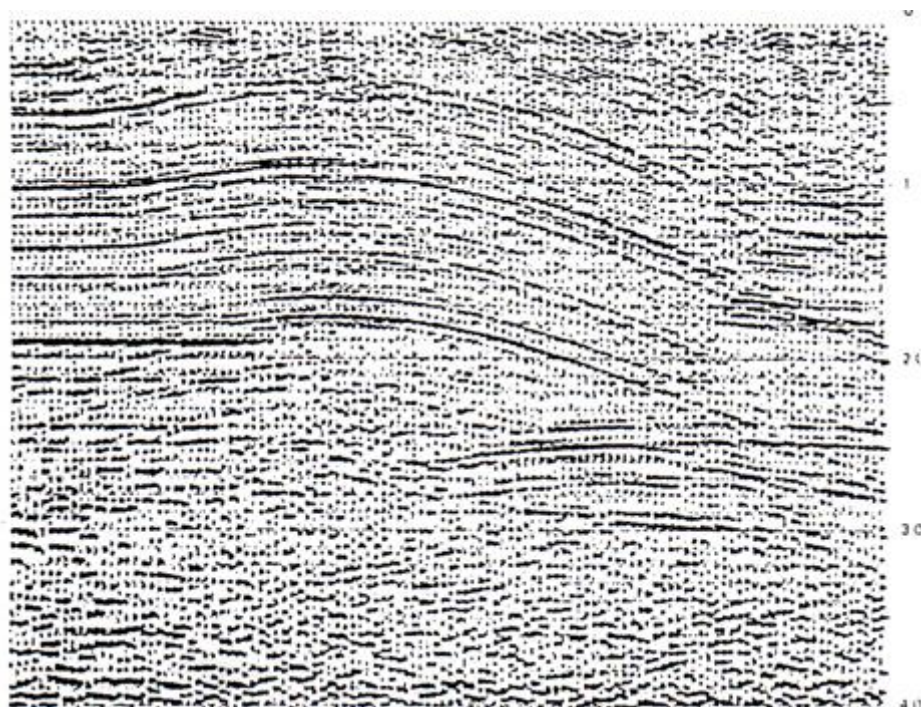


Рис. 7.3. По [A. W. Bally \(17\)](#). Пример искажения криволинейных границ ([заходы](#)).

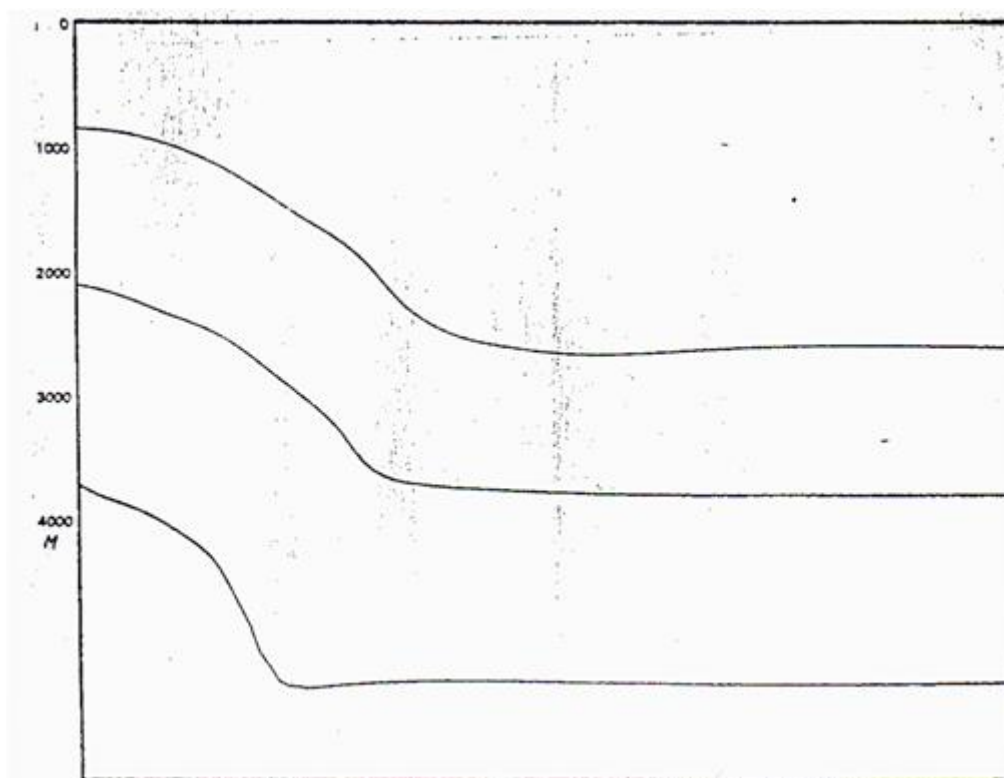


Рис. 7.4. По [A. W. Bally \(17\)](#). Модель разреза с криволинейными границами.

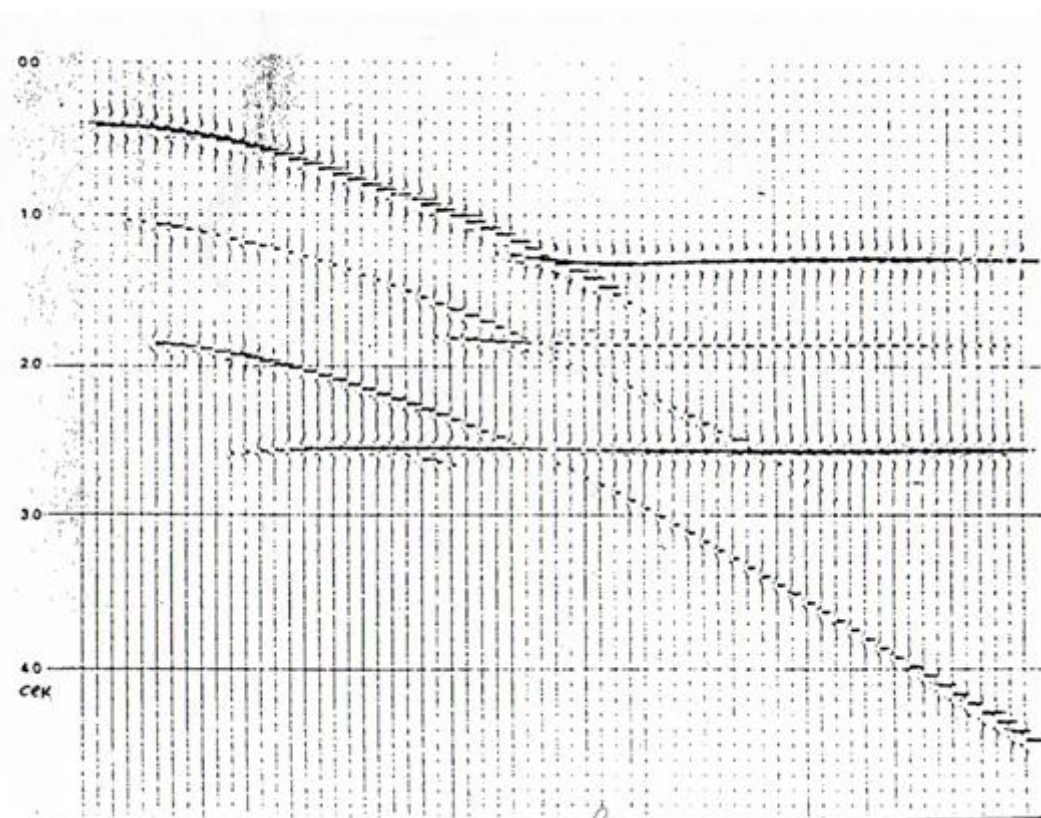


Рис. 7.5. По [A. W. Bally \(17\)](#). «Заходы», сформированные отражениями от криволинейных границ, показанных на Рис. 7.4.

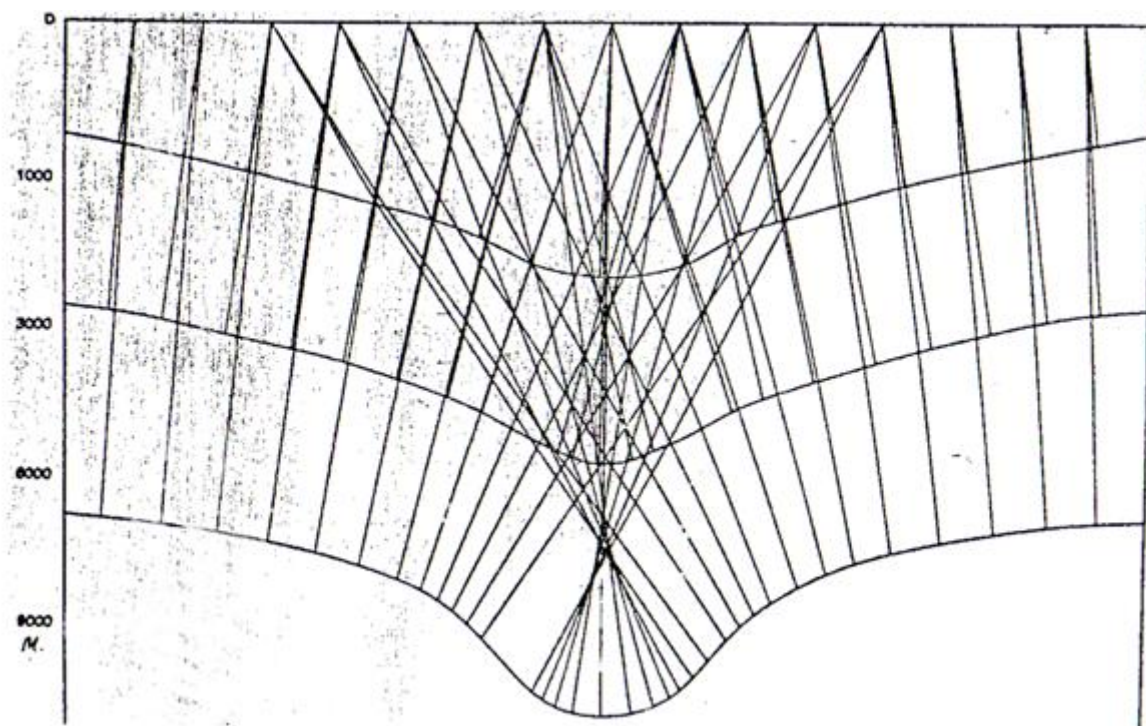


Рис. 7.6. По [A. W. Bally \(17\)](#). Приход к каждому приемнику отражений от нескольких отражающих точек, расположенных на криволинейных границах.

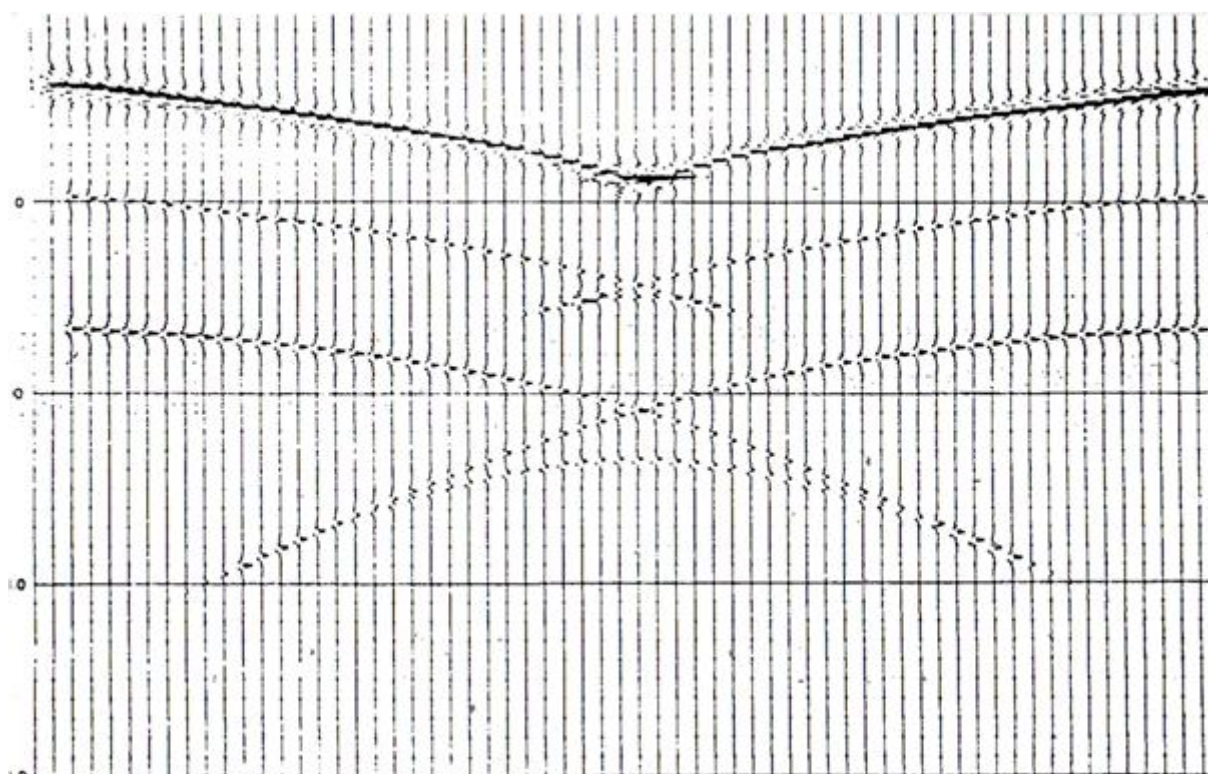


Рис. 7.7. По [A. W. Bally \(17\)](#). Искажения сейсмическим сносом границ, смятых в складки, показанные на Рис. 7.

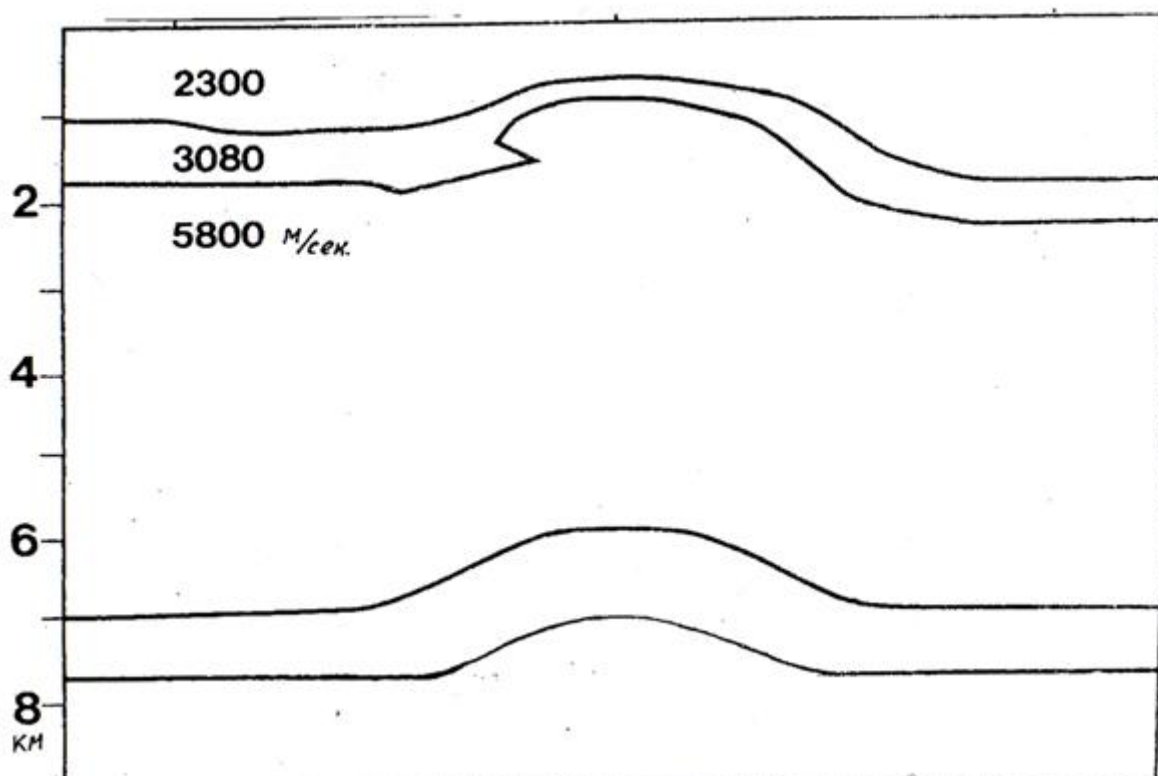


Рис. 7. 8. По [A. W. Bally \(17\)](#). Модель разреза с криволинейными границами.

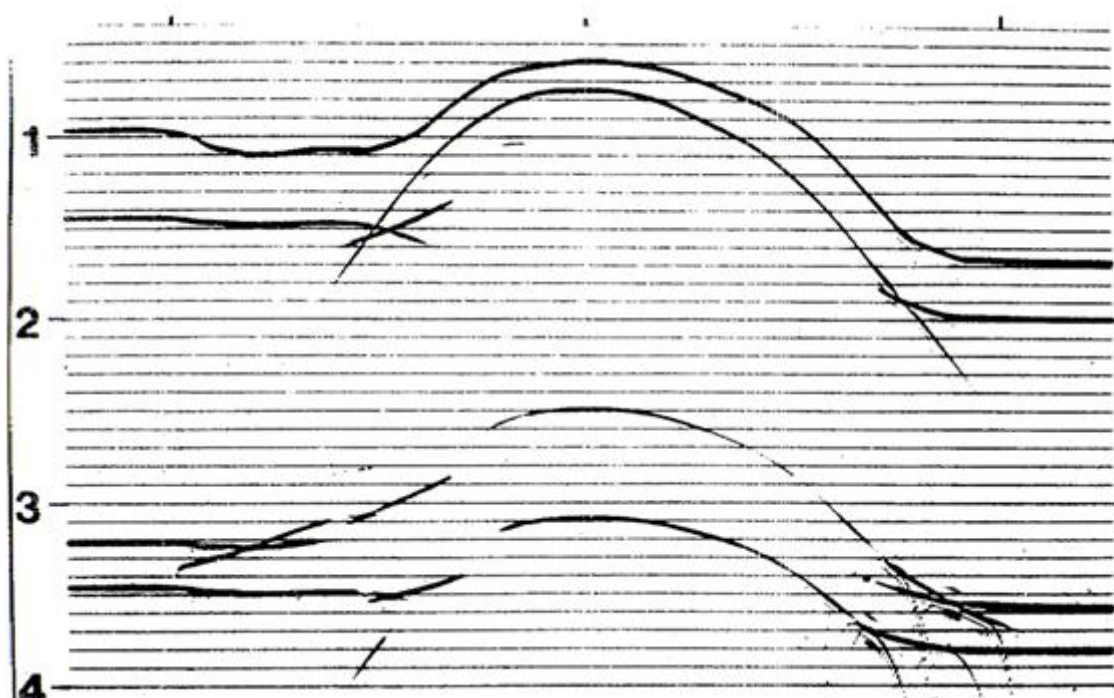


Рис. 7.9. Искажения криволинейных границ, показанных на рисунке 7.8, сейсмическим сносом.

На каких участках криволинейных границ происходят заходы и на каких разрывы?

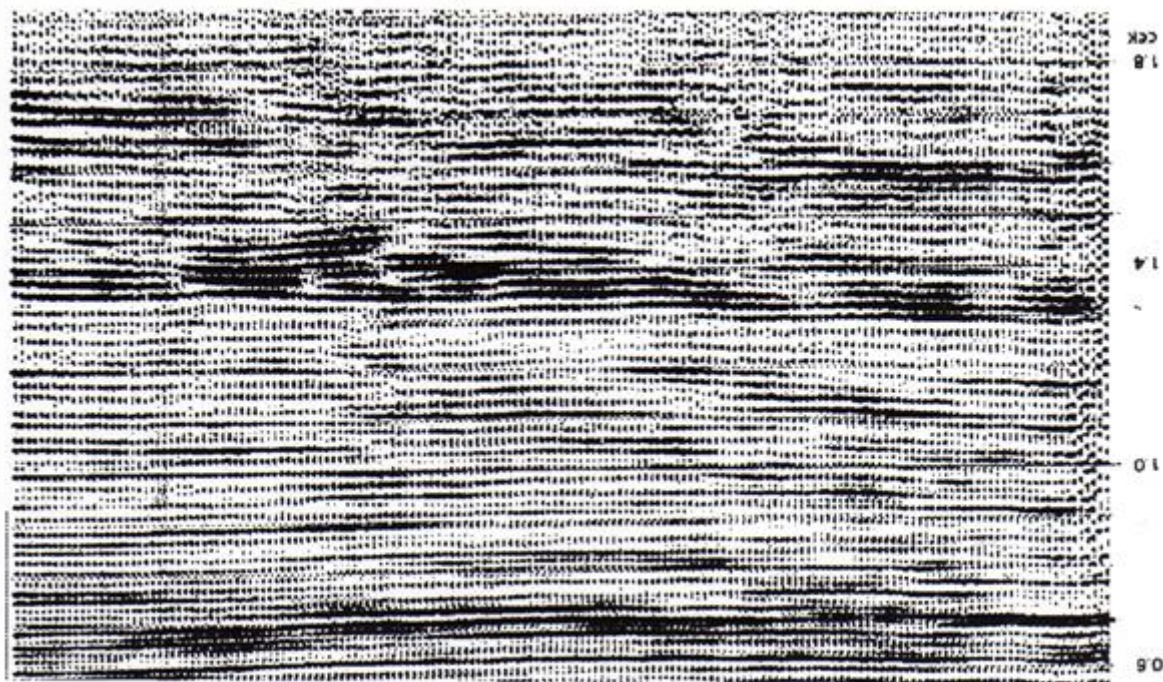


Рис. 7.10. Временной разрез до миграции.

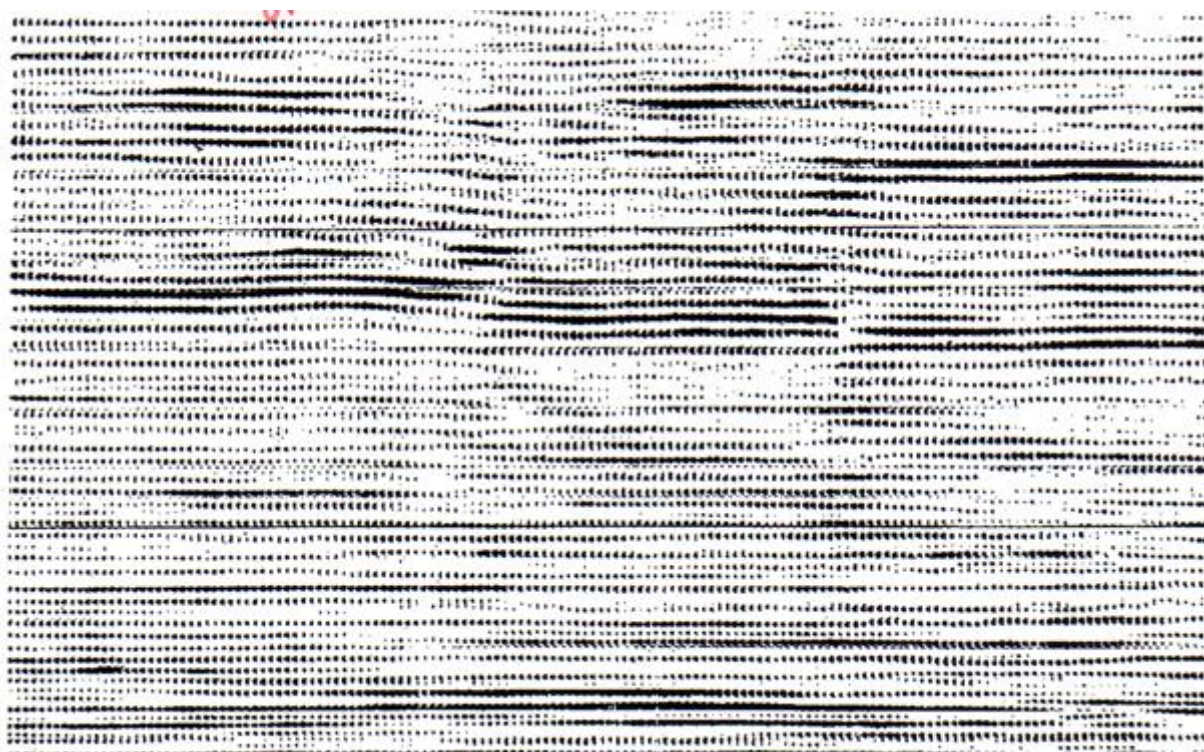


Рис. 7.11. По Ч. Пейтону(10). Тот же временной разрез после миграции.

Какое волновое явление сформировало флексуру (Рис. 7.10) на месте тектонической ступени?

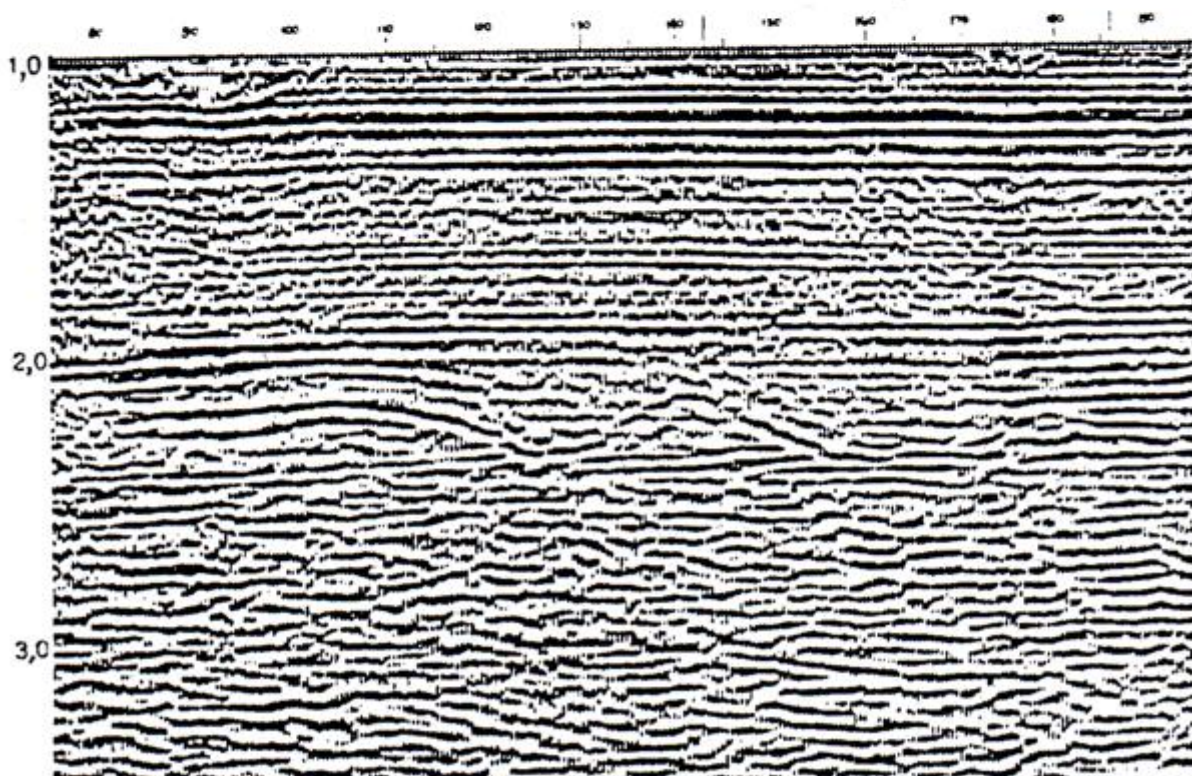
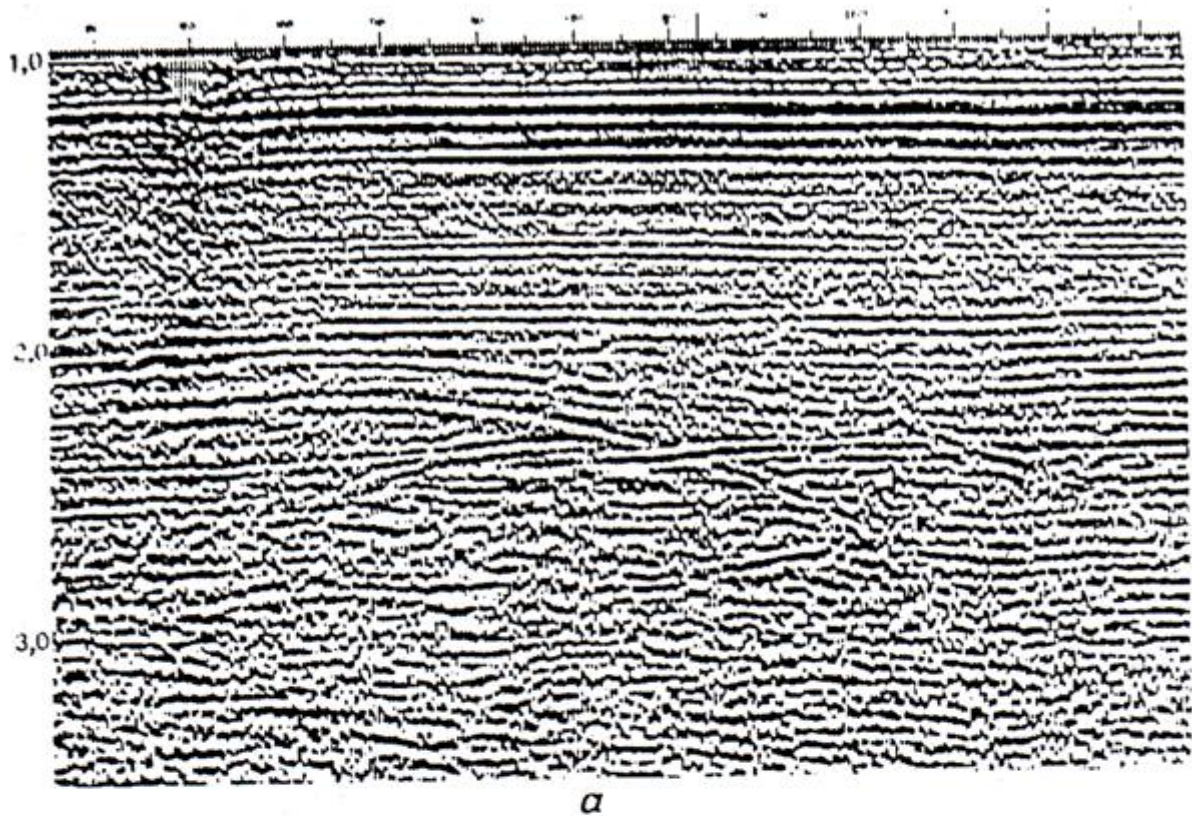


Рис. 7.12. По [Ч. Пейтону \(10\)](#). Результат применения миграции.

Какой из разрезов мигрирован? Найдите истинное положение границ, сформировавших заход. Найдите положение правого склона останца соляного пласта треугольной формы на не мигрированном разрезе.

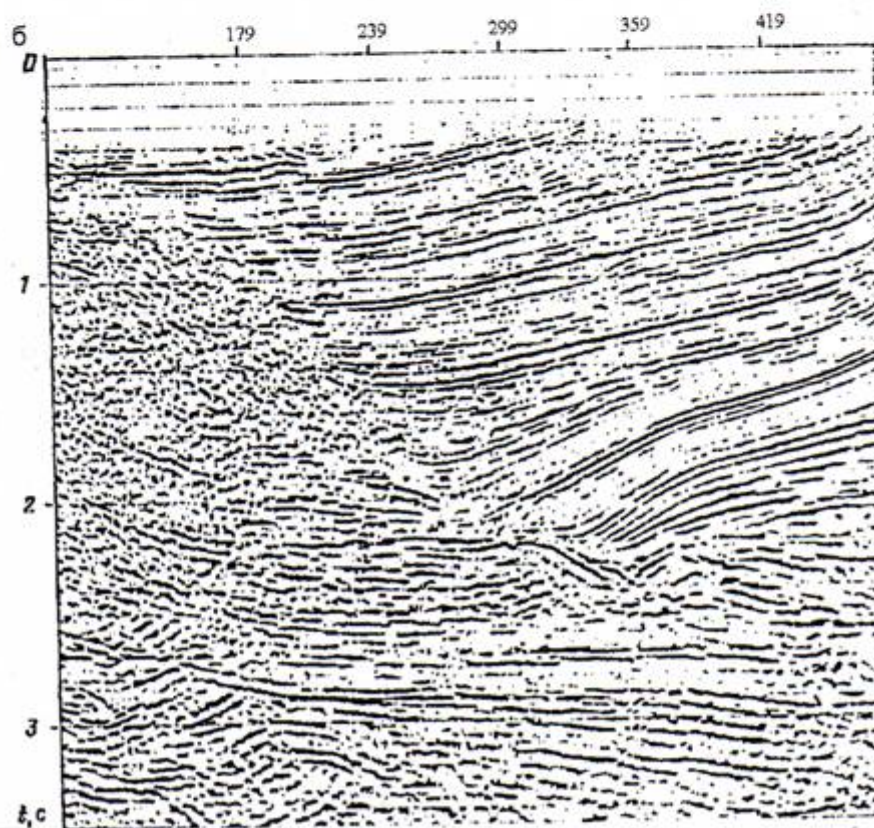
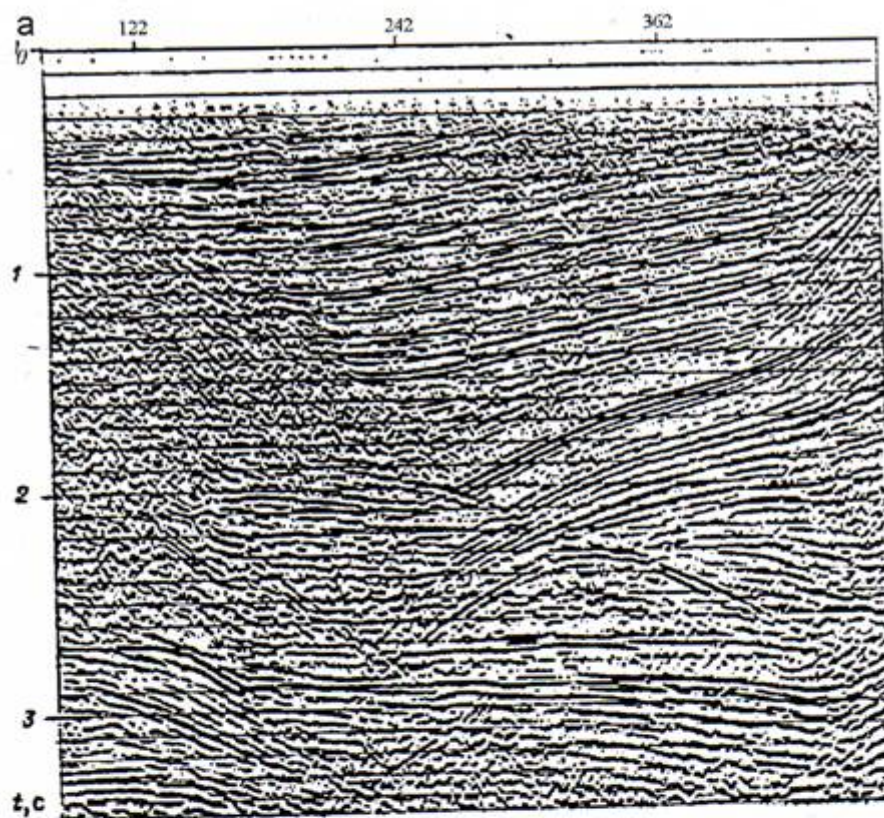


Рис. 7.13 . По [А. Потапову \(11\)](#). Результаты миграции.

Какой из разрезов мигрирован? Найдите три типа искажений, исправленных миграцией.

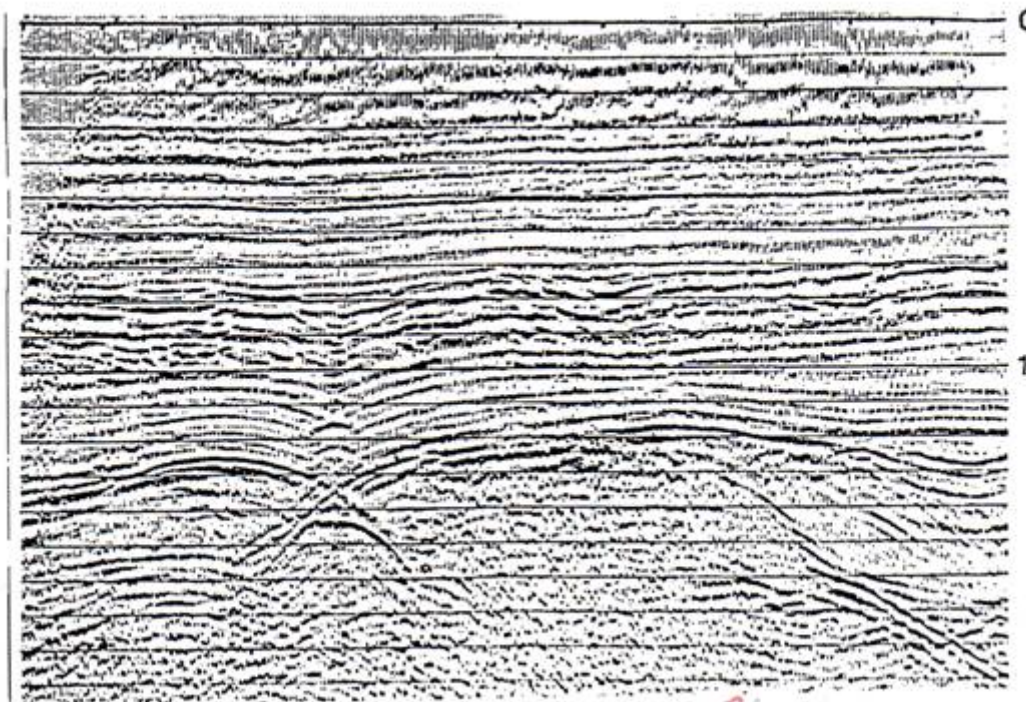


Рис. 7.14. Временной разрез.

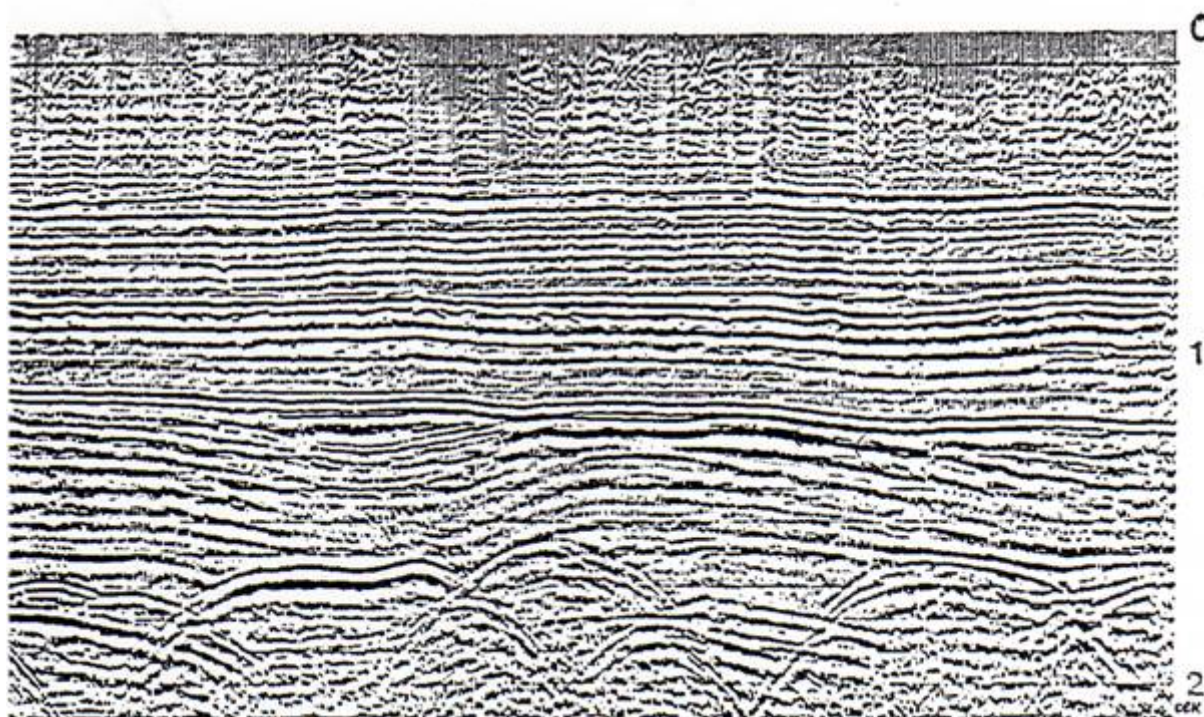


Рис. 7.15. По [П. Кири \(8\)](#).

Какой из этих разрезов мигрирован?

Опишите искажения и гинезис искаженных элементов разреза.

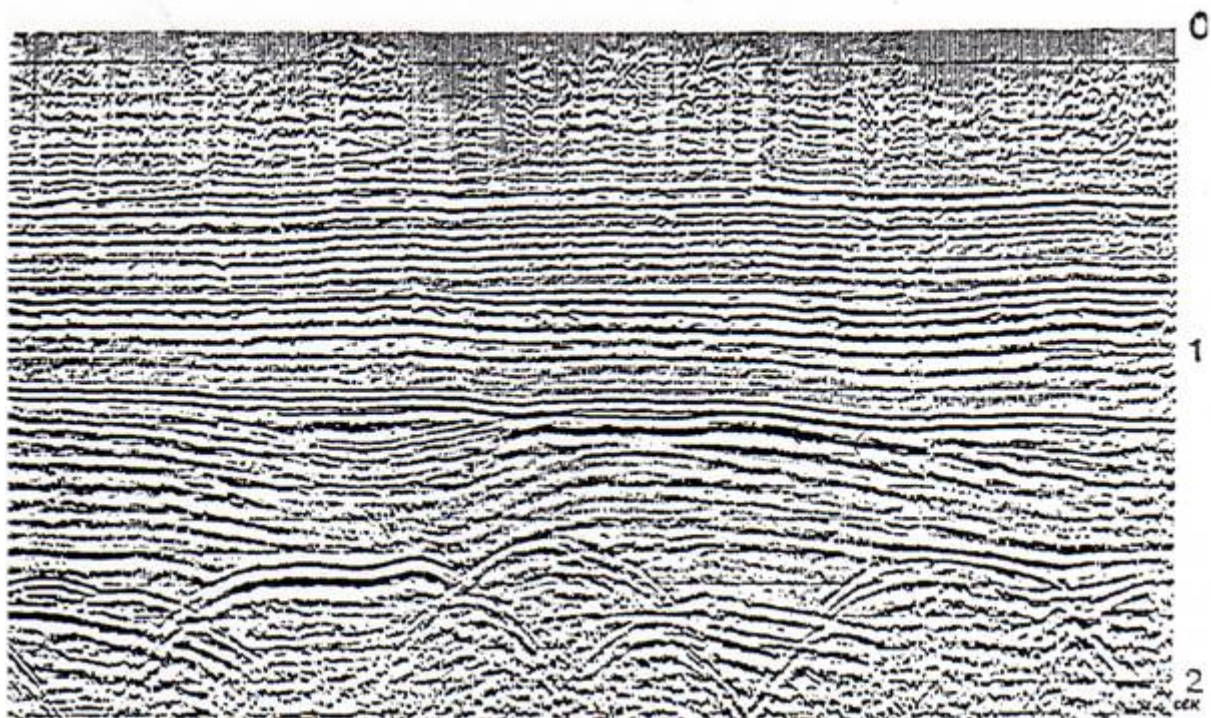


Рис. 7.16. Временной разрез.

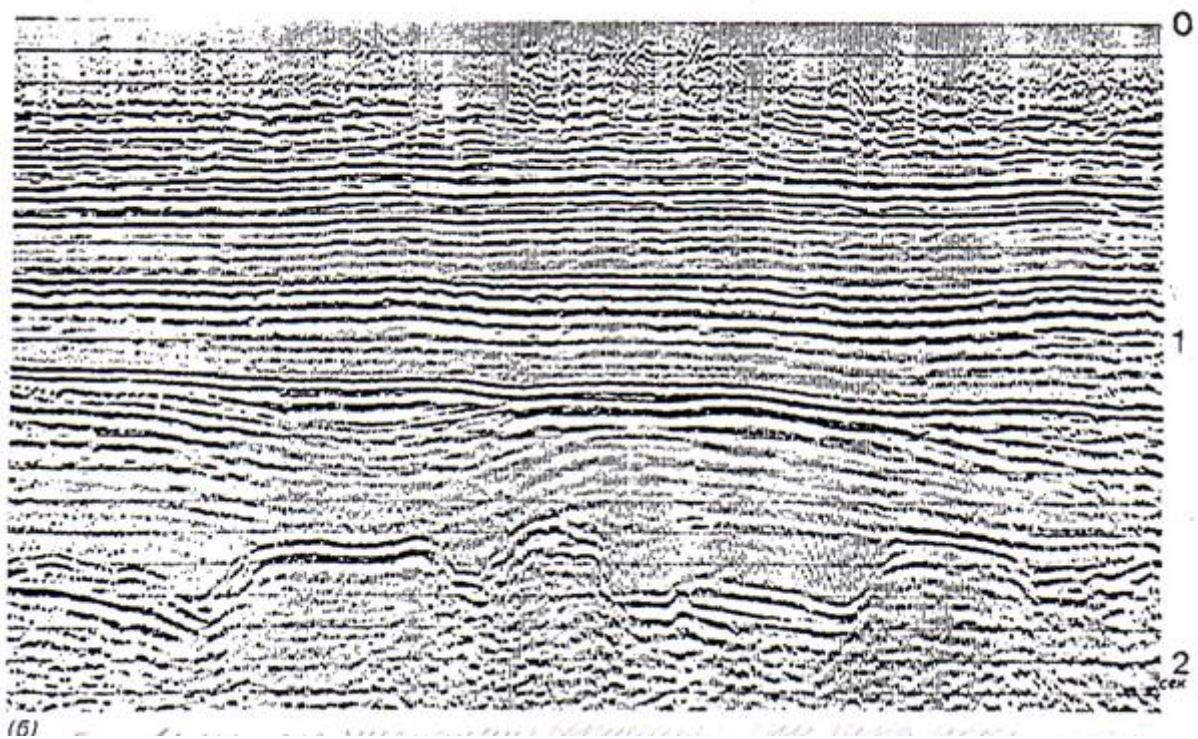


Рис. 7.17. По [П. Кири \(8\)](#).

Какой из этих разрезов мигрирован? Найдите и опишите три типа искажений исправленных миграцией.

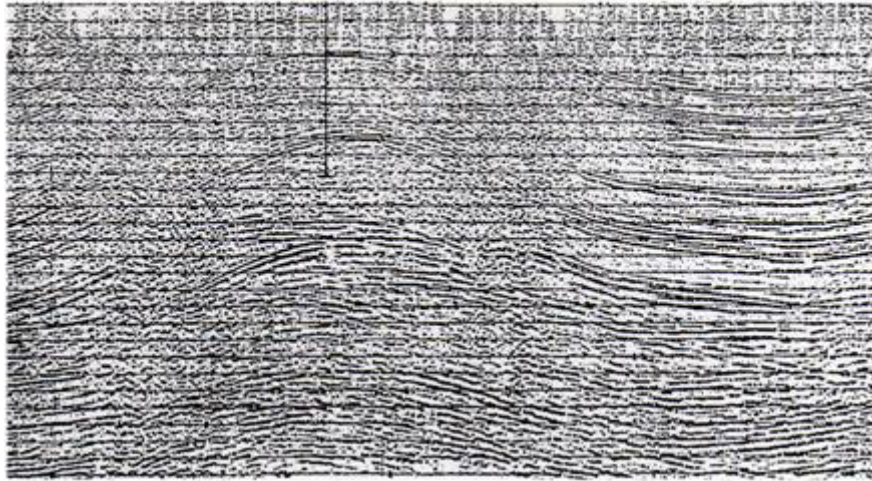


Рис. 7.18. Временной разрез

Какая структура разбурена скважиной?
Почему ограничена глубина бурения?

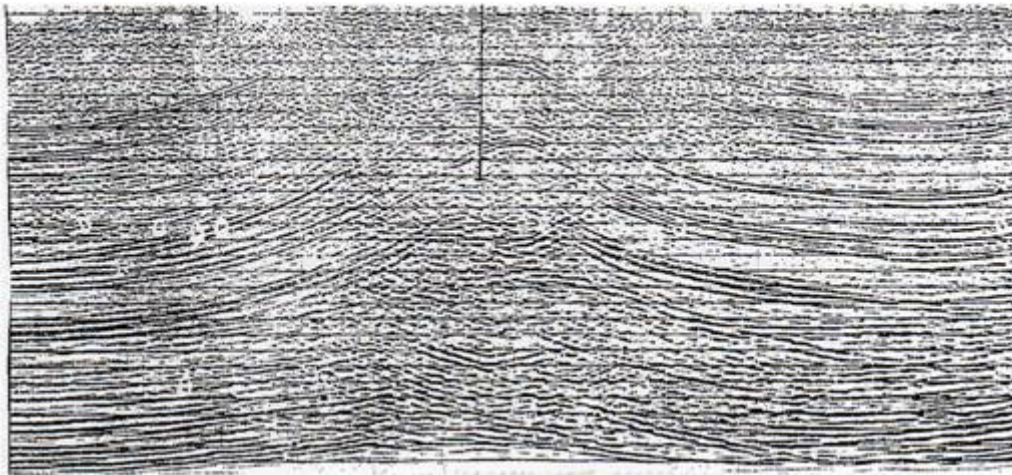


Рис. 7.19. Какой из этих двух разрезов мигрирован?

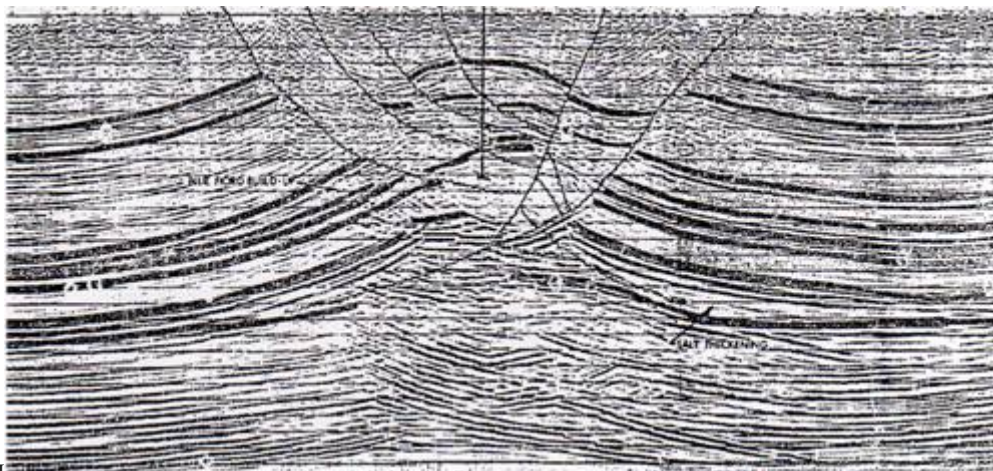


Рис. 7.20. По [A. W. Bally \(17\)](#). Интерпретированный временной разрез.

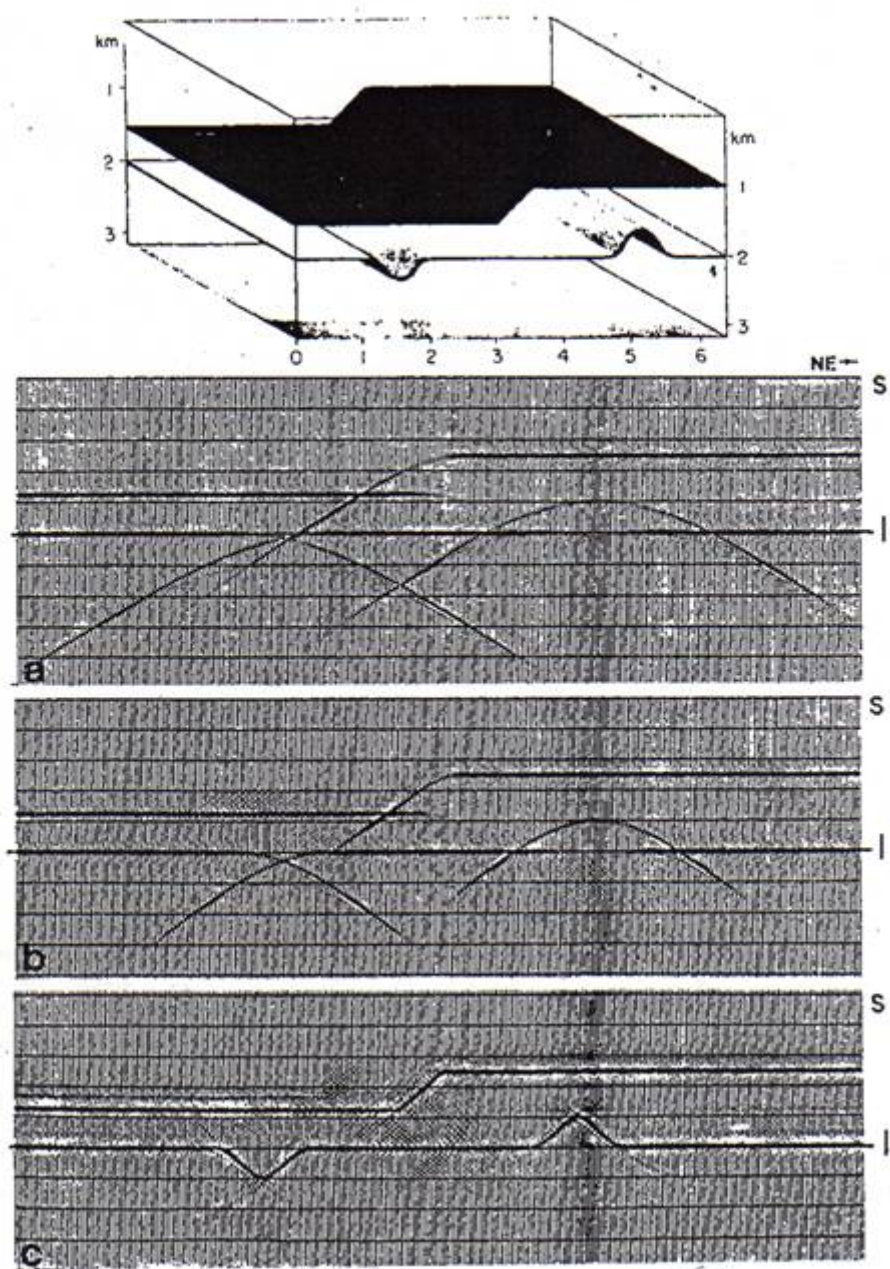


Рис. 7. 21. На верху трехмерная модель разреза. а – Двухмерный временной разрез до миграции. в и с – Тот же разрез после миграции.

При каких наблюдениях получены такие результаты миграции?

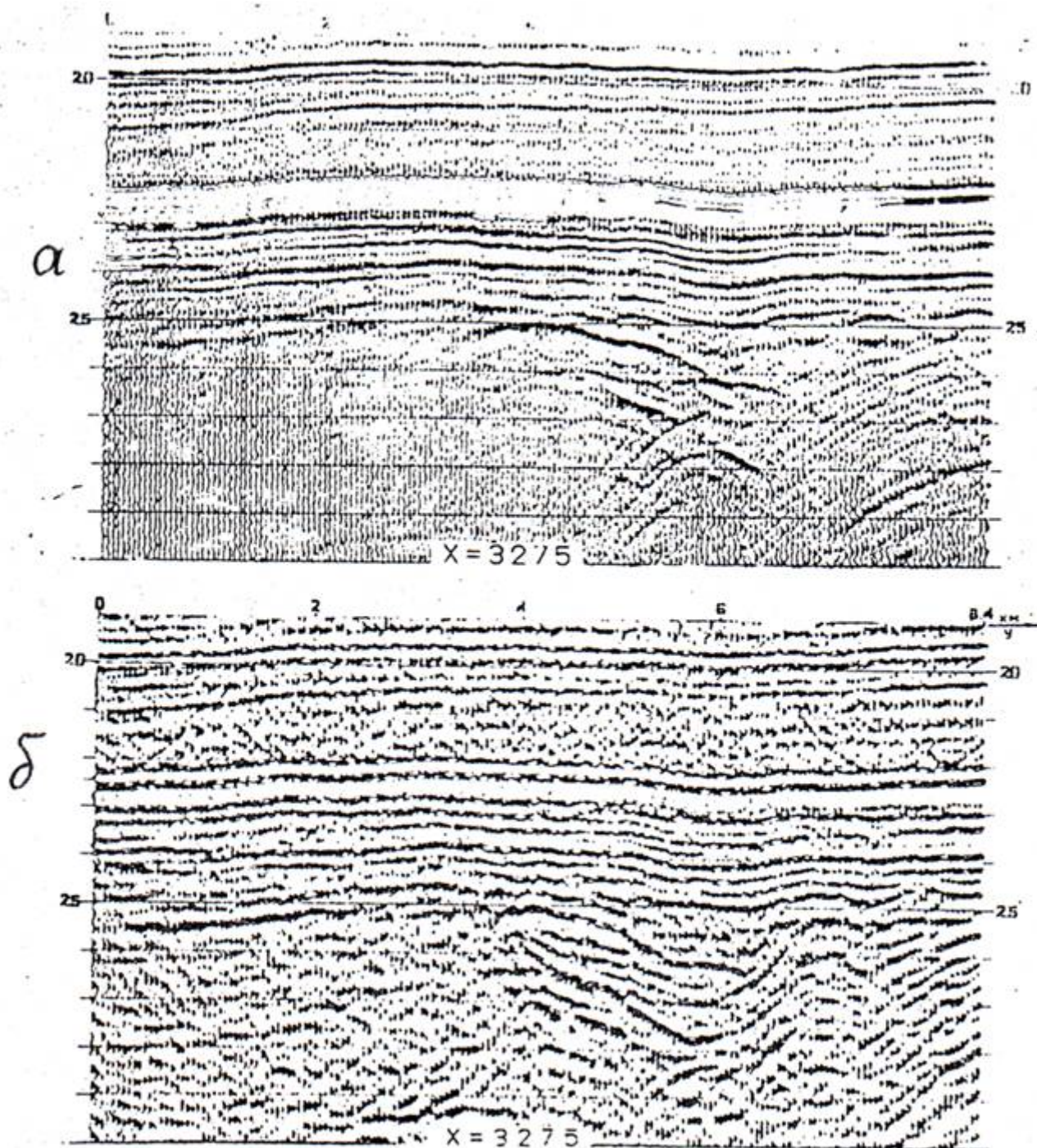


Рис. 7.22. По [Алексину А.Г.\(1\)](#). Результаты миграции временного разреза.

При каких наблюдениях они получены ?

Разрез, включающий в себя смятую в складки пачку пластов, представлен на Рис. 7.13,а. Здесь видны криволинейные границы с «[заходами](#)» и граница, по форме напоминающая годограф дифрагированных волн. Действительно, на мигрированном разрезе (Рис. 7.13,б) одна криволинейная граница исчезла, свернулась в изображения дифрагирующего объекта. Найдите ее. Обратите внимание на то, что выпуклые части криволинейных границ стали уже, а вогнутые – шире. Здесь это не так сильно выражено, т.к. выпуклые и вогнутые части границ сравнительно пологие.

В результате [миграции](#) исчезли «заходы». Найдите участки разреза, где это произошло.

На Рис. 7.14 представлен немигрированный разрез. В его левой части четко видна серия петель, ширина которых увеличивается с ростом глубины их расположения.

В правой части разреза на времени около 1,8 сек видны пересечения границ – «заходы». Тот же разрез после миграции (Рис. 7.15) лишен петель и «заходов». Синклинальная складка, на которой образовались петли, выполаживается здесь снизу вверх (структура облекания с выполаживанием) и поэтому на немигрированном разрезе (Рис. 7.14) ширина петли так резко увеличивалась с ростом глубины.

Несколько петель и годографов дифрагированных волн, а также «заход» наблюдаются в нижней части немигрированного разреза на Рис. 7.16. Мигрированный разрез (Рис. 7.17) свободен от этих искажений.

На немигрированном разрезе (Рис. 7.18) видна осложненная разрывной тектоникой широкая антиклиналь с несколькими границами на крыльях и перерывами и смещениями этих границ при приближении их к замку складки. Вблизи замка складки видим три границы, причем кажется, что самая глубокая из них имеет наиболее пологую и широкую форму.

После выполнения миграции (Рис. 7.19) две верхние границы вблизи замка стали гораздо уже и круче. Нижняя из трех границ в этой области исчезла. Кажущаяся присводовая часть этой границы на немигрированном разрезе была на самом деле годографом дифрагированной волны. Дифракция происходила на контрастной низкоскоростной зоне интенсивного дробления, образовавшегося на месте сближения и пересечения нескольких разрывных нарушений (Рис. 7.20).

В результате миграции разрез освободился от искажений, связанных с [сейсмическим сносом](#). Годографы дифрагированных волн свернулись в изображения дифрагирующих элементов разреза.

На Рис. 7.21 представлена модель структуры, над которой выполнены профильные и площадные сейсмические наблюдения. На Рис. 7.21,а видны «заход» и годографы дифрагированных волн. На Рис. 7.21,б «заход» и годографы дифрагированных волн после 2D миграции стали уже, но не исчезли совсем, т.к. наблюдения были выполнены вдоль профиля, проходящего не перпендикулярно к простиранию структуры.

На рисунке 7.21,б после выполнения миграции «заход» и годографы дифрагированных волн исчезли и полученный разрез стал похож на исходную модель. Такой результат можно получить, если профиль проходит вкрест простирания структуры, либо были выполнены площадные (3D) наблюдения.

На Рис. 7.22,а представлены результаты двухмерной, а на Рис. 7.22,б – результаты трехмерной (3D) миграции того же разреза. Какие искажения можно видеть на Рис. 7.22,а? Можно ли при наблюдении вдоль профиля (2D) получить после миграции результат как на Рис. 7.22,б?

На Рис. 7.23,а представлена криволинейная граница и ее немигрированное сейсмическое изображение с «[заходом](#)» и двумя петлями.

В результате миграции методом Кирхгора (т.е. с помощью [дифракционного преобразования](#)) искажения удалены, но криволинейная граница прослежена при углах падения ее частей положе 60° .

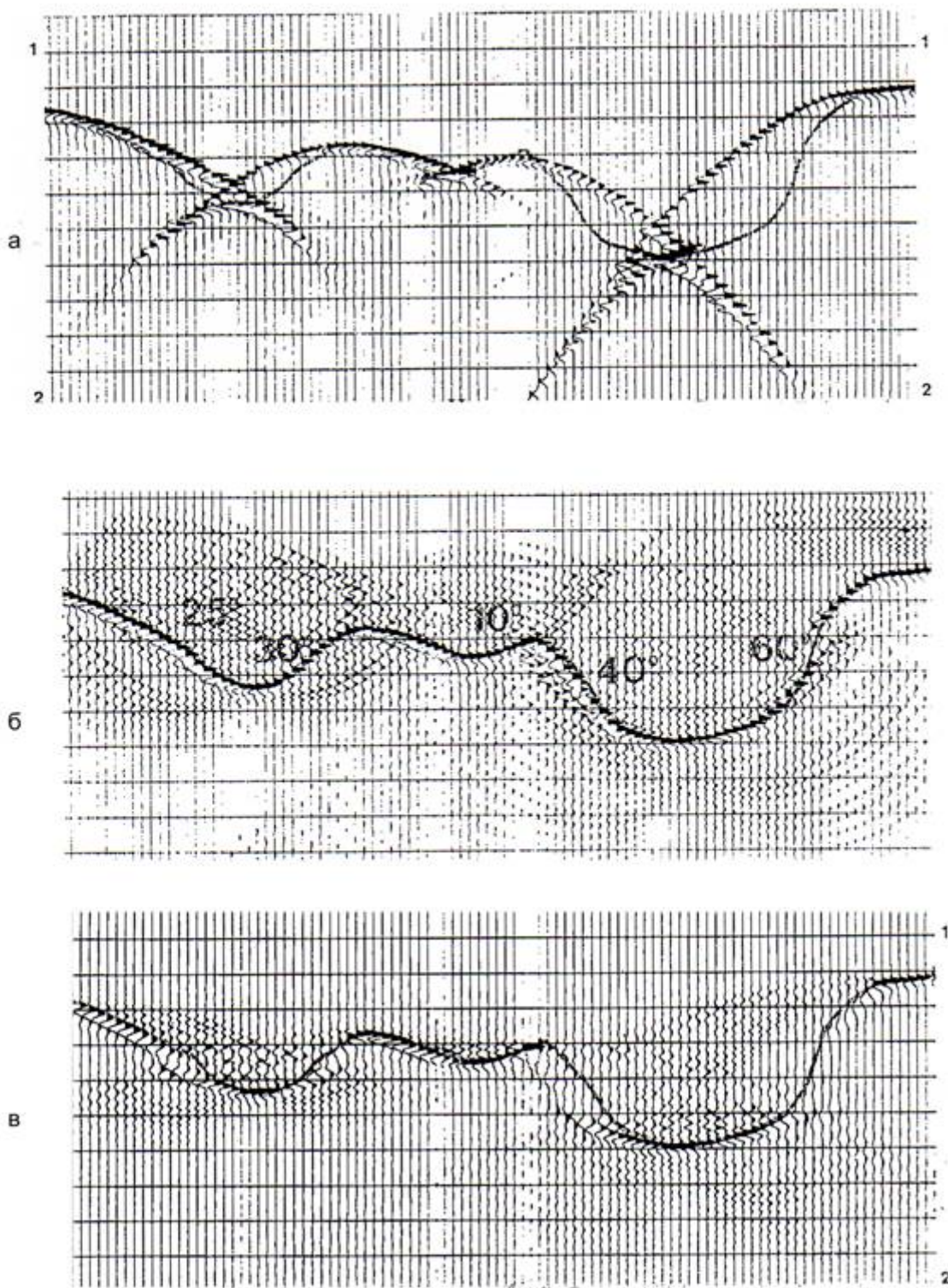


Рис. 7.23. а – Исходная модель и ее искажения. б – Результат дифракционного преобразования. в – Мигрированный разрез.

При каком максимальном наклоне фрагмента границы ее можно проследить после дифракционного преобразования и после [миграции](#) другими способами?

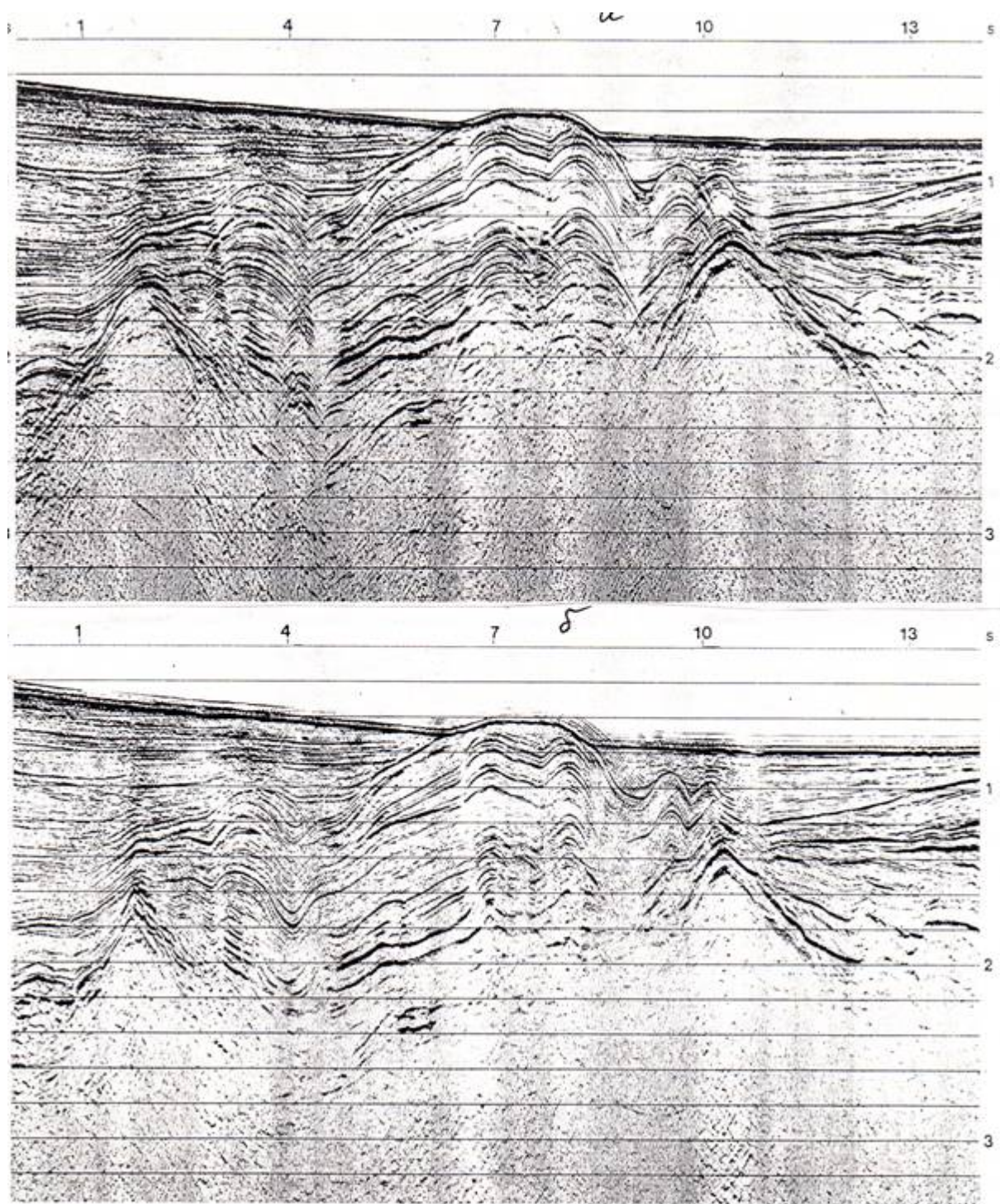


Рис. 7.24а и б

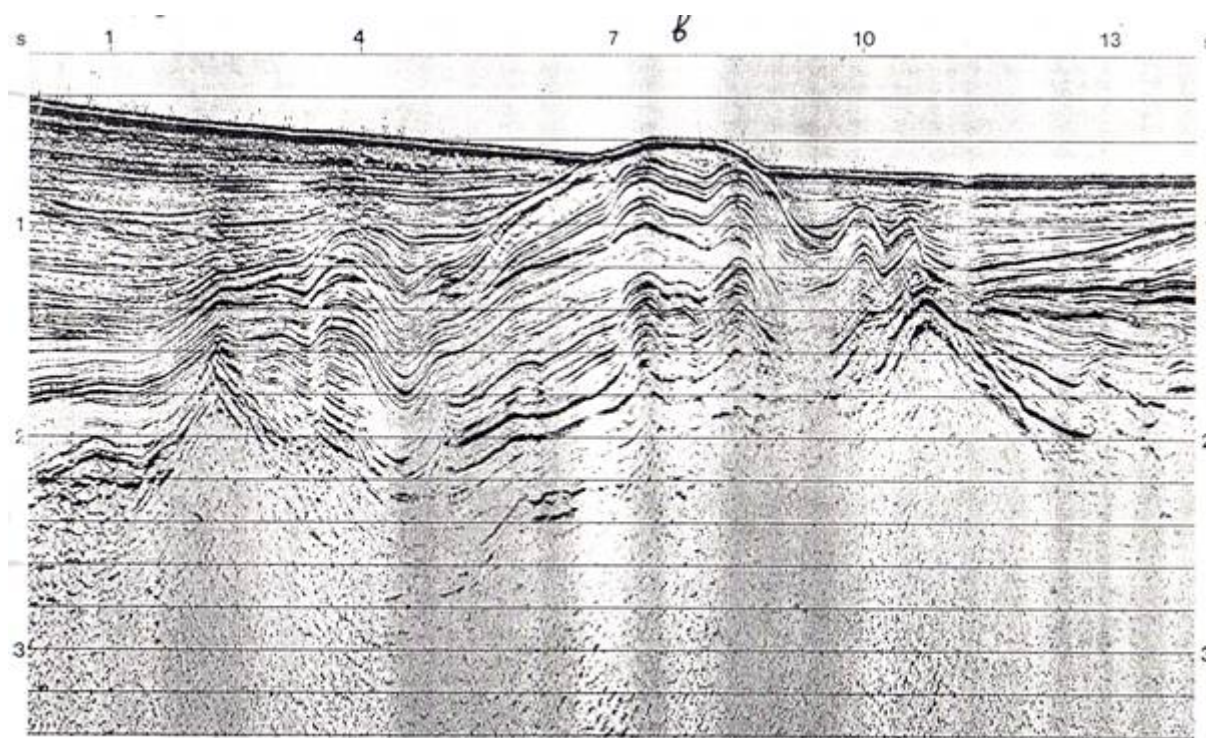


Рис. 7. 24 в.

Какой из этих трех разрезов Рис. 7. 24а, б, в немигрирован? Какой из них мигрирован методом дифракционного преобразования? Как это можно определить?

На Рис. 7.23, б после миграции другим методом граница построена только для тех частей, которые наклонены не круче чем на 15° .

На Рис. 7.24, а представлен немигрированный разрез отличающийся сложной, сильной тектонической деформацией. Видны многочисленные «заходы», петли, искажения форм складок.

На Рис. 7.24, б после миграции методом Кирхго-преобразования искажения исчезли, но серия субширотных границ прослеживается плохо.

На Рис. 7.24, в после миграции другим методом искажения также удалены. Серия субгоризонтальных границ в левой части разреза хорошо прослеживается.

Практическое занятие №8 ПЛОЩАДНЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ.

Если выполнить наблюдения 2D вдоль профиля, то по этим данным можно построить вертикальный разрез через эту линию. Чаще всего таких сейсмических наблюдений на системе профилей оказывается достаточно для изучения района с пологим залеганием границ, широкими пологими складками, с не очень напряженной тектоникой. Однако в случае, если необходимо детально изучить геологические границы со сложной морфологией, либо обнаружить и изучить геологические объекты сложной формы (рифты, атоллы, песчаные бары, тектонические блоки), содержащие возможные ловушки УВ небольшой (менее 1 кв. км) площади, таких профильных наблюдений оказывается недостаточно. Сильное сгущение сети профилей резко повышает стоимость работ.

Кроме того, территория может быть занята лесом, сельхозугодиями, на ней могут быть болота, овраги, скальные участки, озера, реки, населенные пункты, промышленные объекты, дороги с интенсивным движением и пр. Во всех этих случаях применяют специальные системы наблюдений, которые позволяют

избежать нежелательных участков и в то же время обеспечить необходимую детальность исследований вплоть до изучения объектов в объеме, в 3-х мерном пространстве. Этого можно достичь, т.к. вблизи общей средней точки (см. [МОГТ](#)) может не быть источников и приемников.

Одна из таких систем наблюдений – криволинейный профиль, по форме напоминающий «слаломную трассу». Такая форма профиля позволяет использовать лесную или горную дорогу, либо обойти болота, озера, населенные пункты и пр. При этом обеспечивается возможность изучать разрез в объеме в пределах полосы между касательными, проведенными с двух сторон к линии наблюдения. Однако, кратность прослеживания по МОГТ будет непостоянной в пределах этой полосы.

Значительного упрощения и удешевления площадных наблюдений удастся достичь, применяя профиль типа «сейсмической петли». Источники и приемники располагаются вдоль замкнутого прямоугольника (например, вдоль лесных просек) либо вдоль замкнутой линии любой удобной формы. Приращивая «петли» друг к другу, можно выполнить наблюдения на всей исследуемой территории. При этом срединные точки располагаются как на линиях наблюдений, так и равномерно на всей площади «петли», однако наибольшая кратность прослеживания достигается в центре петли и вдоль осей ее симметрии. Кратность прослеживания для квадратной «сейсмической петли» Вы вычислите, выполнив первое задание.

Большое распространение получила также система площадных наблюдений, состоящая из серии параллельных прямых профилей с пунктами приема и перпендикулярных им профилей с источниками. Такая система особенно удобна, если используются вибраторы. При этом достигается одинаковая кратность прослеживания на всей площади наблюдения.

При морских сейсмических наблюдениях за кораблем буксируются кабели с сейсмоприемниками и несколько источников: по одному на линиях кабеля и еще 2 по обе стороны от этих линий, со смещением, например, 100 м в ту и другую стороны. За каждого ход судна выполняются площадные наблюдения в пределах полосы, занятой кабелями. Двигаясь параллельными галсами, можно выполнить наблюдения на необходимой площади. Кратность прослеживания при таких наблюдениях везде будет одинаковая, в чем Вы сможете убедиться, выполняя второе задание.

Задание 1

Найдите положение точек отражений как середины между каждым источником и каждым приемником для схемы «сейсмической петли» квадратной формы. Обратите внимание на то, что для «сейсмической петли» прямоугольной формы все средние точки расположились только в вершинах квадратов со стороной равной половине расстояния между соседними приемниками на профиле. Отмечая срединные точки, слегка смещайте их относительно вершин квадратов, чтобы они не слились друг с другом, и их количество можно было посчитать. Отметьте цифрой число срединных точек, попавших в каждую из вершин квадратов. Посчитайте, во сколько раз меняется кратность прослеживания на площади «петли» и обратите внимание, где эта кратность наибольшая, а где наименьшая. Подумайте, как можно сделать кратность отражений более однородной.

Задание 2

Найдите положения срединных точек (точек отражений) для средин между каждым из источников и каждым из приемников, расположенных на параллельных профилях. Посчитайте кратности отражений на всех этих точках. Что определяет эту кратность? Одинакова ли она при такой системе наблюдений? При каких поверхностных (географических) условиях удобнее всего применять такую систему наблюдений?

По данным площадных наблюдений можно построить серию параллельных прямолинейных разрезов, каждый из которых проходит через точки наблюдений вдоль этого разреза. Строят такие серии параллельных разрезов в направлении, перпендикулярном разрезам первой серии, либо в любом нужном направлении через точки отражений.

Кроме того, строят горизонтальные срезы сейсмических данных. Эти срезы можно строить для любого постоянного времени (для каждого среза свое). С помощью таких срезов детально изучают в пространстве наиболее интересные геологические тела, включая ловушки углеводородов или кровли и подошвы продуктивных слоев. На Рис. 8.1 б видно, что залежь УВ отразилась на временном разрезе в виде «светлого пятна». Часть коллектора, заполненная не водой, а УВ, имеет иные упругие свойства.

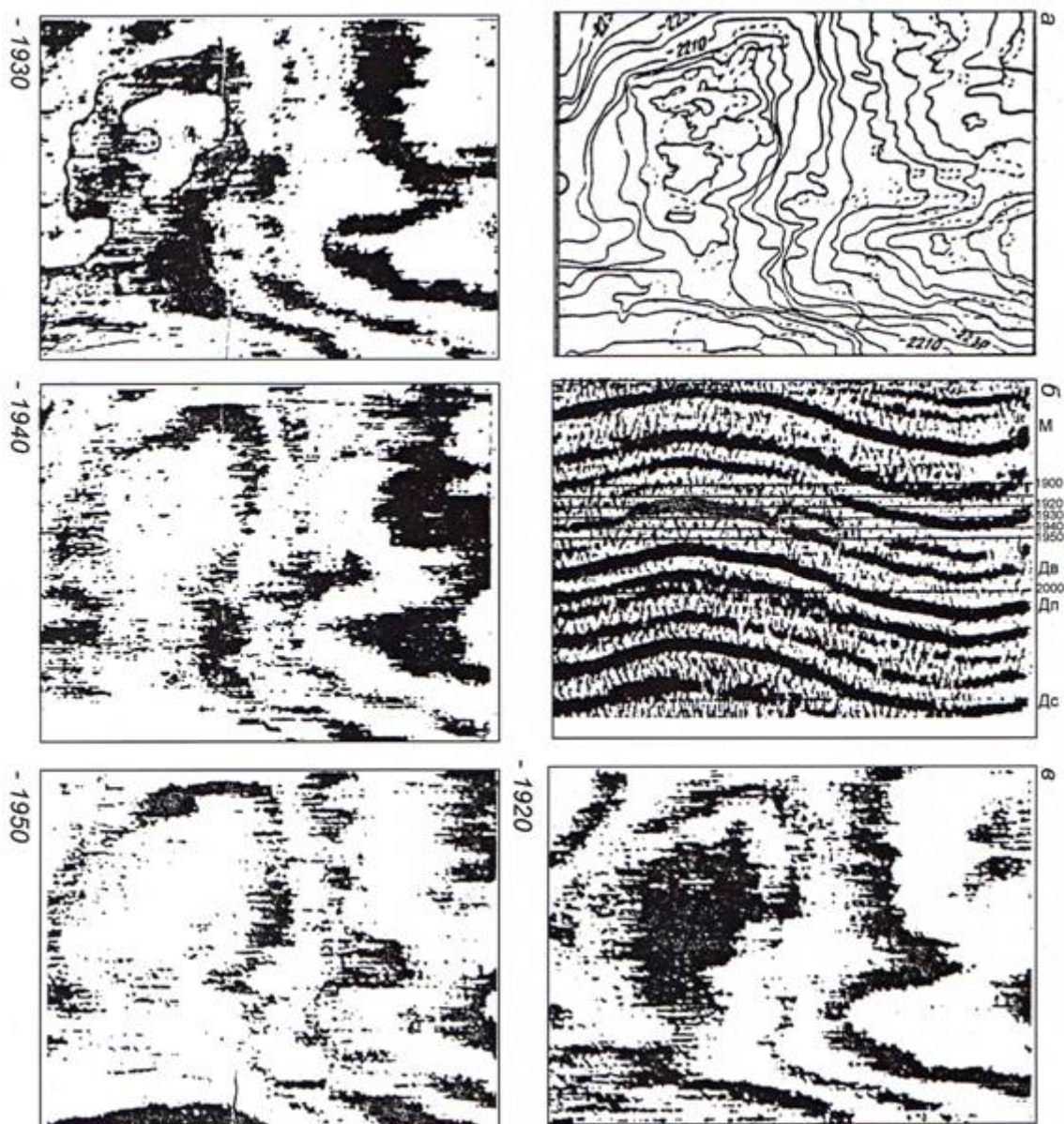


Рис. 8.1. Структурная карта по кровле продуктивного пласта (а), временной разрез (б) и горизонтальные срезы волнового поля (в) для времен -1920, -1930, -1940, -1950 мсек. По [Жданович В.В.\(7\)](#).

Поэтому в пределах залежи увеличился перепад акустической жесткости на кровле коллектора. Соответственно увеличились коэффициент отражения и амплитуда ОВ, образуя «светлое пятно». Найдите его.

Выбирая время, для которого строят горизонтальный срез, можно найти такое, на котором контур «светлого пятна» будет иметь максимальную площадь. В этом случае он совпадет с контуром нефтеносности и будет по уровню близок к водо-нефтяному контакту. Такой контур виден на Рис. 8.1, б срез для $t=1.930$ сек. Обнаружить такой контур – значит без ошибок, без потерь больших средств, пробурить эксплуатационные скважины. На Рис. 8.1,а построена кровля продуктивного пласта.

Серии вертикальных разрезов и горизонтальных срезов позволяют построить геологические объекты, включая залежи, в 3-х мерном пространстве (Рис. 8.2). С помощью этих данных оценивают форму залежей, а иногда даже и мозаичное распределение фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, если с ними связаны упругие параметры (акустическая жесткость, затухание упругих колебаний). Для этой цели выполняются специальные сейсмические исследования высокой разрешенности.

Вопросы:

1. Для какой цели выполняют площадные наблюдения? В чем их преимущества перед профильными наблюдениями?
2. Каковы преимущества и недостатки «сейсмической петли» и серии параллельных профилей?
3. Как можно построить объемное изображение геологического объекта?
4. Что такое горизонтальный срез волнового поля и какие геологические задачи он позволяет решать?

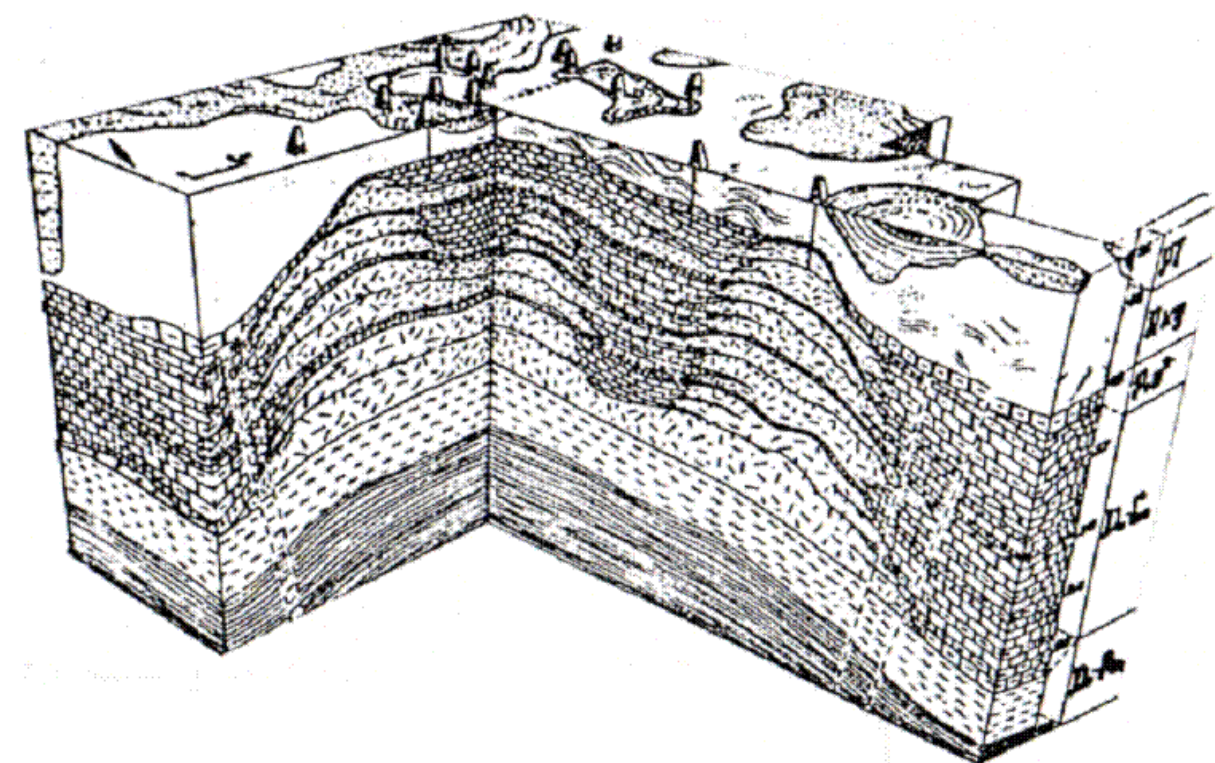


Рис. 8. 2. По Жданович В.В.(7).

Куб, составленный из нескольких разрезов по каким соображениям выбраны эти разрезы.

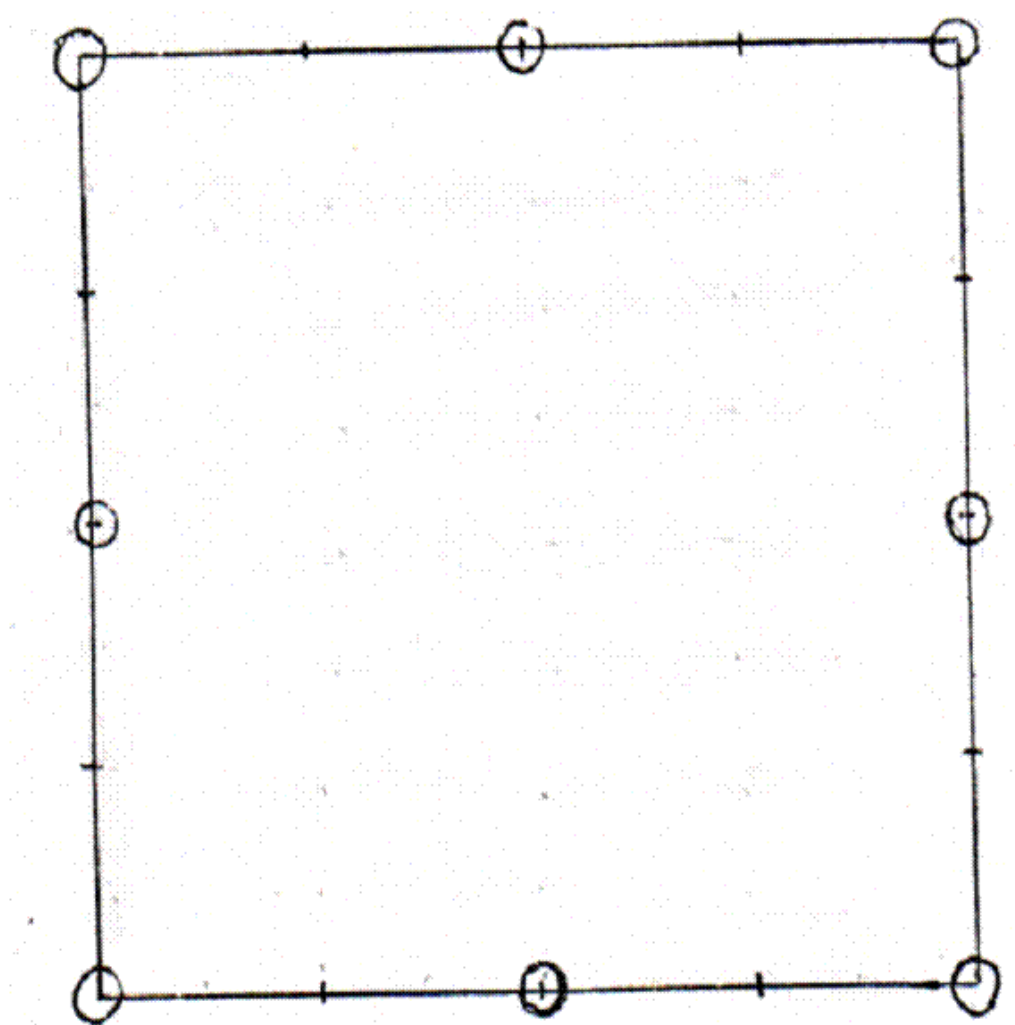


Рис 8.3. Задание 1 Условное обозначение смотри на рисунке 8.4

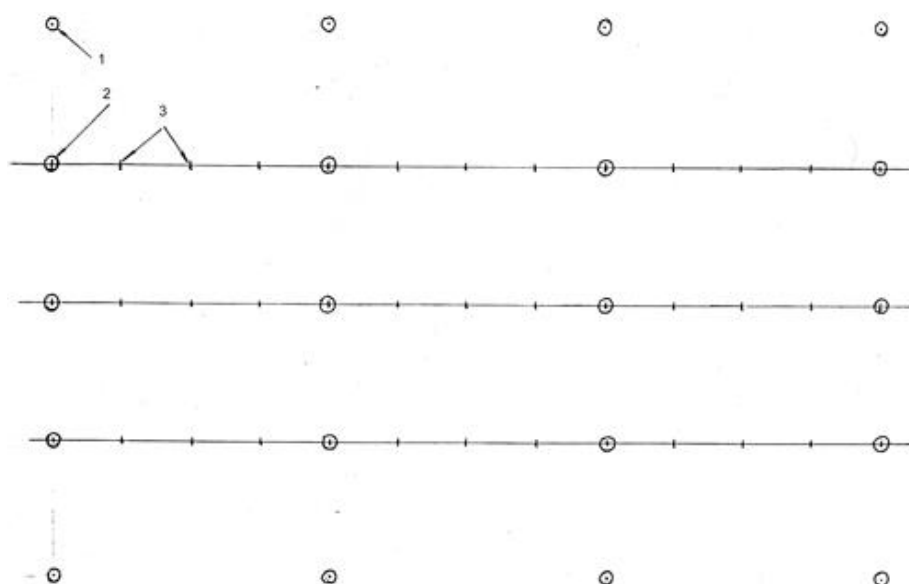


Рис. 8.4. Задание 2. 1 - источник, 2 - источник и приемник в одной точке, 3 - приемники.

Практическое занятие №9

АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ МГНОВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Процесс распространения упругих колебаний сопровождается многократным превращением потенциальной энергии сжатия-растяжения для продольной волны (или сдвига для поперечной волны) в кинетическую энергию движения частиц среды, и обратно.

Сейсмоприемники регистрируют колебания, связанные с изменением величины кинетической энергии движения частиц:

$$g(t) = R(t) \cos \theta(t)$$

где $R(t)$ – огибающая сейсмического сигнала, или его амплитуда, а $\theta(t)$ – его фаза. Сигнал, зарегистрированный приемником, можно преобразовать в функцию, описывающую изменение потенциальной энергии, для чего изменить его фазу на 90° :

$$h(t) = R(t) \sin \theta(t)$$

Функции $g(t)$ и $h(t)$ представляют собой соответственно действительную и мнимую части функции, описывающей процесс распространения упругой волны:

$$G(t) = g(t) + i h(t).$$

Решая систему уравнений:

$$g(t) = R(t) \cos \theta(t);$$

$$h(t) = R(t) \sin \theta(t);$$

можно получить $R(t) = [g^2(t) + h^2(t)]^{1/2}$ – эта функция называется мгновенной амплитудой; мгновенной фазой называется функция

$$\theta(t) = \arctan |h(t)/g(t)|$$

Производная от мгновенной фазы во времени $\partial \theta(t) / \partial t$ называется мгновенной частотой.

Особенности протекания процесса распространения упругой волны тесно связаны с особенностями среды ее распространения, т.е. с особенностями геологического строения. К таким особенностям относятся: литология, тектоническая нарушенность, пористость, форма границ, скорость, плотность, перепад этих параметров на границе и пр. Все эти особенности разреза в той или иной степени отражаются на временном разрезе. Некоторые из них особенно четко проявляются на разрезах мгновенных амплитуд, частот, либо мгновенных фаз или полярности. Рассмотрим использование мгновенных параметров для выявления тех или иных особенностей разреза.

Разрез мгновенных амплитуд

Мгновенная амплитуда – это огибающая двух совмещенных функций: действительной и мнимой частей функции, описывающей распространение упругой волны. Поэтому мгновенная амплитуда имеет максимумы и минимумы не в тех точках, что у каждой из этих двух составляющих, и, таким образом, она несет новую информацию о разрезе.

Многоцветное изображение разреза мгновенных амплитуд (так же, как и мгновенных фаз, частот) позволяет на 2-х мерной плоскости изобразить 3-х мерную зависимость: величины мгновенной амплитуды (которые изображаются цветом) от координат вдоль профиля (она обозначена номером трассы) и от времени (ось вдоль трассы).

Если изображение одного отражения на всей его длине не меняет своей амплитуды (т.е. цвета), то это означает, что свойства отражающей границы не меняются: сохраняется ее гладкость и перепад акустической жесткости на ней. В этом случае оба пласта, разделенные этой границей, не имеют неоднородностей. Если отражение имеет большую амплитуду, то такую границу выбирают в качестве опорной. От нее отсчитывают расстояние до других границ, и таким образом судят об изменении толщины отдельных пластов; обнаруживают места их выклинивания и пр.

Если на некоторых участках границы изменилась мгновенная амплитуда, то это означает, что хотя бы в одном из контактирующих пластов имеется неоднородность. Сравнивая, как эта неоднородность проявляется в разрезах различных мгновенных параметров, можно более однозначно судить о ее геологической природе.

В случае когда участки пониженной мгновенной амплитуды, отмеченные на многих границах, выстраиваются на разрезе в линии, особенно если эти линии искривляются и ветвятся, то это связано с разрывными нарушениями. Породы в зоне дробления обладают пониженными скоростями, повышенным затуханием колебаний в них, а границы – повышенной шероховатостью. Все это уменьшает амплитуду отражения от участков границ, пересекаемых нарушением.

Отдельные участки с повышенной или пониженной мгновенной амплитудой могут быть связаны со сменой литологии, пористости, с зонами эрозии границ, либо со сменой флюида, насыщающего пласт-коллектор. Последняя причина представляет особенно большой интерес, т.к. эти аномалии, именуемые «светлыми» и «темными» пятнами, помогают обнаружить залежи УВ.

Иногда в разрезе встречаются границы с резкими изменениями амплитуды на ней. Если такие изменения часто следуют друг за другом, то границу вовсе не удастся обнаружить на разрезе мгновенных амплитуд. Такие границы чаще всего представляют собой поверхности несогласия. Резкие скачки амплитуд на них связаны с выклиниваниями пластов, в результате чего на границе наблюдаются частые и резкие смены литологии контактирующих на ней пород. Поэтому здесь меняется перепад акустической жесткости, коэффициента отражения и, следовательно, амплитуды отражения (Рис. 9.1 А). Такую границу лучше всего прослеживать на разрезе мгновенных фаз.

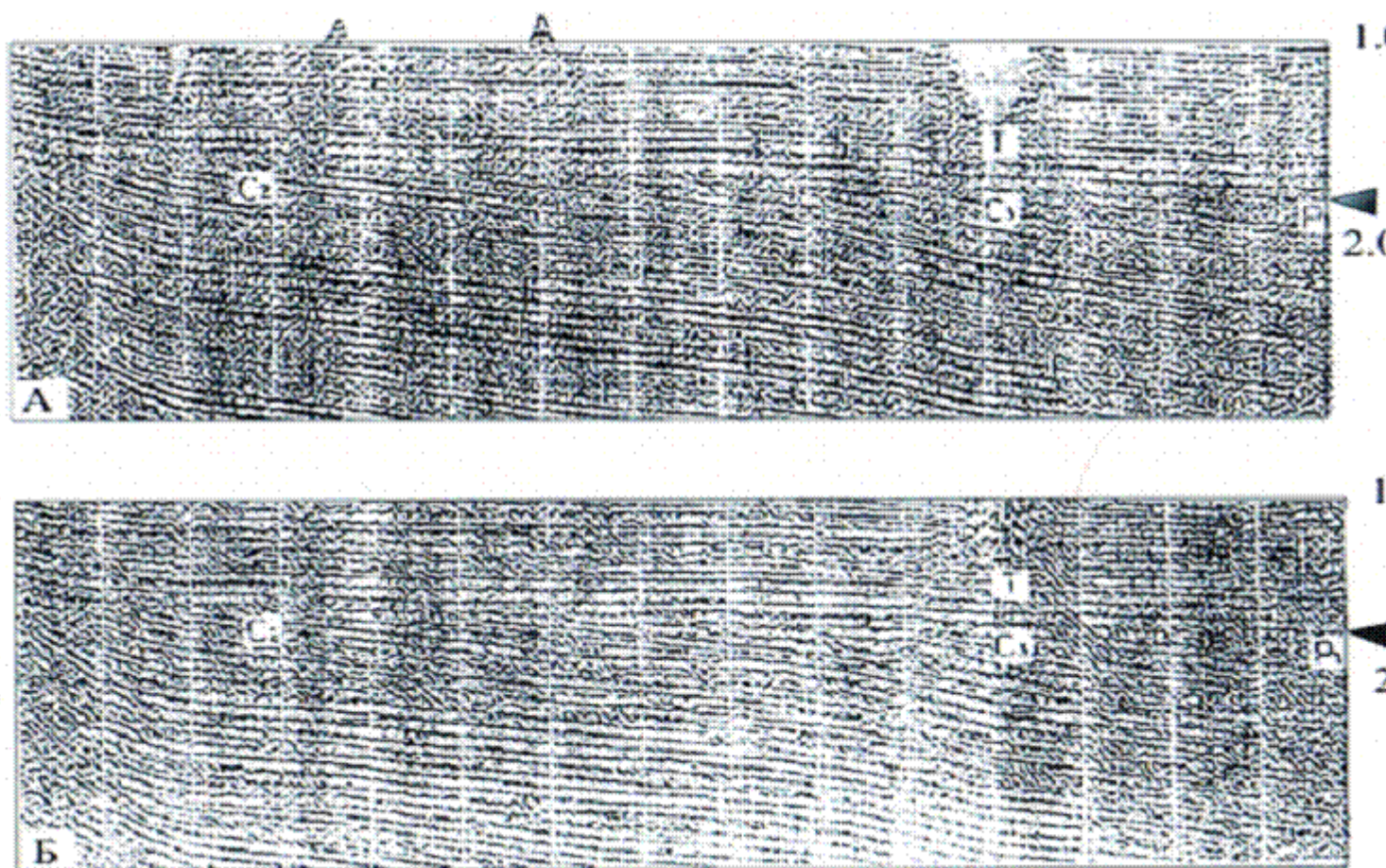


Рис. 9.1 А – временной разрез. Б- разрез мгновенной фазы.

Разрез мгновенных фаз.

Мгновенная фаза $\theta(t) = \arctg \frac{h(t)}{g(t)}$ не зависит от мгновенной амплитуды. Поэтому разрез мгновенных фаз содержит качественно новую информацию о разрезе, слабо выраженную или вовсе отсутствующую на разрезе мгновенных амплитуд. Так, например, если резкие и частые скачки амплитуд отражения от поверхности несогласия препятствуют ее прослеживанию на разрезе мгновенных амплитуд, то фаза этого отражения остается постоянной. На разрезе мгновенных фаз эта поверхность несогласия

уверенно прослеживается (Рис. 9.1-Б) . Иногда это бывает очень важно, т.к. один из пластов, выклинивающийся на поверхности несогласия, может оказаться коллектором с залежью вблизи выклинивания. Если вместо поверхности выклинивания будет прослежена кровля перекрывающего ее пласта, то поисковая скважина не пройдет через залежь.

На разрезе мгновенных фаз улучшается также прослеживание границ выклинивающегося пласта, а также границ пластов с различными неоднородностями, меняющими акустическую жесткость границы, либо границ с меняющейся шероховатостью. Самые мелкие детали разницы лучше всего следятся на разрезе мгновенных фаз.

Следует отметить, что на разрезе мгновенных фаз невозможно отличить друг от друга фазы $+180^\circ$ и -180° . Для того, чтобы различить эти фазы, пользуются резервом полярности.

Разрез полярности.

Разрез полярности отражений определяется в точках, где мгновенная амплитуда достигает максимума или минимума (экстремального значения). Для изображения полярности пользуются двумя цветами, густота которых зависит от величины максимума или минимума.

Полярность отражений зависит от того, увеличивается или уменьшается акустическая жесткость пород при переходе через отраженную границу. Смена полярности отражения границ может быть вызвана сменой литологии, плотности пород, их пористости, а также сменой флюида, насыщающего коллектор.

Наибольшее изменение акустической жесткости может произойти в случае, если в пласте-коллекторе находится газовая залежь, т.к. в этом случае сильнее всего уменьшается как скорость, так и плотность породы, и полярность станет отрицательной.

Разрез мгновенных частот

Мгновенная частота – это производная мгновенной фазы по времени $\partial \theta(t) / \partial t$. Она характеризует точку и может меняться очень резко. Поэтому на разрезе мгновенных частот можно обнаружить непротяженные объекты, например тектонические зоны, зоны выклинивая, зоны повышенной шероховатости, линзы песчаников, органогенные постройки.

Вычисление мгновенной частоты отчасти подобно спектральному анализу. Поэтому на разрезе мгновенных частот лучше всего выделяются объекты, избирательно поглощающие некоторые частоты спектра импульса упругой волны. Чаще всего избирательно затухают высокие частоты, особенно сильно на участках коллектора, заполненных УВ. По этой причине подчеркиваются также: выклинивание пласта, водо-нефтяной контакт (ВНК), газо-нефтяной контакт (ГНК).

Задание:

Познакомьтесь с использованием разрезов мгновенных параметров для изучения особенностей строения разреза и поисков ловушек и залежей УВ на примерах серий разрезов мгновенных параметров.

Задание 1. Рассмотрите разрезы по сейсмическому профилю у берегов Луизианы (по [Ч. Пейтон, \(10\)](#), стр.533-552).

На Рис. 9.2. показаны цветовые шкалы для всех мгновенных параметров. На разрезе мгновенных амплитуд (Рис. 9.3) наибольшая амплитуда отражения зарегистрирована от кровли газо-насыщенного пласта, при пересечении которого имеется максимальный переход акустической жесткости. При пересечении подошвы того же пласта акустическая жесткость понижается.

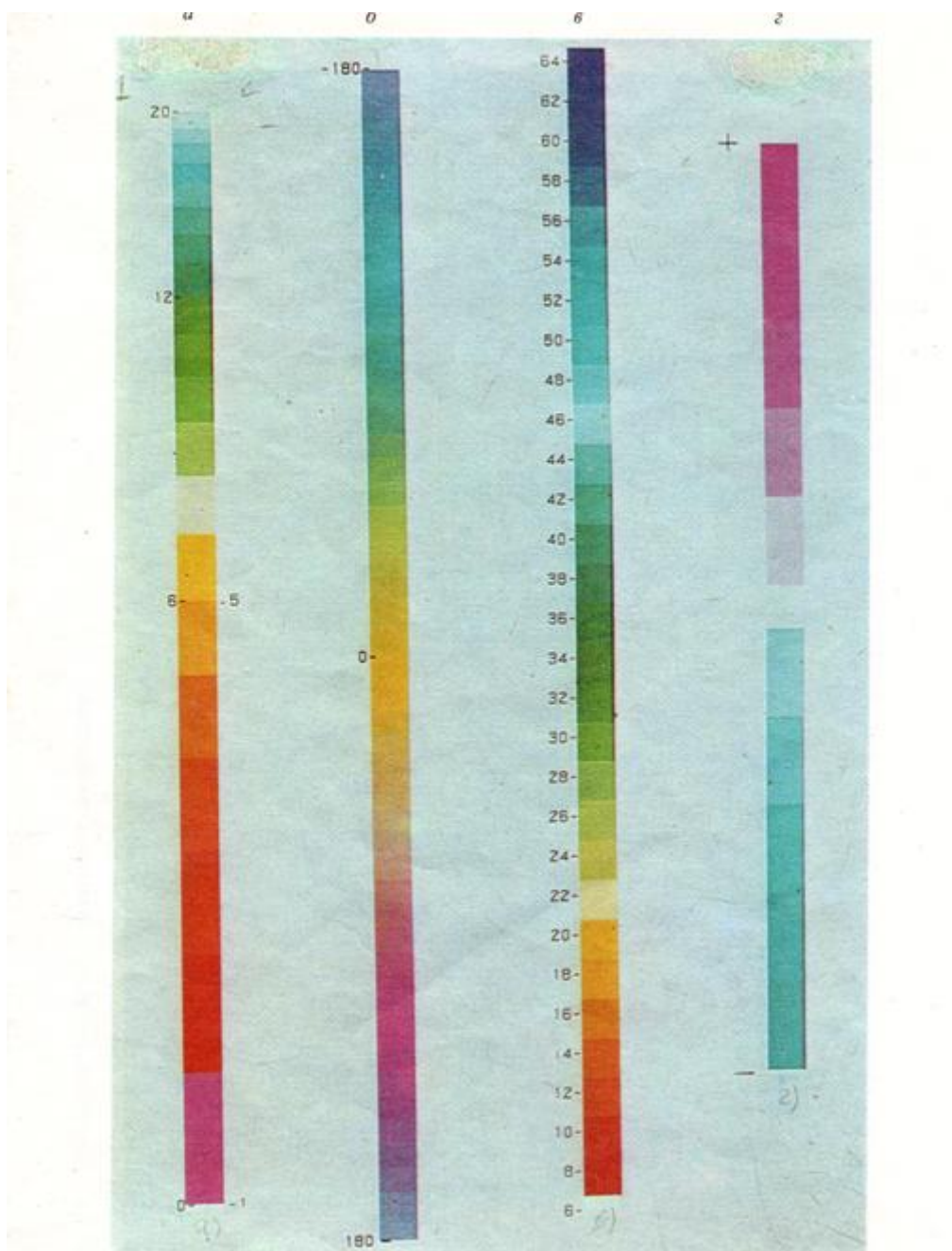


Рис. 9.2. Цветовая шкала для разных параметров: а – мгновенная амплитуда, б – мгновенная фаза, в – мгновенная частота, г – полярность. По [Ч. Пейтон \(10\)](#).

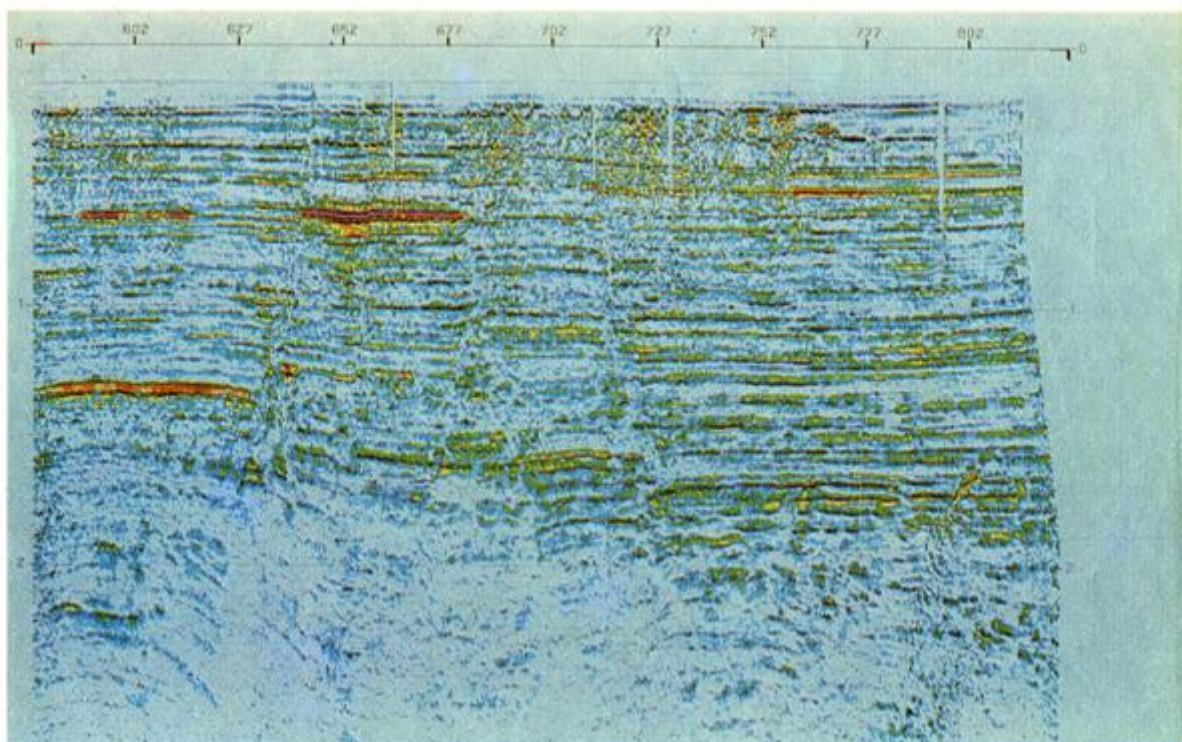


Рис. 9.3. Штат Луизиана – мгновенная амплитуда . По [Ч. Пейтон \(10\)](#).

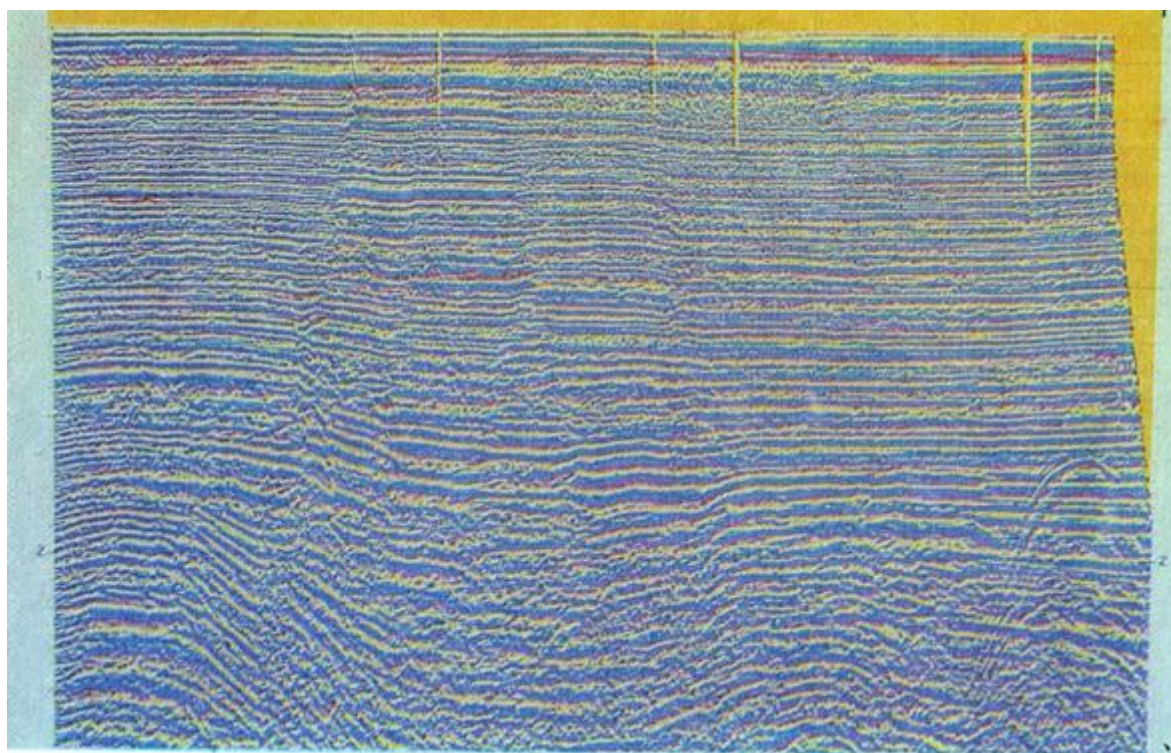


Рис. 9.4.. Штат Луизиана – мгновенная фаза. . По [Ч. Пейтон \(10\)](#).

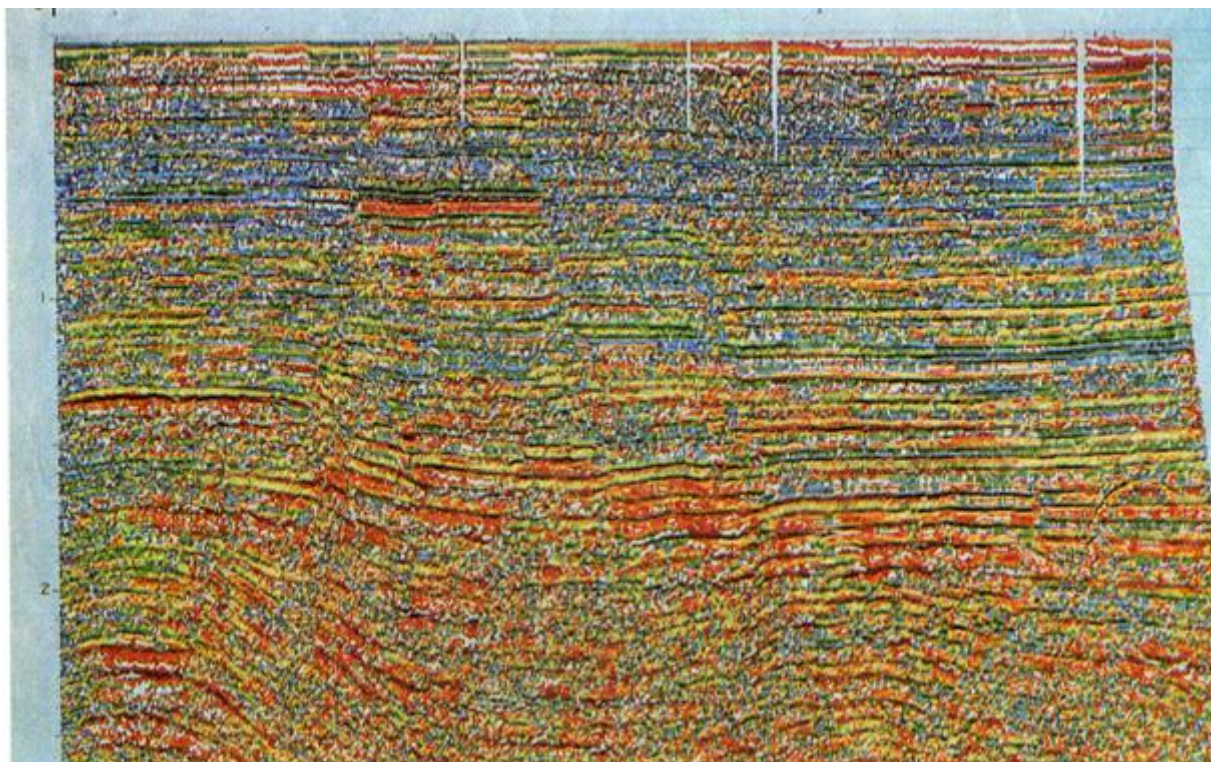


Рис. 9. 5. Штат Луизиана – мгновенная частота. [По Ч. Пейтон \(10\).](#)

Какая частота выше - в отражении от кровли или от подошвы залежи газа?

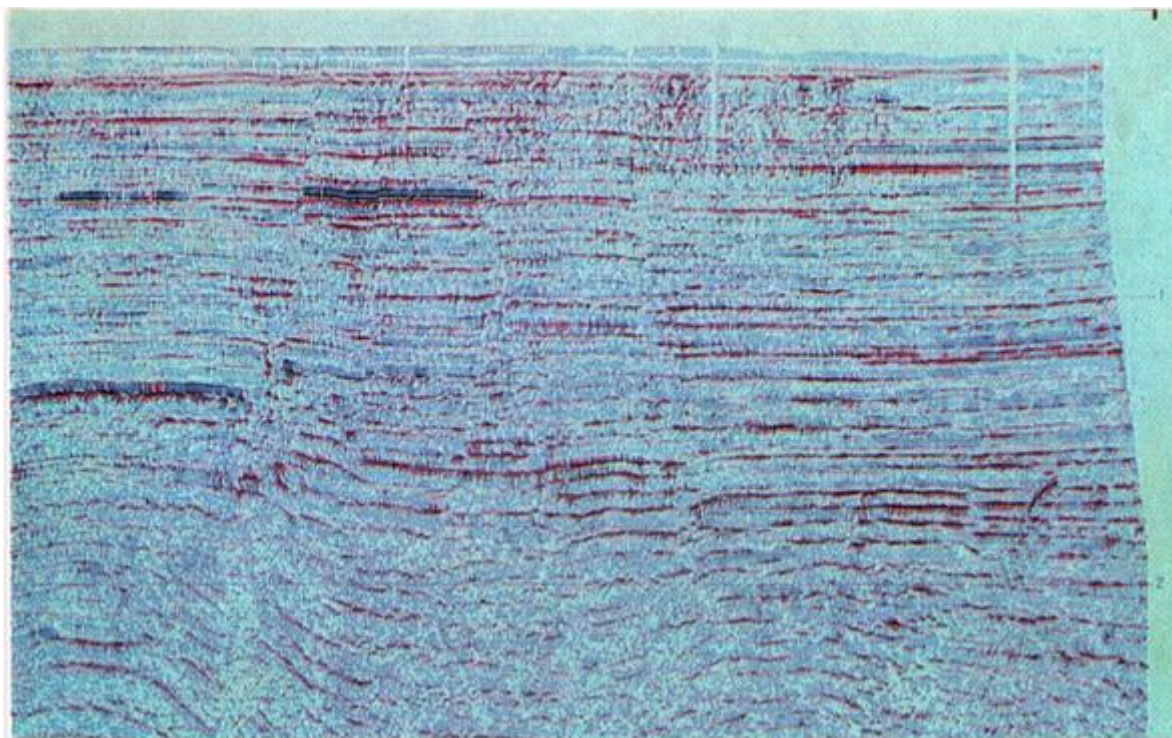


Рис. 9.6. Штат Луизиана – полярность. . По [Ч. Пейтон \(10\).](#)

Какая полярность отражений от кровли и от подошвы залежи газа?

На разрезе мгновенной фазы (Рис. 9.4) хорошо видны нарушения, угловые несогласия, выклинивая пластов, зоны изменения их толщины, степень слоистости пачек, гладкость границ.

На Рис. 9.5 приведен разрез мгновенных частот. Отражения от кровель продуктивных газовых пластов имеют большую частоту (зеленый цвет), чем отражения от их подошв (красный цвет). Это связано с тем, что проходя дважды через газо-насыщенный пласт при отражении от его подошвы, упругие колебания избирательно теряют высокочастотную часть своего спектра.

Полярность отражений видна на разрезе полярности (Рис. 9.6). Отражение от кровли газовой залежи имеет отрицательную полярность (голубой цвет), а от подошвы –положительную. Объясните причину этой особенности отражений.

Задание 2 (По [Ч. Пейтон \(10\). стр.539 – 558](#)).

Рассмотрите разрезы мгновенной фазы (Рис. 9.7) и мгновенной амплитуды (Рис. 9.8), построенных по данным сейсмического профиля, расположенного у берегов Западной Канады.

В левой и правой частях разреза мгновенной фазы в перекрывающем рифы пласте можно видеть уменьшение амплитуды вверх по разрезу структуры облекания тел этих рифов. Тело левого рифа имеет более плоскую подошву и более выпуклую кровлю.

Рассмотрите разрезы мгновенной фазы (Рис. 9.7) и мгновенной амплитуды (Рис. 9.8), построенных по данным сейсмического профиля, расположенного у берегов Западной Канады.

В левой и правой частях разреза мгновенной фазы в перекрывающем рифы пласте можно видеть уменьшение амплитуды вверх по разрезу структуры облекания тел этих рифов. Тело левого рифа имеет более плоскую подошву и более выпуклую кровлю.

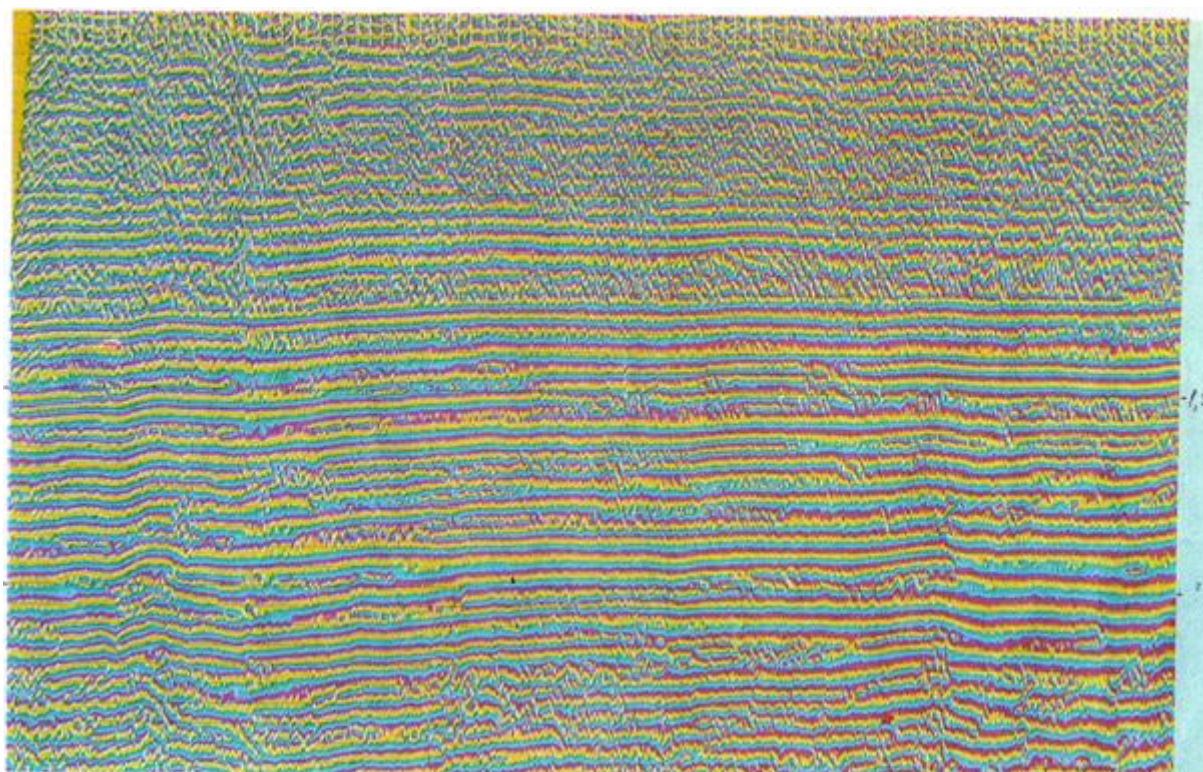


Рис. 9.7. Западная Канада – мгновенная фаза. [По Ч. Пейтон \(10\).](#)

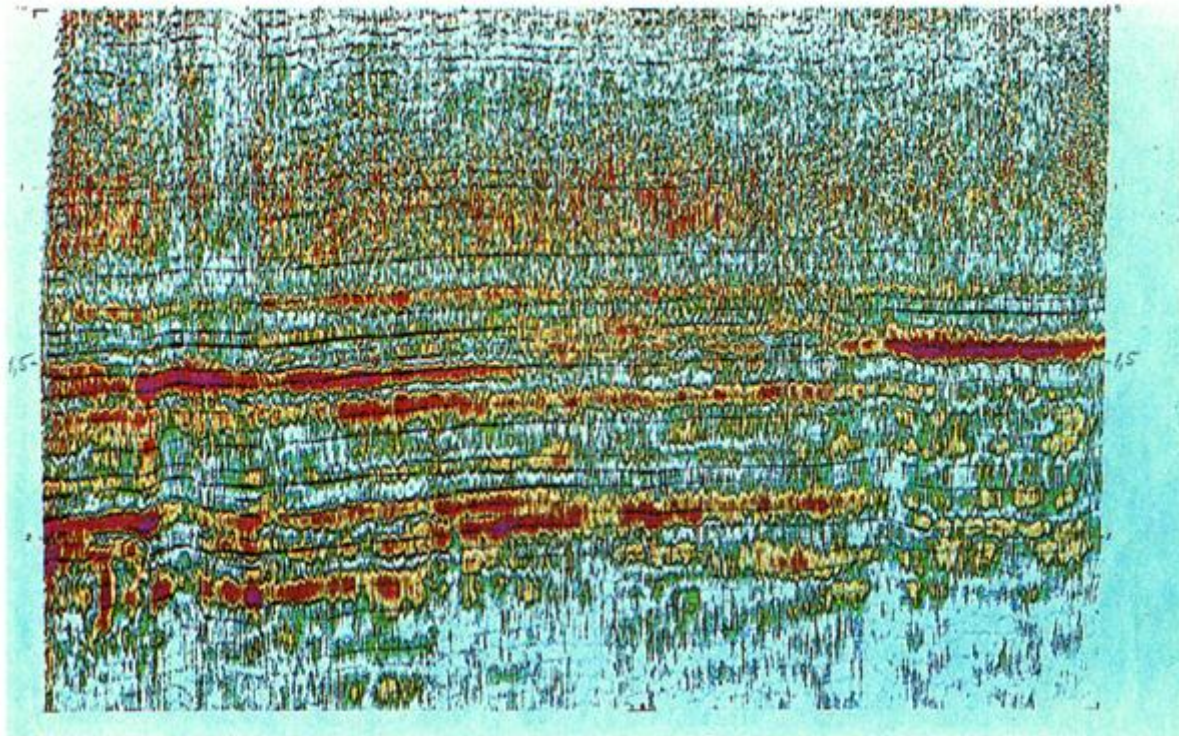


Рис. 9.8. Западная Канада – мгновенная амплитуда. [По Ч. Пейтон \(10\).](#)

Почему над рифом меняется амплитуда отражения от перекрывающего его пласта? Над каким из этих двух разрезов легче найти тело рифа?

На разрезе мгновенной амплитуды перекрывающие левый риф песчаники, отличающиеся высокой отражающей способностью (красный цвет) отсутствуют над выпуклой кровлей рифа, т.к. в пределах этой положительной структуры песчаники не откладывались.

Задание 3.

Для профиля из Западной Сибири рассмотрим разрезы мгновенной амплитуды (Рис. 9.9), мгновенной фазы (Рис. 9.10) и максимальной когерентности (Рис. 9.11)

На разрезе мгновенной амплитуды на времени около 800 мсек видна опорная граница, отличающаяся выдержанностью своих параметров и большой амплитудой отражения (красный цвет). На участке ПК 280-340 на разрезе наблюдается тектоническая зона, полностью разрушившая все границы. На остальной части разреза можно видеть участки, подвергшиеся интенсивной тектонической деформации, уменьшившей отражательную способность значительной части границ.

На временах 870-950 мсек и ПК 400-580 видна пачка границ т.с. высокой отражательной способностью. На разрезе мгновенных фаз можно просмотреть эти гладкие границы. Выше и ниже этой области можно видеть две линзы. Перекрывающие их пласты искривляются, облекая эти линзы.

Анализируя область тектонической зоны на ПК 280-340 (Рис. 9.10) можно видеть, что границы слева от нее обрываются без изгиба, а справа – большая часть границ, приближаясь к этой тектонической зоне, изгибаются вверх. Следовательно, правый блок был опущен по тектонической зоне.

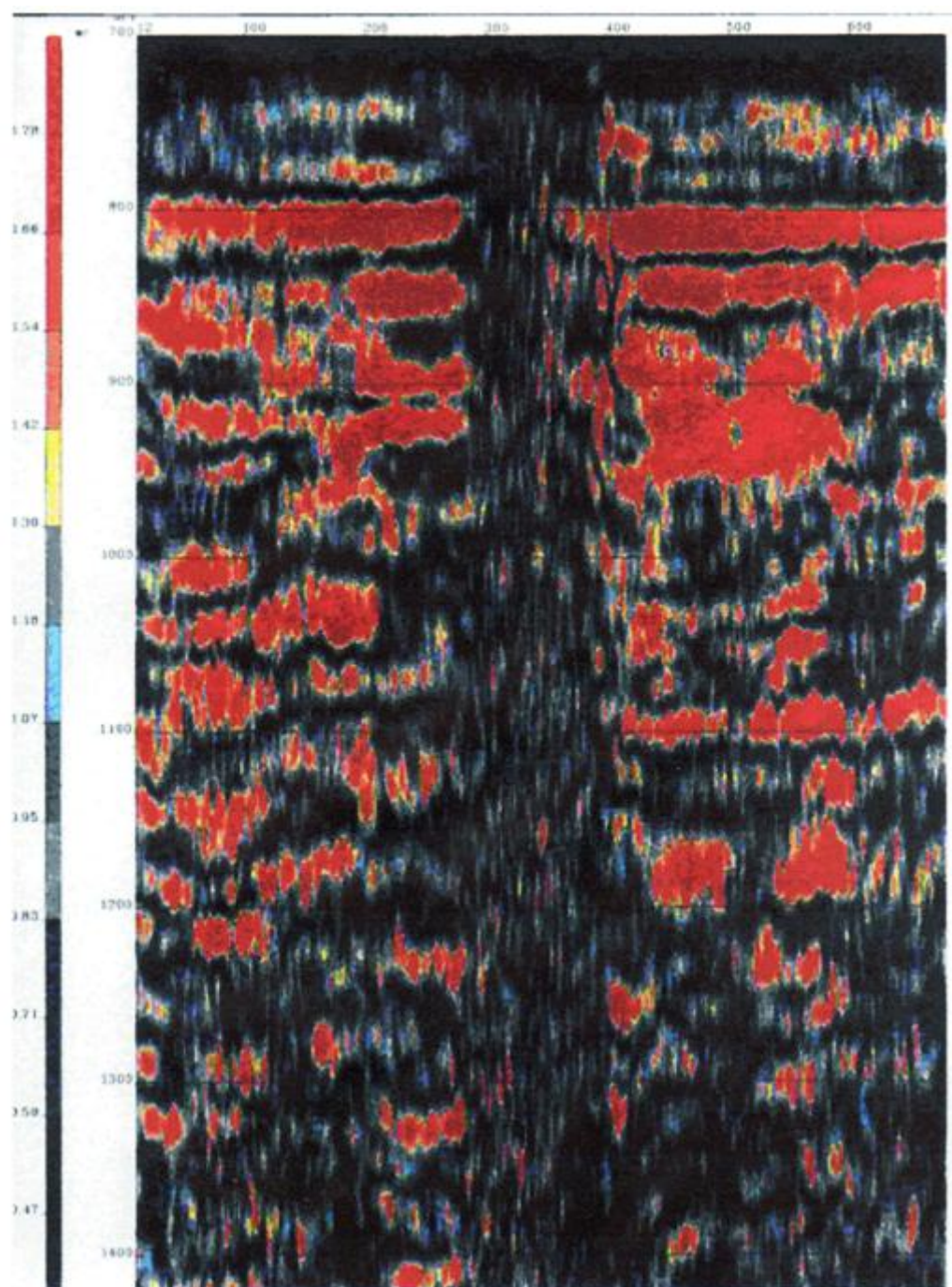


Рис. 9.9. Мгновенная амплитуда.

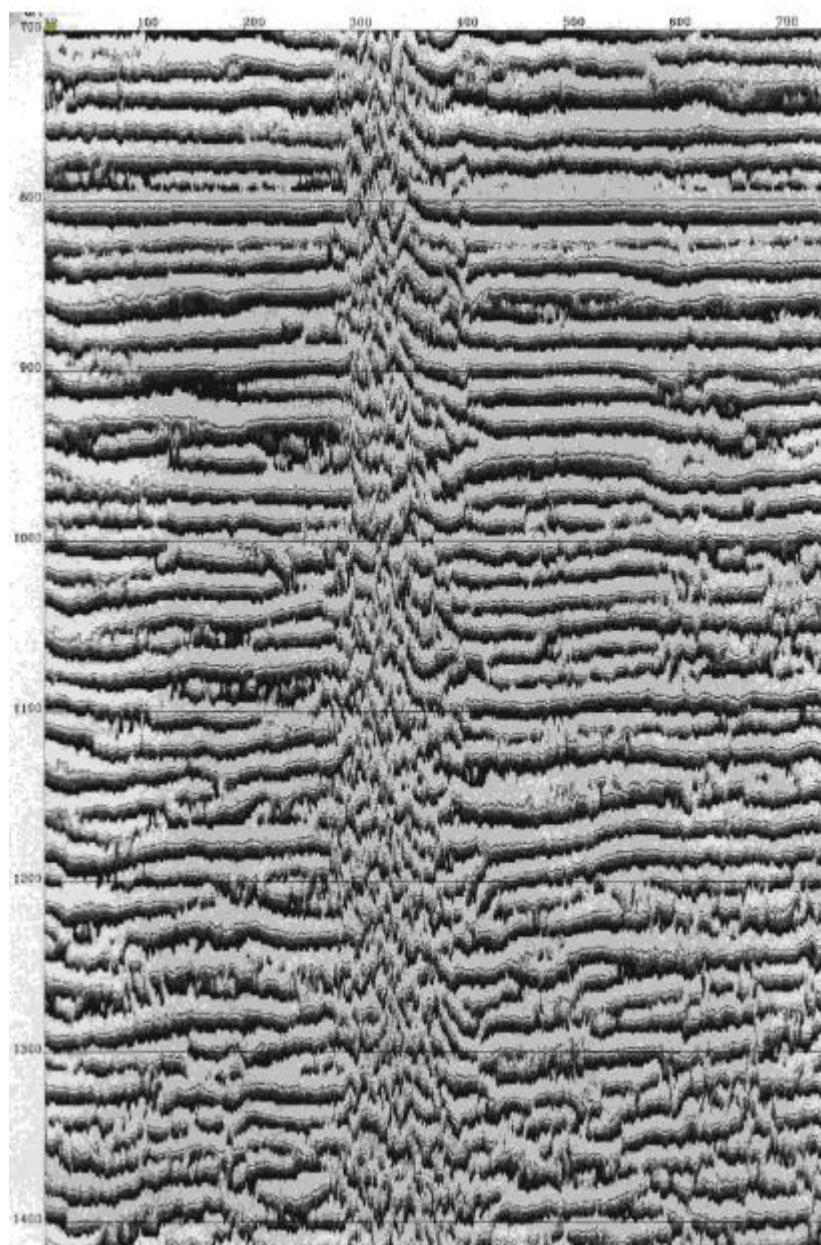


Рис. 9.10 Мгновенная фаза

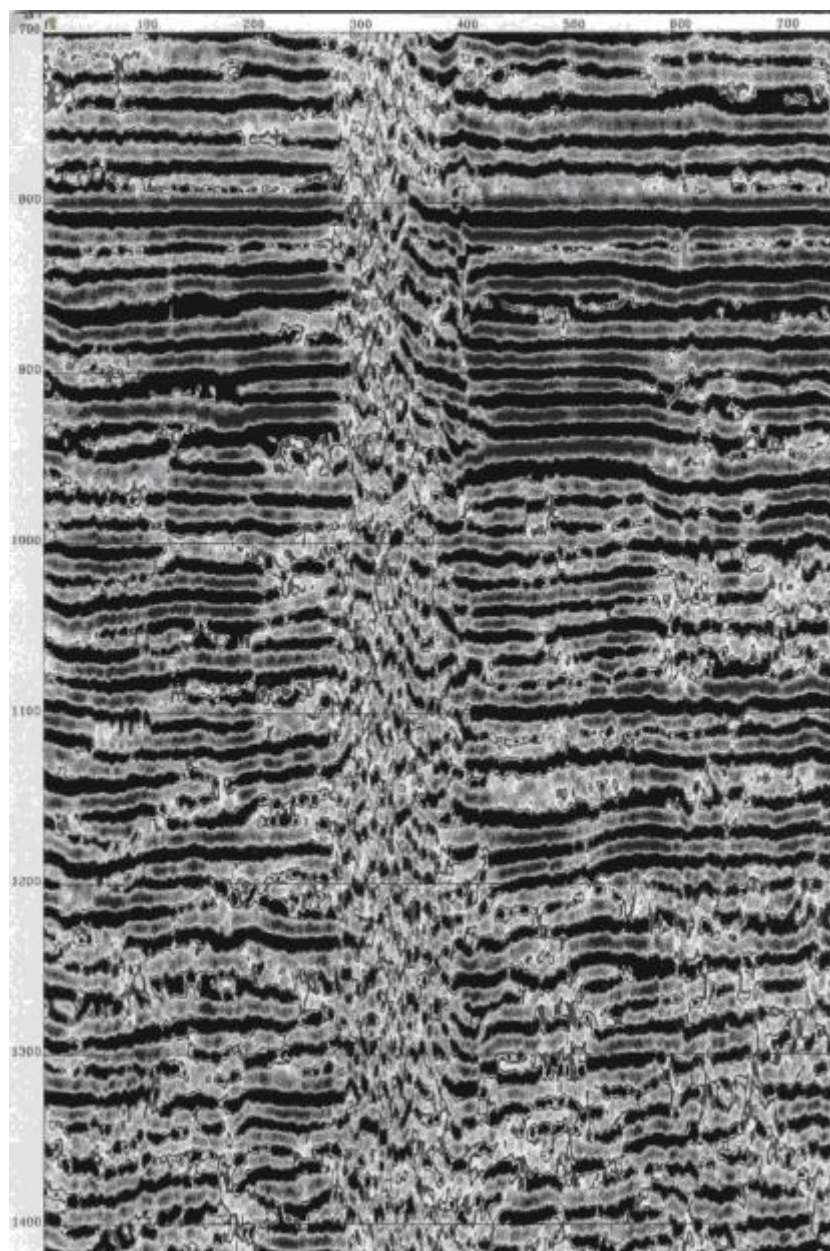


Рис. 9.11 Максимальная когерентность.

На разрезе мгновенных фаз лучше всего прослеживается здесь самая молодая тектоническая зона, разрушившая все границы вплоть до самых молодых. На других участках разреза, где тектоника только уменьшила отражающую способность границ, не разрушив их, тектоническая деформация лучше следится на разрезе мгновенных амплитуд, т.к. мгновенная фаза не зависит от амплитуды, а только отображает искривления границ. Эти искривления больше затронули древние отложения и затухают вверх по разрезу, например, правее ПК 580 на Рис. 9.9

На разрезе мгновенной фазы хорошо видны все мелкие особенности разреза.

Найдите на разрезе мгновенных фаз выклинивания пластов. Обратите внимание, как выглядит гладкая опорная граница на времени около 810 мсек.

Разрез максимальной когерентности (Рис. 9.11) подчеркивает слоистость и гладкость границ. Сравните этот разрез с разрезом мгновенных фаз. Какой из этих разрезов более четко отображает выклинивание краев линз, гладкость опорной границы?

Для еще одного профиля из того же региона построены разрезы мгновенной амплитуды (Рис. 9.12), мгновенных фаз (Рис. 9.13) и мгновенных частот (Рис. 9.14).

На разрезе мгновенных амплитуд вблизи ПК 450 наблюдается узкая тектоническая зона, разрушившая здесь все границы разреза. Вторая, более широкая и сужающаяся снизу вверх тектоническая зона имеется на участке ПК 0-300. В пределах зоны сильно деформированы тектоникой все границы на

временах 1100-1500 мсек и на ПК 700-1000. Сужение этой зоны свидетельствует о затухании снизу вверх тектонической активности.

Наибольшей амплитудой отражений отличается граница на времени около 870 мсек и отдельные границы, например, на времени 1120 мсек в интервале ПК 900-1100. На времени 850-890 мсек и ПК 980-1180 имеется блок, в пределах которого сохранились от деформации все границы.

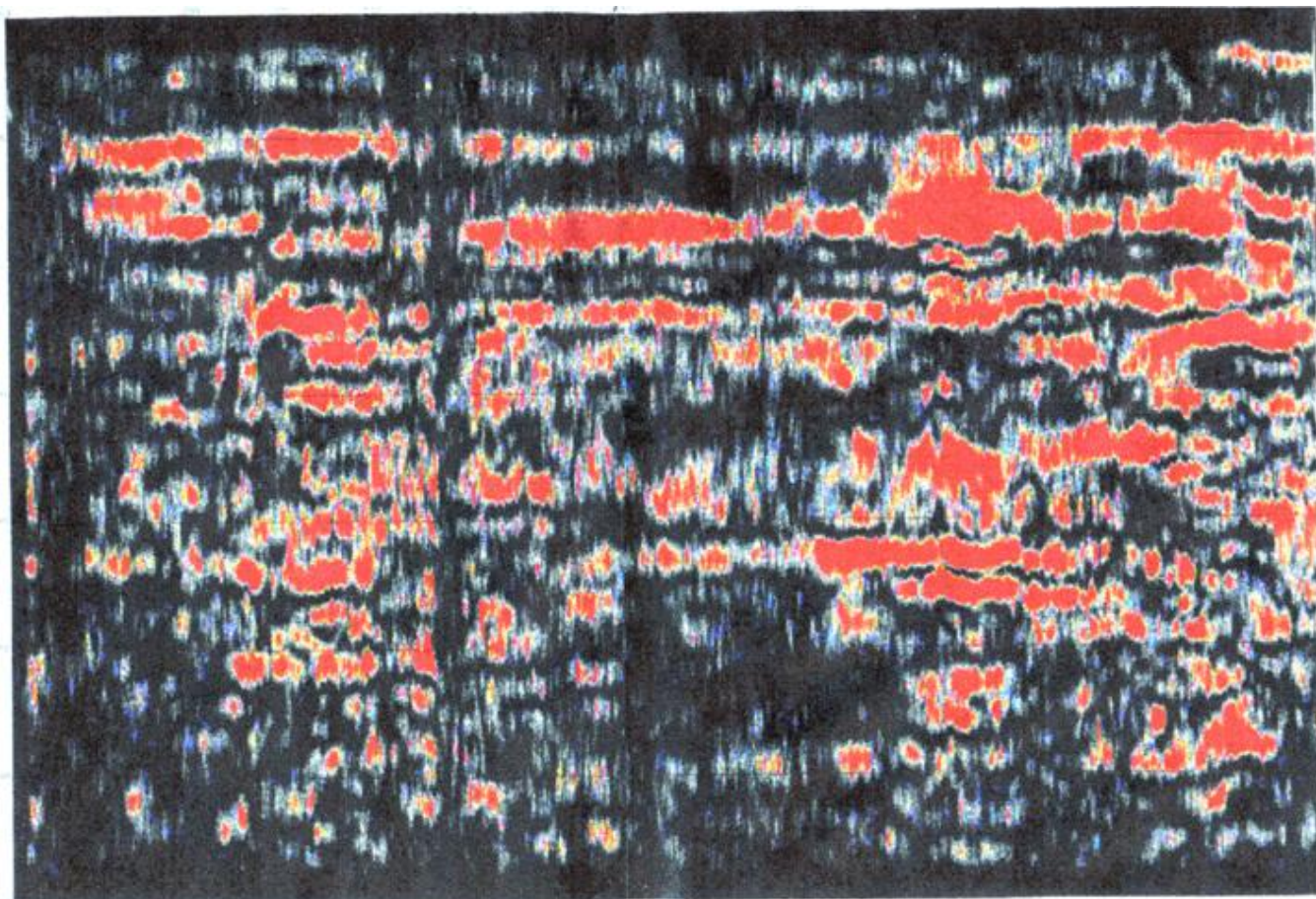


Рис. 9.12. Мгновенная амплитуда

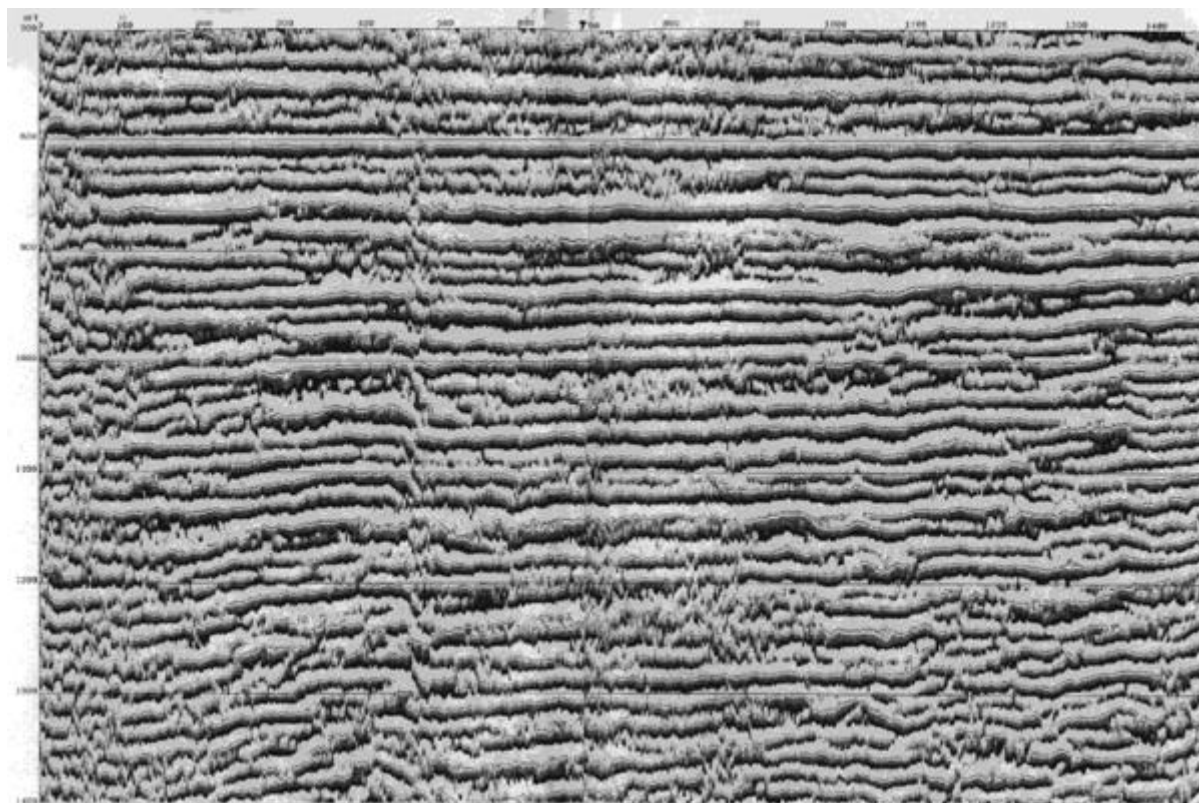


Рис. 9.13 Мгновенная фаза.

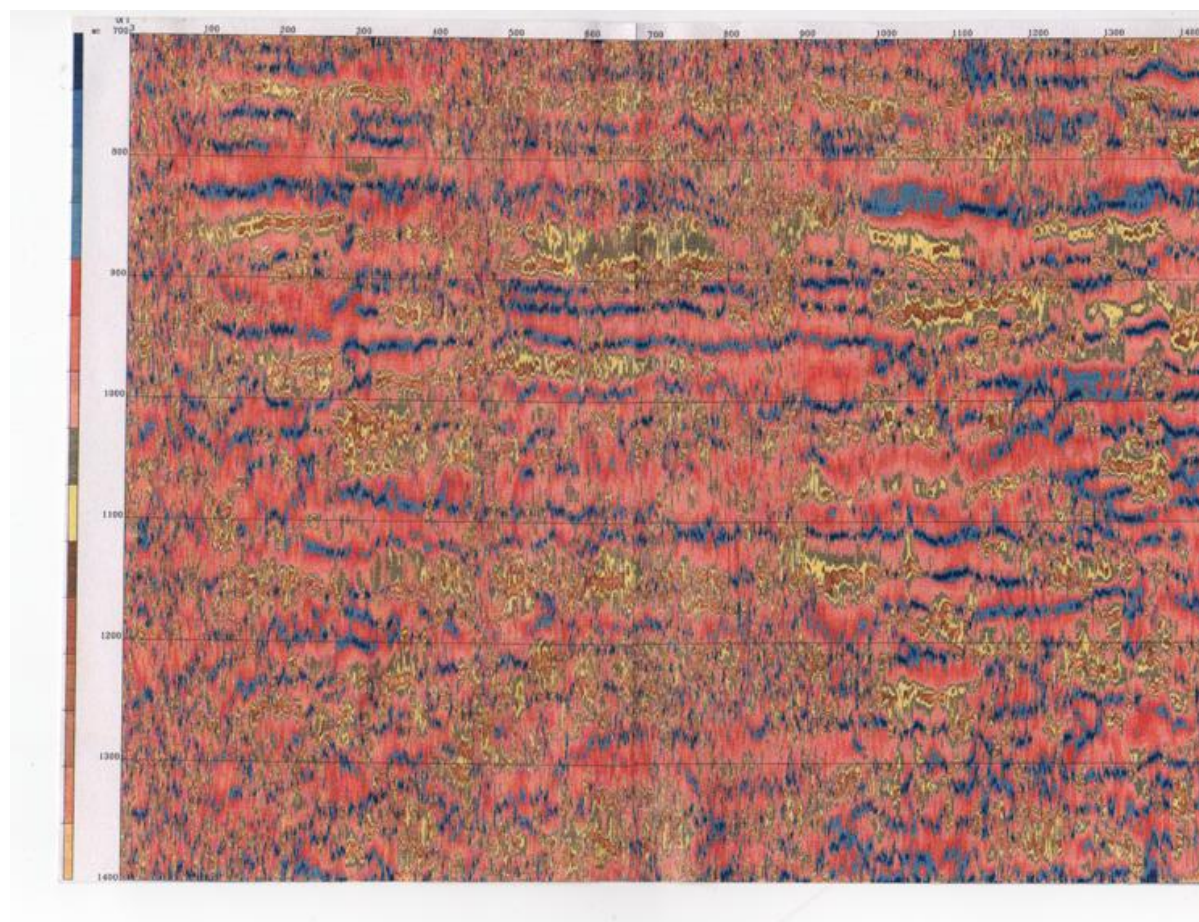


Рис. 9.14. Мгновенная частота.

Рассмотрим, как эта тектоническая деформация выглядит в разрезе мгновенных фаз, где лучше всего видны деформации границ. Молодое тектоническое нарушение на ПК 460 заметно меньше деформирует и смещает молодые отложения, особенно границу на времени около 810 мсек. где, возможно, проницаемость зоны уменьшается. Загнутые, преимущественно вниз, границы слева от зоны дробления свидетельствуют о поднятии левого блока. Здесь же хорошо видны гладкость границы на времени около 810 мсек, наименьшая деформация пачки границ на временах 810-870 мсек в интервале ПК 950-1180 и наибольшая деформация всех границ на временах 1200-1280 мсек и на ПК 700-1000.

Выклинивания пластов здесь встречаются редко. Найдите хотя бы два выклинивания.

На разрезе мгновенных частот видны по наиболее высокой частоте (голубой цвет) самые тонкие пласты – на временах 810-830 мсек; несколько границ на временах 900-950 мсек; в диапазоне времен 1090-1100 мсек. Найдите эти пласты на разрезе мгновенных фаз, где их толщина видна лучше всего. Самые толстые (желтый цвет) пласты отражены наиболее низкой частотой на разрезе мгновенных частот. Найдите и эти пласты на разрезе мгновенных фаз.

Подобные детальные сведения о форме пластов, их искривленности, смены толщины и их выклинивании могут помочь обнаружению возможных ловушек

Вопросы:

1. Какие неоднородности разреза можно обнаружить на разрезах мгновенных амплитуд?
2. Какие границы прослеживаются лучше всего на разрезах мгновенных фаз? Почему?
3. Каковы преимущества разреза мгновенных частот?
4. Какой геологический объект лучше всего виден на разрезе полярности?
5. Какие геологические объекты могут вызвать перерывы в прослеживании границ, если эти перерывы выстраиваются вдоль субвертикальных линий?

Практическое занятие 10

Обнаружение ловушек нефти и газа комплексом геофизических методов

Надежнее всего ловушки нефти и газа обнаруживаются комплексом геофизических методов. Даже наиболее точный количественный метод, сейсморазведка, не всегда может надежно обнаружить ловушку. В случае если несколькими геофизическими методами удастся, пусть и не очень уверенно, обнаружить признаки ловушки, то вывод о присутствии ловушки будет наиболее достоверным.

Рассмотрим возможности обнаружения антиклиналей и рифов комплексом геофизических методов.

Антиклиналь удастся иногда обнаружить по положительной аномалии в поле сил тяжести (Рис. 10.1)

В пределах аномалии более плотные породы располагаются ближе к поверхности на величину, равную ее амплитуде. Минимальная амплитуда

аномалии, которую еще можно обнаружить по аномалии $\Delta g = 0.1-0.01$ мгл составляет первые десятки метров.

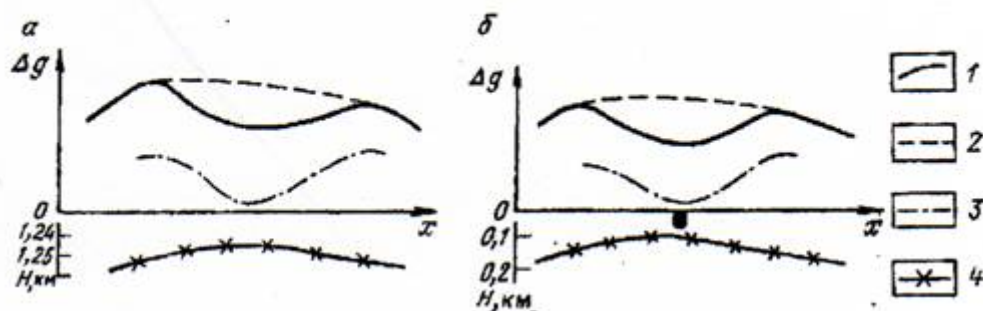


Рис. 10.1. Кривые Δg , обусловленные поднятием. По Весселову К.Е. (5). 1 – относительные аномалии Буге; 2 – региональный фон; 3 – локальные аномалии; 4 – поверхность турнейского яруса.

Более половины положительных структур осадочного чехла опоясываются аномалиями повышенной радиоактивности.

Крупные положительные структуры можно обнаружить с помощью электроразведки, например МТЗ (Рис. 10.2)

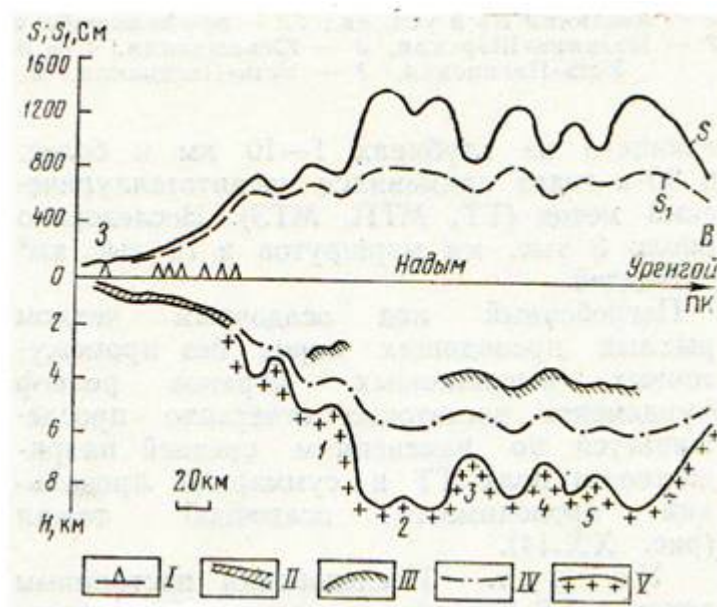


Рис. 10.2. Результаты МТП и МТЗ в северной части Западно-Сибирской плиты. По Ю.С. Копелеву, В.С.Норхину. I – скважина, линия разреза; II – стратиграфическая граница по данным бурения; III – подошва верхней юры(?) по данным сейсморазведки; IV и V – предполагаемые поверхности проводящего горизонта (палеозоя?) и фундамента (докембрия?) по данным МТП и МТЗ поднятия: 1 – Шунгинское, 2 – Надымское, 3 – Медвежье, 4 – Юбилейное, 5 – Уренгойское.

Если положительная структура связана с положительной структурой в фундаменте, то она может быть обнаружена по аномалиям магнитного поля (Рис. 10.3).

Совпадающие аномалии нескольких методов делает предположение о наличии антиклинали более достоверным и такую антиклиналь можно передавать для проверки ее более дорогой сейсморазведкой. В ее материалах над антиклиналью наблюдается минимальное время прихода отраженной волны, а отражающая граница изгибается в соответствии с формой антиклинали.



Рис. 10.3. Положительная аномалия магнитного поля над выступом фундамента.
По [П.С. Ревякину, В.В.Бродовому \(12\)](#).

Крупные скопления углеводородов часто локализуются в органогенных постройках – барьерных рифах, пинаклях, карбонатных банках. Рифы могут вызывать в поле силы тяжести аномалии различного знака (Рис. 10.4).

Электрическое сопротивление пород рифа бывает в 2-4 раза выше, чем у подстилающих их отложений, образовавшихся в более глубоководной части бассейна, но соизмеримо с сопротивлением пород шельфа или эвапоритов, которые нередко вмещают или перекрывают их. Рассчитывать на обнаружение рифов с помощью электроразведки можно только в случае значительных размеров и большой разницы электрических свойств пород рифа и вмещающих их пород.

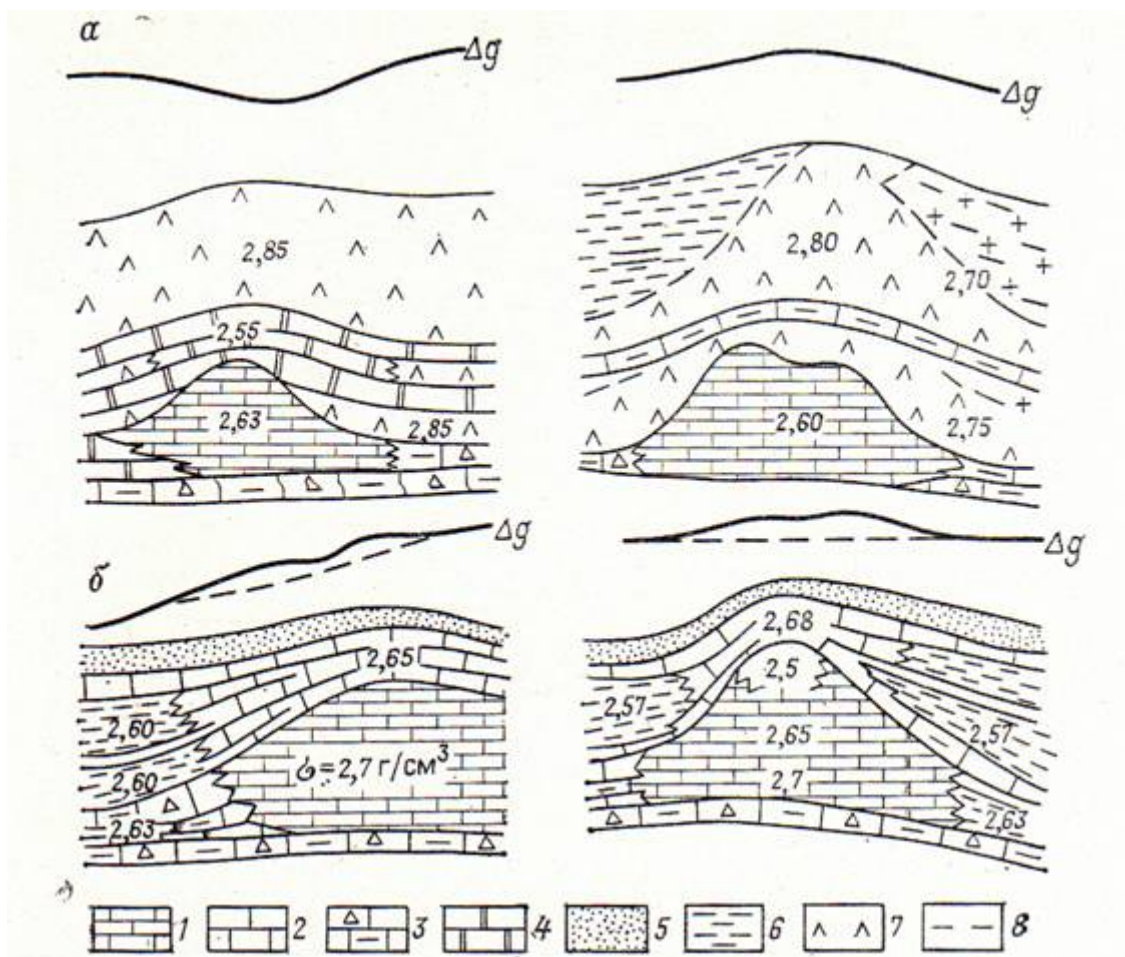


Рис. 10.4. Соотношения вмещающих отложений в бассейнах эвапоритового (а) и терригенного (б) состава компенсирующих толщ. По В.М. Новоселицкому, В.К.Килейко. 1 – 3 – известняки соответственно рифогенные, органогенные и кремнисто – глинистые; 4 – доломиты, 5 – песчаные отложения, 6 – глины и аргеллиты, 7 – ангидриты, 8 – граница соли.

В магнитном поле немагнитные породы рифа во вмещающих его слабомагнитных терригенных породах могут создать отрицательную аномалию (Рис. 10.5).

Скорость в породах рифа колеблется от 3,5 до 6,1 км/сек в известняках и до 6,1-6,5 км/сек в доломитизированных известняках и сильно зависит от возраста и пористости слагающих рифы пород. Во вмещающих рифы терригенных и терригенно-карбонатных породах и в солях скорости ниже на 0,5-1,5 км/сек, чем в породах рифа.

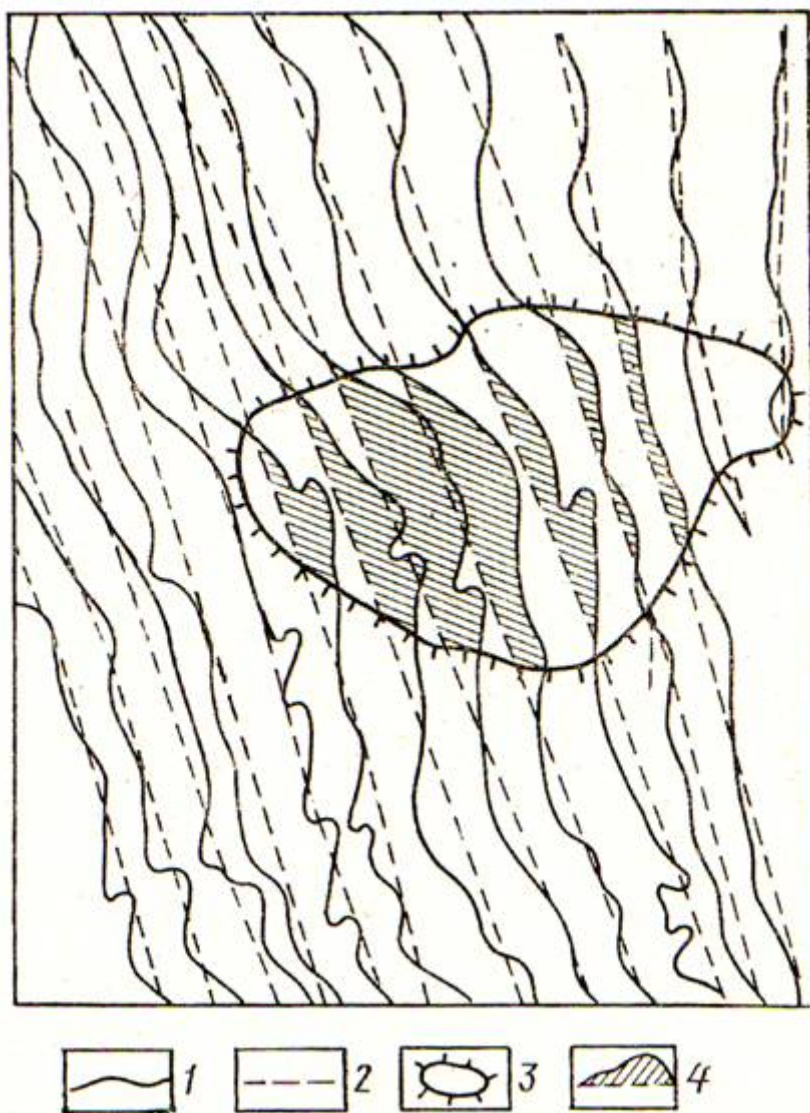


Рис. 10. 5. Отражение рифа в магнитном поле. 1 – изодинамы T_a ; 2 – изодинамы регионального поля T_a ; 3 – контур поднятия по геологическим данным; 4 – аномалии изодинам, связанные с областью рифа. По [Н.Д. Матвеевской, Б.Б.Тальвирскому \(9\)](#).

Поглощение энергии упругих волн в пористых породах рифа (особенно в нефтегазонасыщенных) в 5-15 раз выше, чем во вмещающих их породах. Поэтому аномалия затухания самая значительная среди других аномалий, связанных с рифами (Рис. 10.6).

Поглощение упругих колебаний в породах рифа избирательно: оно сильнее для высоких частот спектра, чем для низких. Поэтому тело рифа выделяется на разрезах мгновенных частот как зона пониженных частот.

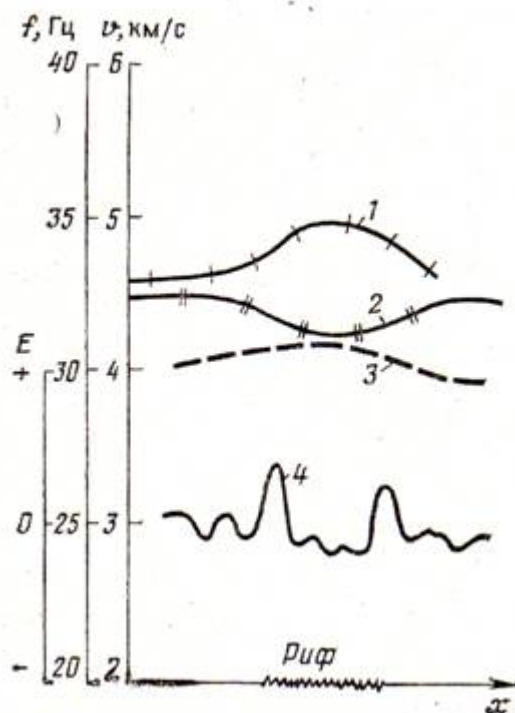


Рис. 10. 6. Сопоставление характеристик различных параметров, типичных для рифов.

1 – график частоты колебаний волн для перекрывающих отложений; 2 – то же, для подстилающих;
3 – график скорости распространения волн до подошвы рифа; 4 – график изменения энергии отраженных волн. По [Е.А.Галаган, А.Б.Тальвирский \(6\)](#)

В целом, в физических полях тело рифа выражено довольно слабо, поэтому для поисков рифа применяются также косвенные признаки. Поиски рифов выполняются с использованием комплекса геофизических методов в несколько этапов.

На региональном этапе выполняются поиски кромок шельфов, к которым могут быть приурочены рифы. Для выявления и прослеживания кромки шельфа применяют электроразведку в модификации [теллурических](#) токов, магнитотеллурического зондирования и зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБЗ), а также гравиразведку. Последняя выделяет кромку шельфа как зону повышенного градиента поля силы тяжести, а соседние с ней площади имеют различный характер изолиний Δg (Рис. 10.7).

По электроразведке кромка шельфа прослеживается как протяженная зона изменения продольной проводимости. Комплексом электроразведки и гравиразведки уже на региональном этапе часто обнаруживают признаки крупных рифов.

Практическое занятие №11

Высокоразрешающая 3-D-сейсморазведка для изучения сложнопостроенных резервуаров нефти и газа.

Ограничение разрешающей способности сейсморазведки – одна из сложнейших проблем метода. Для ее решения необходимо повысить частоту колебаний. Если это удастся выполнить, то детальность сейсмических материалов заметно повышается. На Рис. 11.1 видно, что высокоразрешающая сейсморазведка позволила проследить гораздо больше границ в разрезе, в том числе границ, смятых в складку в правой части разреза на временах 0,8-0,95 сек. Границы стали следиться увереннее.

Повышение частоты позволило увидеть малоамплитудную антиклиналь на времени около 2 сек (показана стрелкой на Рис. 4.13), которую не было видно на разрезе при более низкой частоте.

Применение высокоразрешающей сейсморазведки и более детальный учет неоднородностей верхней части разреза позволил проследить палеоврез (между скобок на Рис. 11.2.).

Подобные же объекты можно видеть с помощью высокоразрешающей сейсморазведки в трехмерном пространстве.

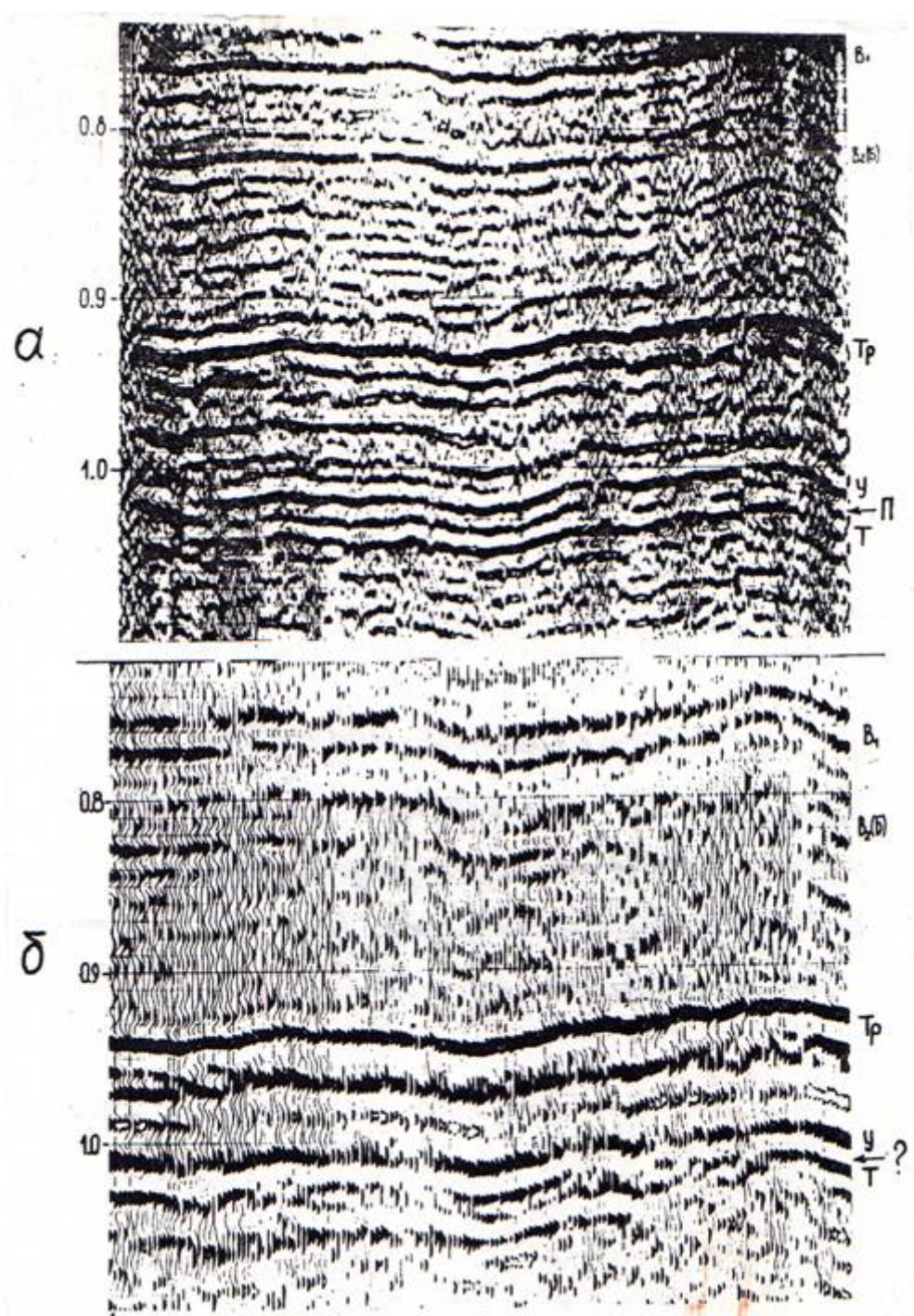


Рис. 11.1 Временные разрезы полученные по методике высокоразрешающей сейсморазведки (а) и по стандартной методике (б). По Алексину А.Г. и др. (1).



Рис. 11.2. Палеоврез, выделенный по данным высокоразрешающей сейсморазведки. По [Алексину А.Г. и др. \(1\)](#).

Применение высокоразрешающей 3-D-сейсморазведки позволяет детализировать объект с помощью серий вертикальных разрезов и горизонтальных срезов. С помощью горизонтальных срезов удалось обнаружить русло реки (Рис. 11.3).

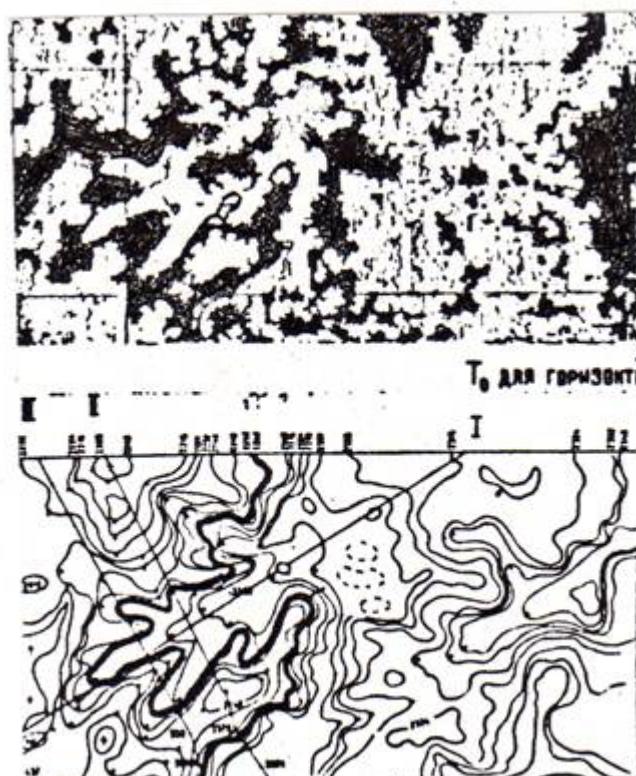


Рис. 11.3. Выявления на горизонтальном срезе ловушки, связанной с погребенной палеодолиной. По [Алексину А.Г. и др. \(1\)](#).

На серии горизонтальных срезов изучено строение выступа фундамента (Рис. 11.4). На Рис. 8.2 видно, что на одном из срезов горизонтальной серии можно проследить границы залежи нефти.

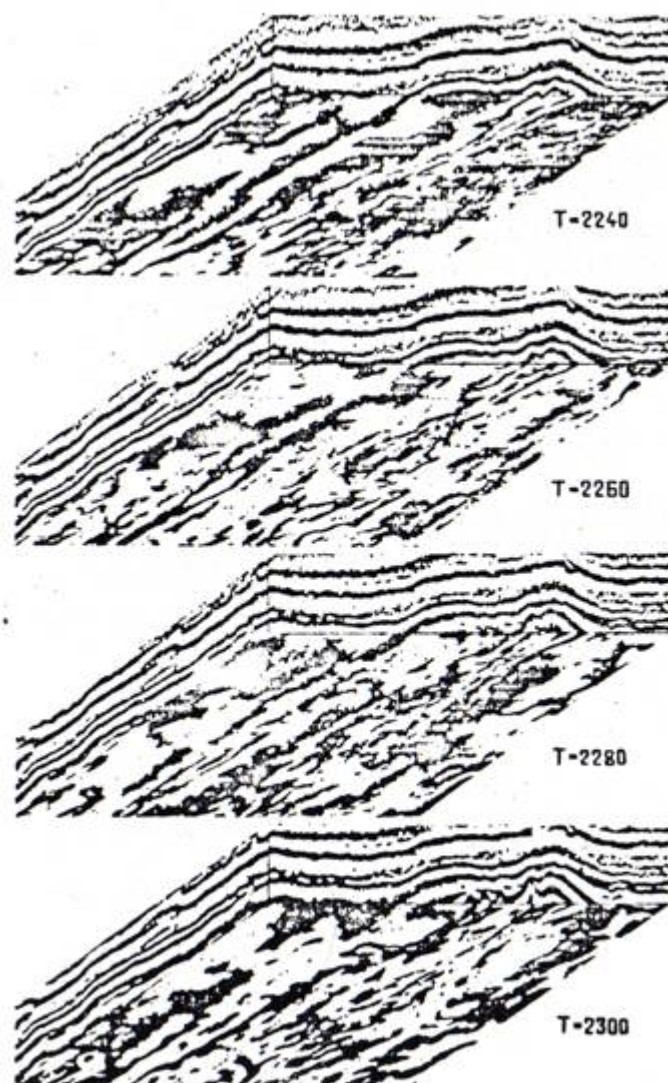


Рис. 11.4. Последовательные горизонтальные сечения выступа фундамента. По [Алексину А.Г. и др. \(1\)](#).

Высокорастворяющая 3-D-сейсморастворка позволяет изобразить наиболее интересные объекты в пространстве, для чего строят «куб» из нескольких вертикальных разрезов. На Рис. 8.2 видно взаимное расположение трех ор-ганогенных построек в 3-х мерном пространстве.

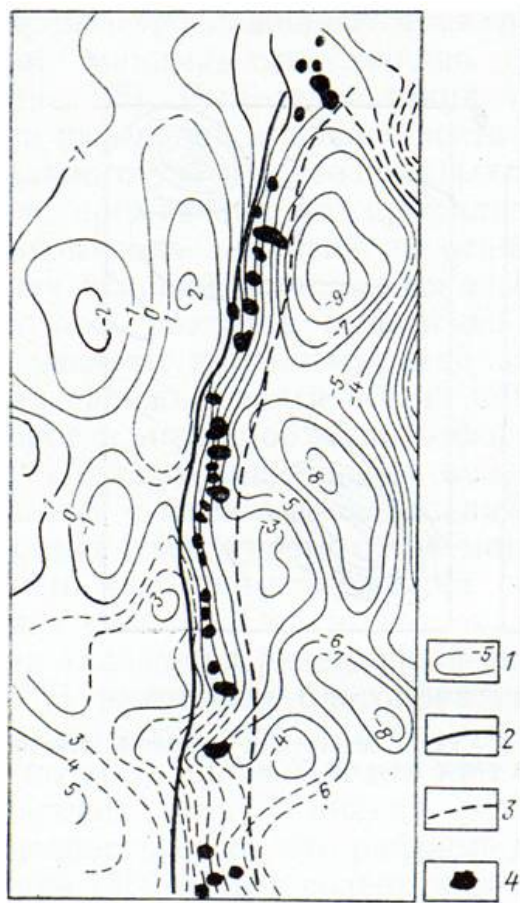


Рис. 10. 7 Остаточная аномалия Буге в полосе развития барьерного рифа. 1- изолинии остаточных аномалий. 2, 3 – границы барьерного рифа. 4 – рифогенные массивы. По [Веселову К.Е. \(5\)](#).

Для подтверждения наличия кромок шельфов выполняют сейсмические исследования на профилях, ориентированных в крест зон повышенных градиентов полей сил тяжести и продольной проводимости. Кромка шельфа выглядит на сейсмическом разрезе как зона перехода от субгоризонтальных шельфовых отложений к косослоистым клиноформным отложениям континентального склона (Рис. 10.8).



Рис. 10. 8. Барьерный риф (заштриховано).

Наиболее крупные рифы на сейсмических разрезах обнаруживаются по выпуклому отражению от их кровли, либо по изгибу перекрывающих или подстилающих их пород, либо как зоны прекращения слоистости пачки, либо по локальному утолщению вмещающей риф пачки. С рифом может быть связано снижение мгновенной частоты амплитуды отражений от границ ниже рифа. На границах рифа иногда наблюдаются дифрагированные волны. Признаком крупного рифа на кромке шельфа может служить

заметная разница наклона его границ: в сторону берега они положе, а в сторону континентального склона круче (Рис. 10.8).

Мелкие рифы обнаружить труднее. Иногда они выделяются в разрезе как непротяженная зона прекращения прослеживания одной границы. Более крупные рифы выглядят как зона изменения формы отражений (Рис. 10.9).

С помощью метода ЗСБЗ продуктивный риф нередко обнаруживается по смене формы кривых $t_{\text{ЗБЗ}}$ (Рис. 12.1.1.). В материалах других методов электроразведки риф может отражаться заметным изменением продольной проводимости, либо ростом толщины высокоомного пласта.

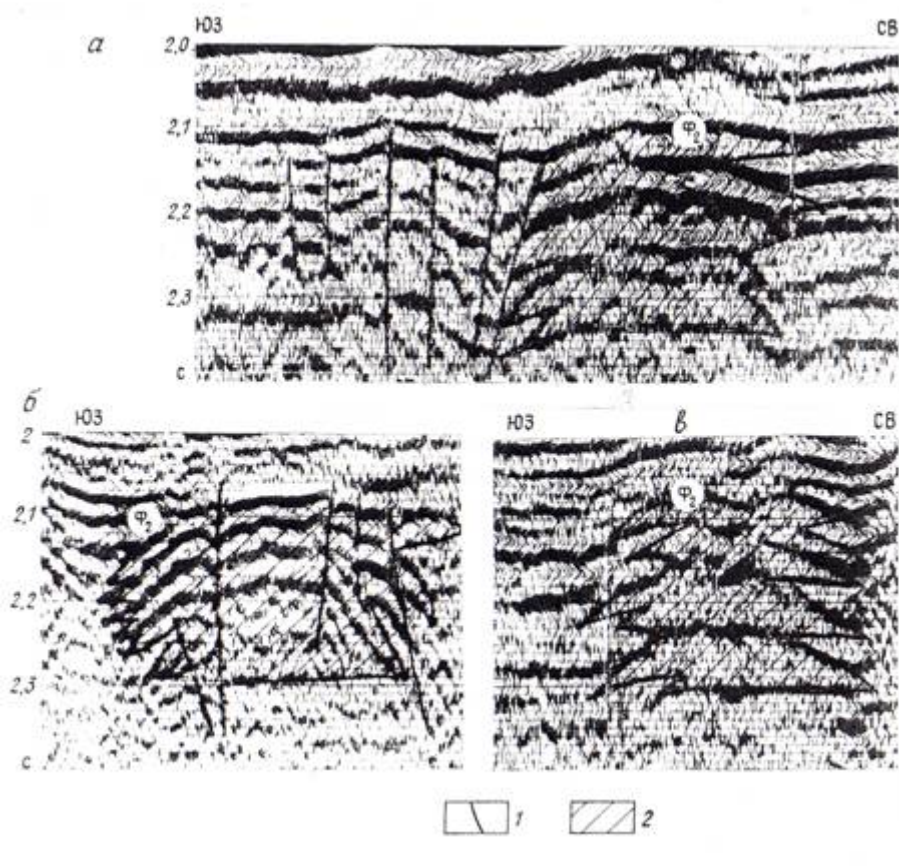


Рис. 10.9. Пример волновых картин в зоне рифов. 1 – тектонические нарушения..
2 – рифовые сейсмofации. По [Р.В. Белову \(3\)](#).

Практическое занятие №12

Прямые поиски залежей нефти и газа

Формирование залежей нефти и газа сопровождается разнообразными физико-химическими процессами, создающими вокруг залежей объекты, различные по своей физической природе и с различными физическими свойствами пород. Вместе со сложным строением самой залежи, они создают предпосылки для обнаружения залежи практически всеми геофизическими методами. Однако признаки залежей в материалах всех этих методов удастся обнаружить не всегда, а лишь при благоприятных условиях.

Самые разнообразные признаки залежи можно обнаружить в материалах сейсморазведки.

Аномально высокое затухание упругих колебаний наблюдается на участках коллектора, заполненного нефтью и особенно - газом. Для обнаружения этой аномалии сравниваются аномалии отражений от кровли и от подошвы слоя или пачки слоев.

Аномальная амплитуда отражения наблюдается от участка коллектора, заполненного не водой, а нефтью или газом. Она вызвана аномальным перепадом здесь акустической жесткости, т.к. плотность и скорость в нефти и газе ниже, чем в воде.

Чаще всего амплитуда отражения бывает повышена, и тогда эта аномалия называется «светлым пятном» (Рис. 12.1, 12.2, 12.3).

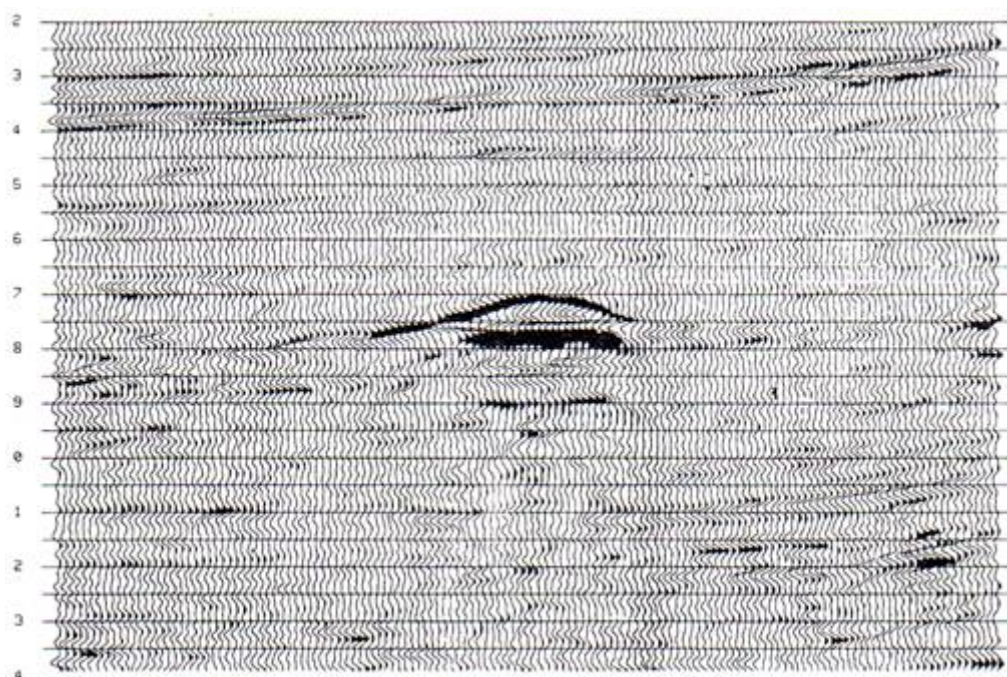


Рис. 12.1. «Светлое пятно» и «плоское пятно» над залежью. По [Hardage Bob \(18\)](#).

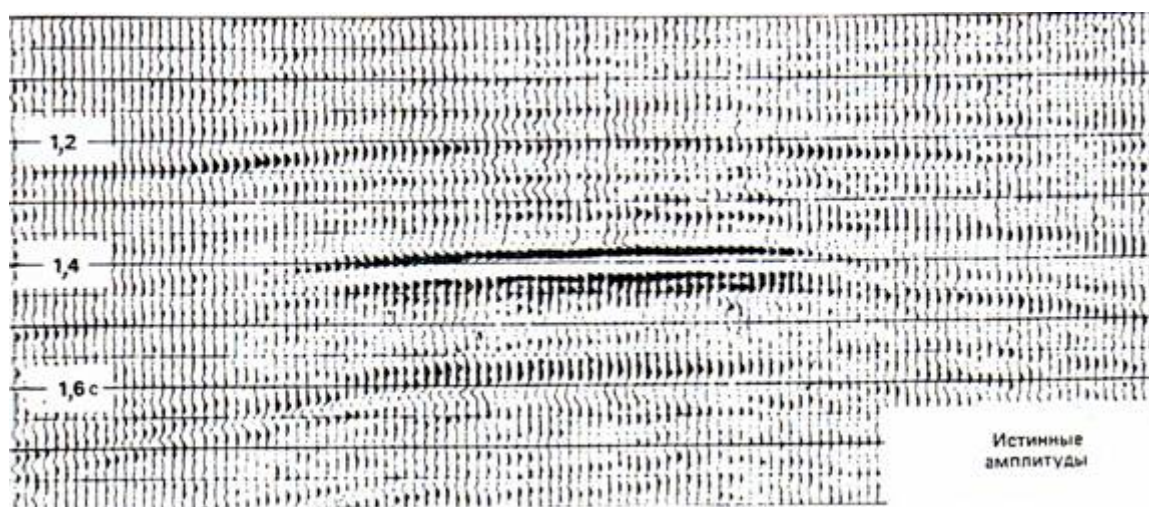


Рис. 12.2 «Светлое пятно» над залежью нефти. По [Schramm M.W. \(20\)](#).

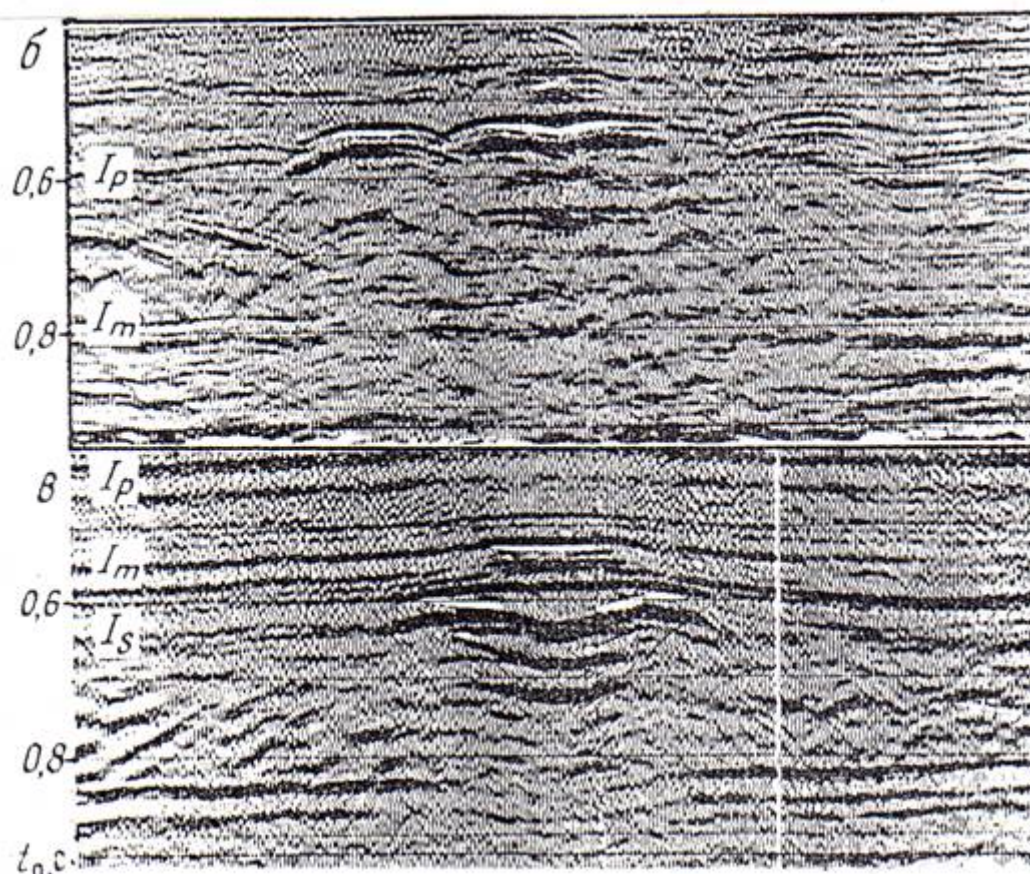


Рис. 12. 3. « Сетлые пятна» над залежами нефти . По , Д.Ф. Исмагилову .

В случае, если смена воды в коллекторе на нефть или газ, уменьшая скорость и плотность, не отдаляет, а приближает акустическую плотность коллектора к акустической жесткости перекрывающего его флюидоупора, то над залежью наблюдается снижение амплитуды отражения от кровли коллектора (Рис. 12.4). Такая аномалия называется «серое пятно» и встречается реже.

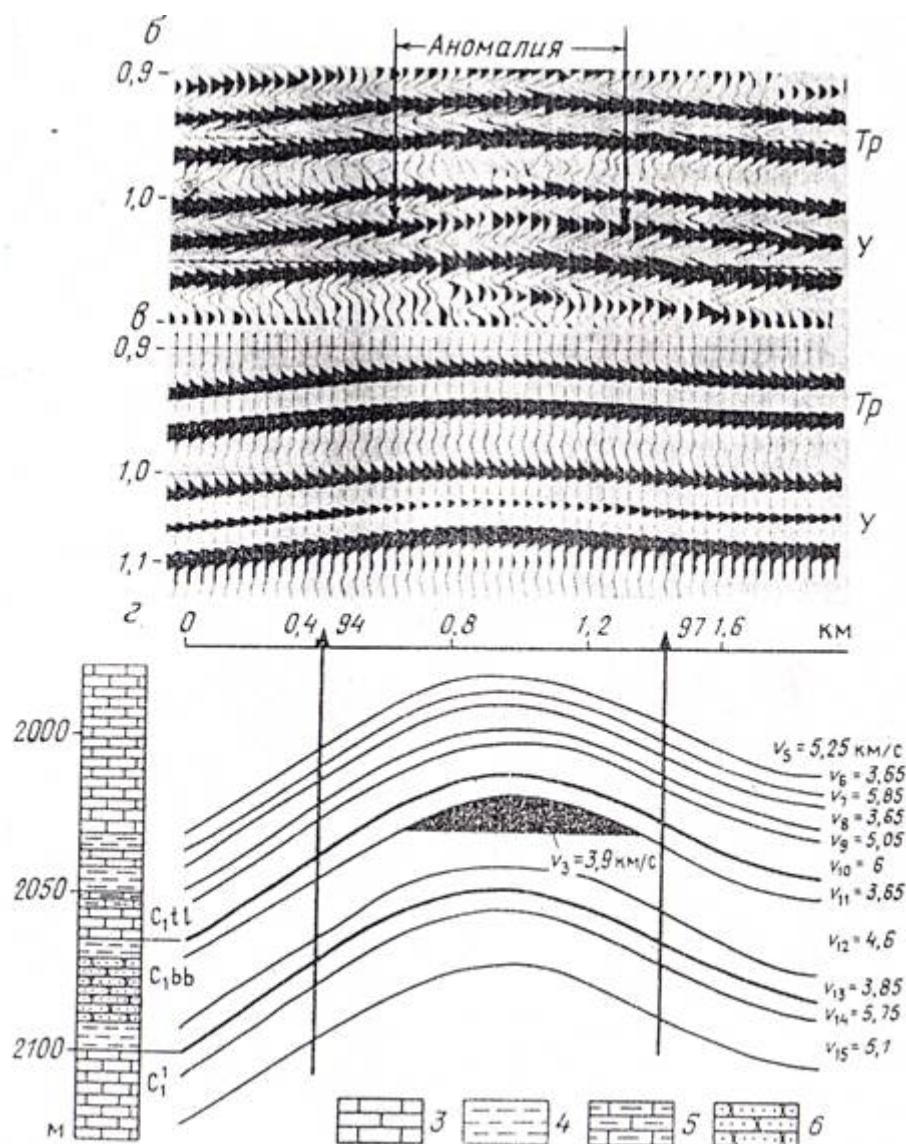


Рис. 12. 4. «Серое пятно» в отражении от кровли коллектора над залежью.
По [А.Г.Алексину \(1\)](#).

В случае, если продуктивный пласт смят в складки, то происходит фокусирование – увеличение амплитуды отражения над синклиналью и расфокусирование – уменьшение амплитуды над антиклиналью. В этом случае не очень яркое «светлое пятно» может исчезнуть. Зная формулу пласта, можно восстановить амплитуду отраженной волны и обнаружить залежь. (Рис. 12.5).

3. Отражения от межфлюидальных границ также могут служить признаком залежи. Они наблюдаются только у массивных и толстых залежей. В случае тонкого переслаивания коллекторов и флюидоупоров длина ВНК и ГКН в каждом коллекторе меньше разрешающей способности сейсморазведки и в ее материалах не обнаруживается.

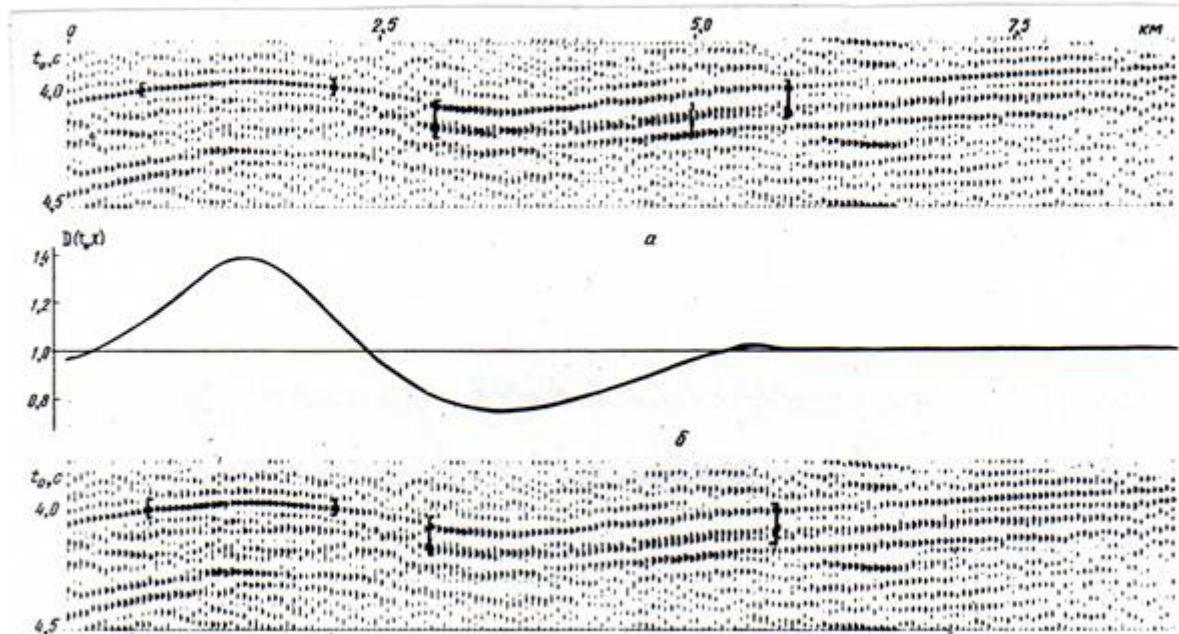


Рис. 12.5. Коррекция амплитуд отражений за влияние кривизны границы. а– до коррекции; б – после коррекции.

ВНК и ГНК всегда плоские и горизонтальные, поэтому и отражения от них называются «плоское пятно». Оно не всегда оказывается таким интенсивным, как видно на Рис. 12.1. Отражения от ГНК также может быть интенсивным, как показано на Рис. 12.6. Но отражения от ВНК и ГНК часто оказываются слабыми, теряющимися на фоне других фрагментов разреза (ВНК на Рис. 12.6 и ГНК на Рис. 12.7, ВНК в двух песчаных коллекторах на Рис. 12.8 а и б)



Рис. 12.. 6. Отражения от ГНК и ВНК. По [И.И. Хведчук \(15\)](#)

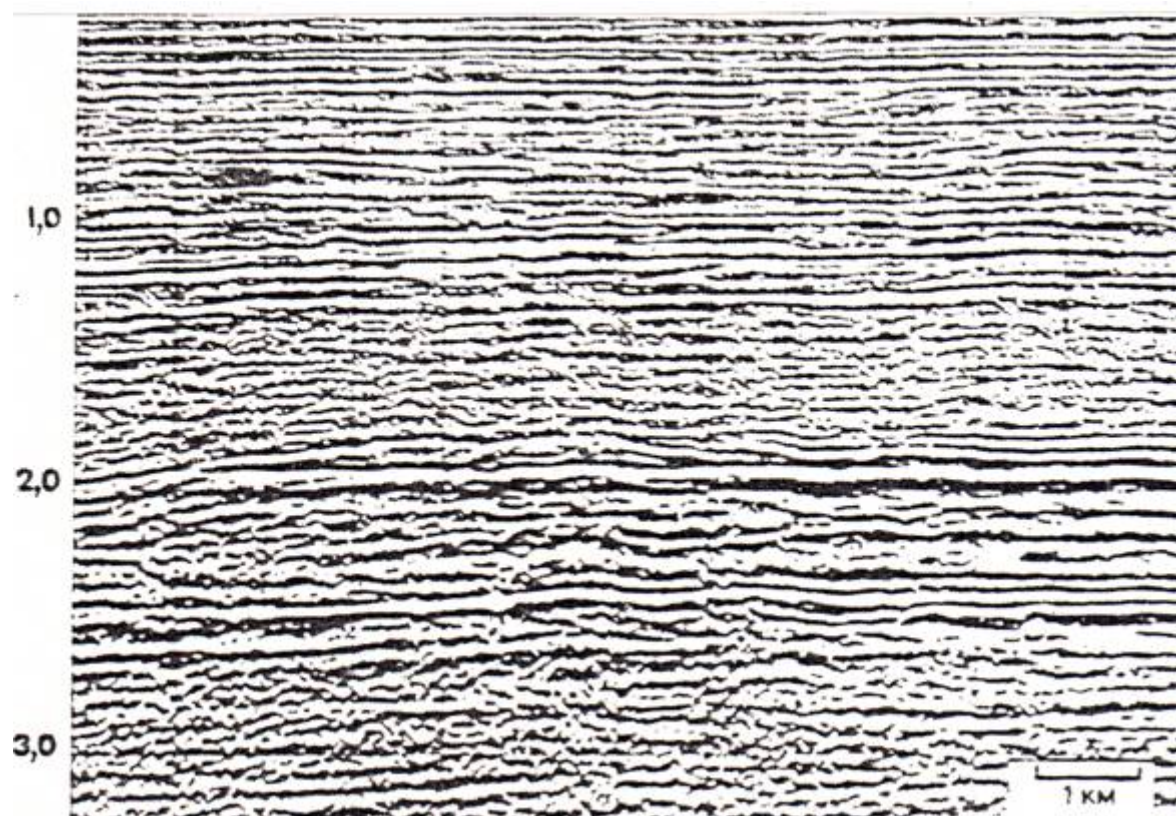


Рис. 12 7 Отражение от ГНК расположено чуть выше отметки 2 сек. По [Ч. Пейтон \(10\)](#).

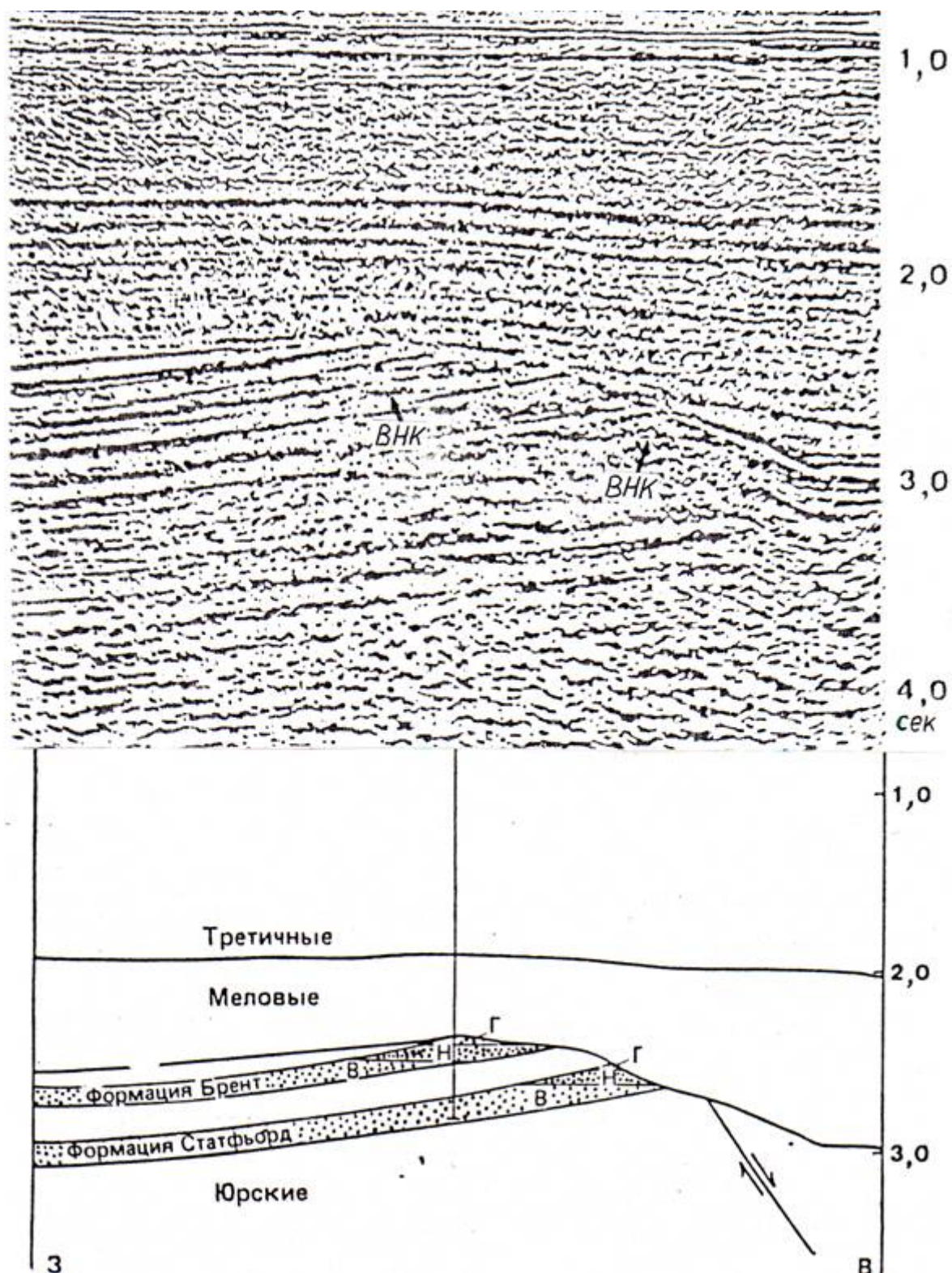


Рис. 12. 8. Два отражения от ВНК в двух песчаных коллекторах. По [П. Кири \(8\)](#).

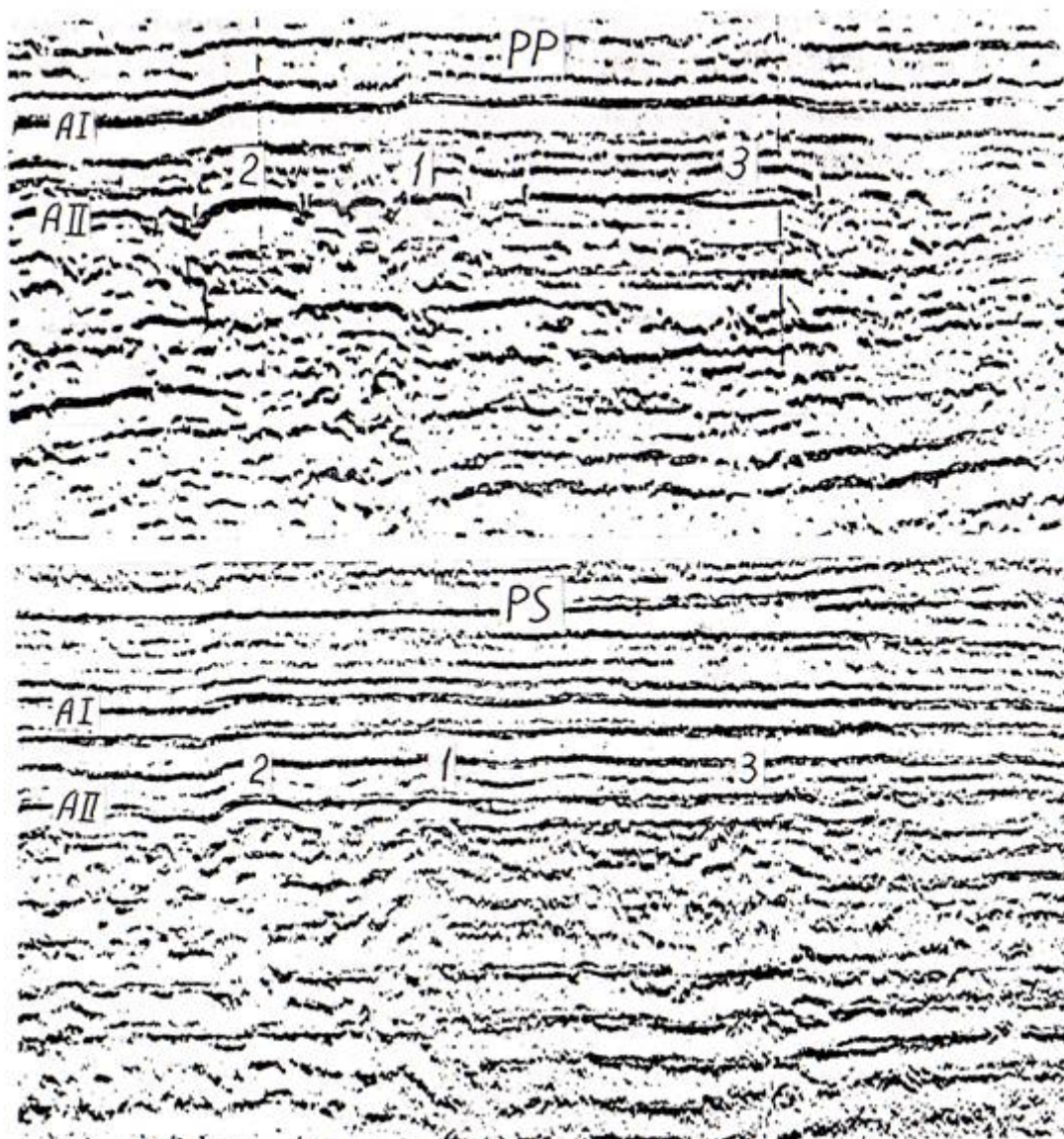


Рис. 12.9. Временной разрез по продольным П П и поперечным ПС волнам через Гривенскую (1), Южно Гривенскую (2) и Северо Гривенскую (3) складки с газонасыщенными коллекторами. По [Алексину А.Г. \(1\)](#).

4. Кровля залежи чаще всего представляет собой границу, при пересечении которой акустическая жесткость уменьшается. Поэтому отражение имеет обратную полярность по сравнению с отражениями от

того же коллектора, но заполненного водой. На разрезе полярности это хорошо видно, особенно, если залежь газовая (Рис. 9.6).

5. Поперечная волна не распространяется через газы и жидкости, в т.ч. через углеводороды. Поэтому на разрезе, построенном по поперечным или обменным PS волнам, залежь 1 выглядит иначе, чем на разрезе, построенном по продольным PP волнам (Рис. 12.9). Залежи 1 и 3 никак не проявляются по PS волнам, как и «светлое пятно» над залежью 2.

6. В пределах некоторых районов залежь может иметь в сейсмических материалах индивидуальные признаки, как видно на Рис. 12.10.

Залежь обладает повышенным электрическим сопротивлением и повышенной поляризуемостью. Метод зондирования становлением в ближней зоне (ЗСБЗ) реагирует на эти оба параметра. Поэтому, несмотря на небольшие размеры залежи, она может быть выделена по материалам этого метода (Рис. 12.11) на глубине до 4 км.

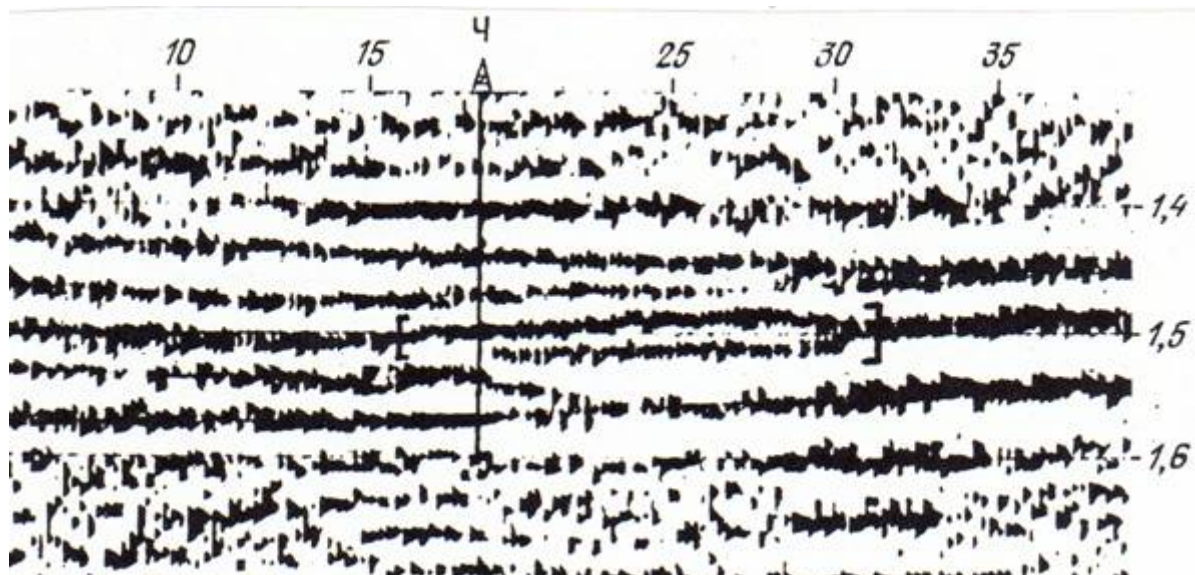


Рис. 12. 10. Подобное раздвоение отражения служит признаком залежи нефти в данном районе. По Ш.З.Хусаинову.

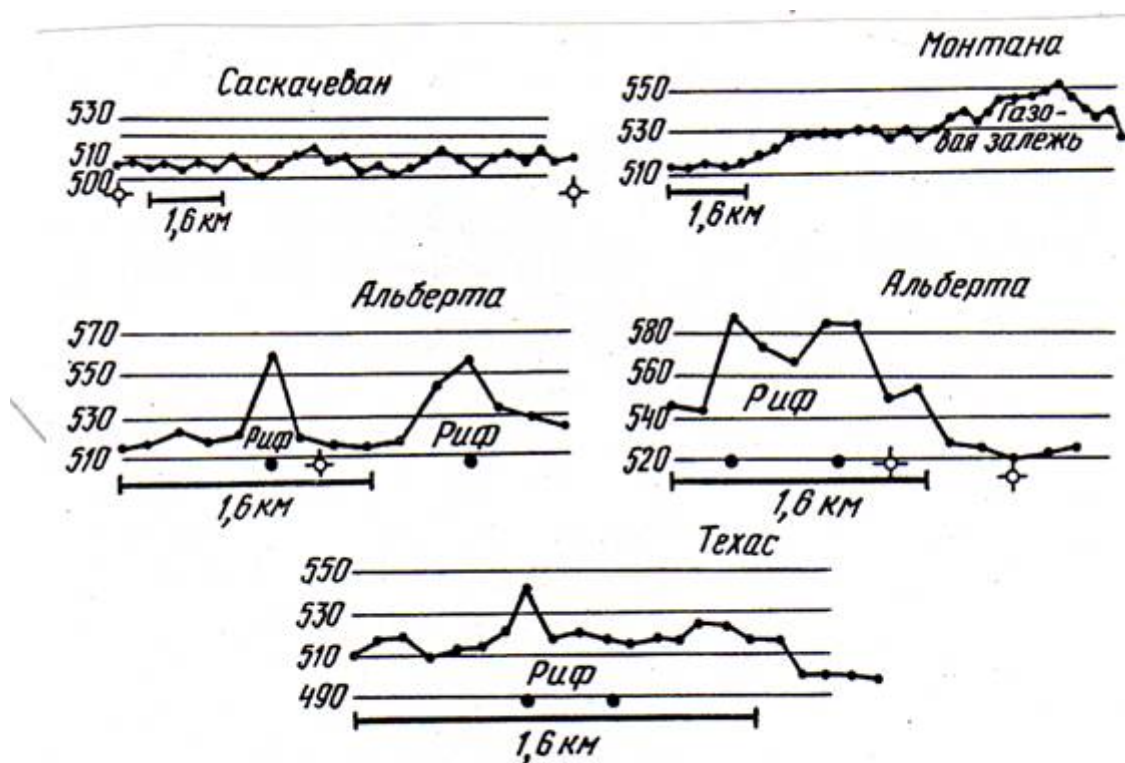


Рис. 12. 11. Положительные аномалии в материалах ЗСБЗ, связанные с залежами нефти и газа.

Над залежами нефти и газа формируются скопления ферромагнетиков среди практически немагнитных по сравнению с ними осадочных пород. Поэтому эти ферромагнетики отражаются в магнитном поле и могут, после соответствующего разделения аномалий от различных объектов, служить признаками залежей. Более того, в результате пересчета поля в нижнее полупространство, удастся прогнозировать глубины расположения двух этажей залежей (Рис. 12.12).

Участки коллектора, заполненные более легкими, чем вода, нефтью и газом, вызывают появление отрицательной аномалии в поле силы тяжести на фоне положительной аномалии от антиклинали (Рис. 12.13).

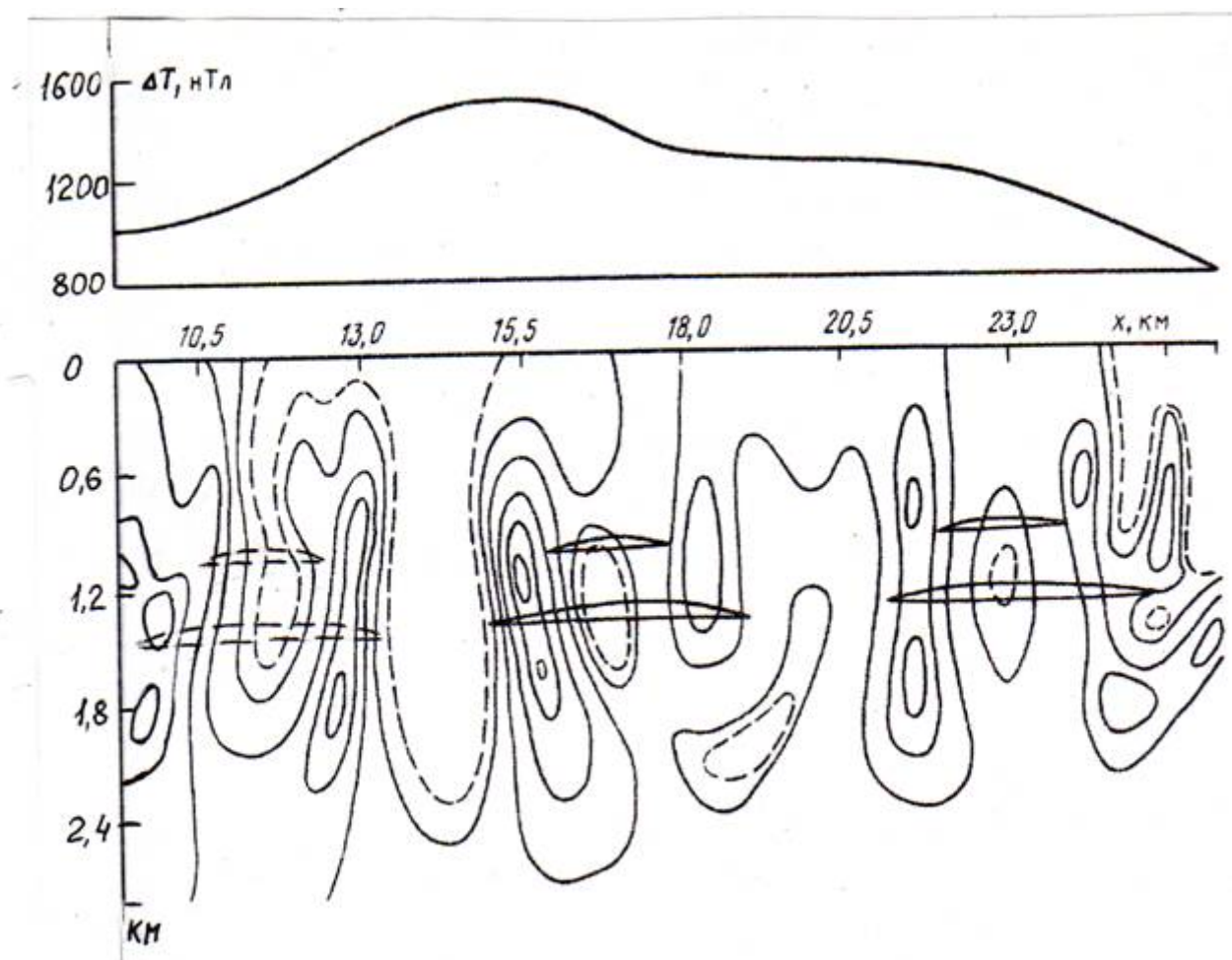


Рис. 12.12. Пример обработки кривой ΔT методом полного градиента по профилю, проходящему через месторождение нефти (Татария). По [В.М. Березкину, И.Ф. Дорофееву \(4\)](#).

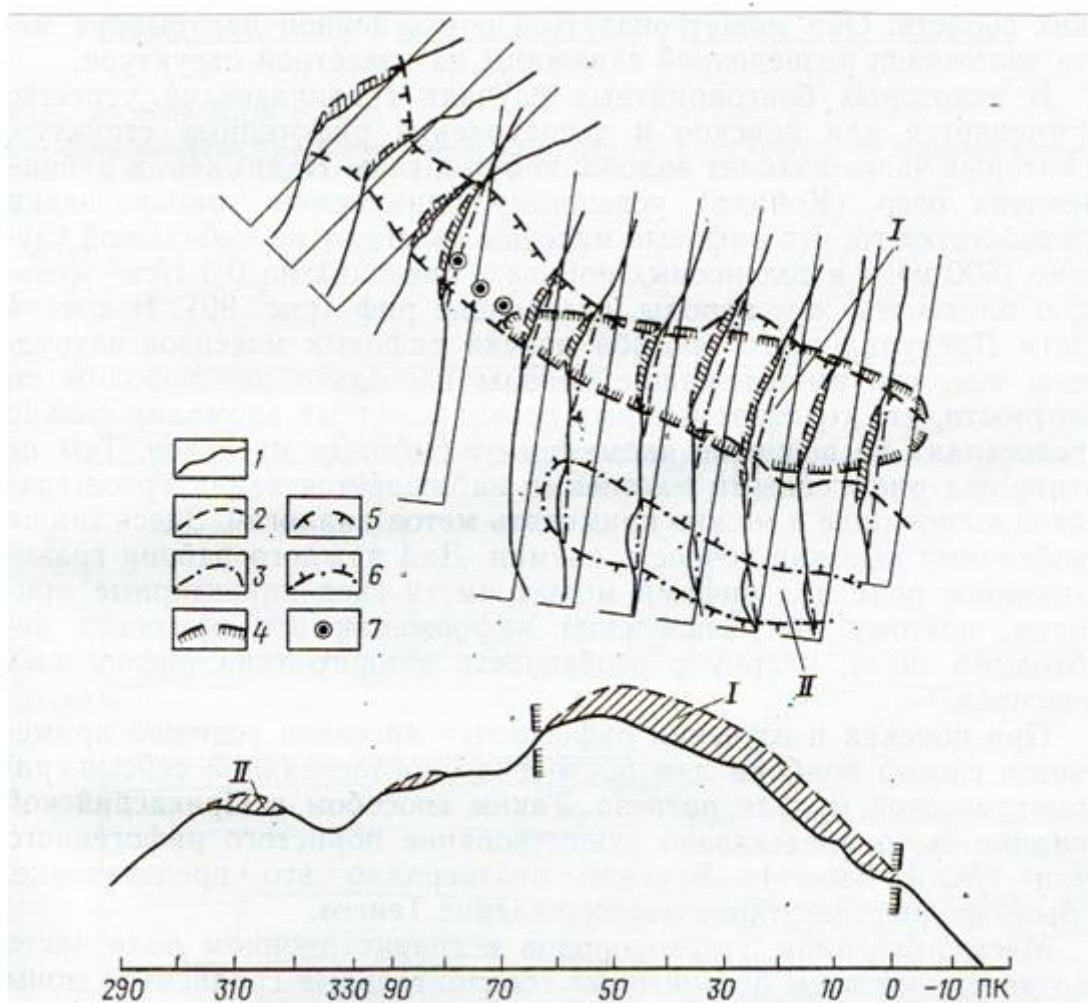


Рис. 12.13. Аномалия Буге на месторождении Жетыбай (I) и Южно-Жетыбай (II). По В.А.Попову и И.Н.Михайлову. 1 – наблюдаемые аномалии Буге ; 2 – восстановленная положительная аномалия; 3 – региональный фон; 4 – контур нефтегазоносности по данным бурения; 5 – контур локальной отрицательной аномалии; 6 – контур предполагаемой структуры II по данным гравirazведки; 7 – разведочные скважины, пробуренные после проведения гравirazведочных работ.

Подобные данные об особенностях изменения поля силы тяжести можно использовать, только имея сейсмические данные об антиклинальных структурах. Опираясь на эти данные, удастся выделить в материалах гравirazведки прогибы вблизи аномалий силы тяжести над антиклиналями. Подобные материалы позволили продлить положение контура нефтеносности, что было подтверждено бурением. Кроме того, здесь же была выделена вторая продуктивная структура типа вала.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО КУРСУ -20 БИЛЕТОВ ПО 3 ВОПРОСА.

Билет №1.

1. Для чего применяют фильтрацию и группирование сейсмоприемников?
2. От чего зависит скорость распространения упругих волн в горной породе?

3. По каким признакам можно обнаружить циклиты в сейсмических материалах? Для чего нужно обнаруживать циклиты при поисках нефти и газа?

Билет №2.

1. Что такое спектр? Каковы формы сейсмических импульсов, создаваемых взрывом и вибратором? Каковы их спектры?
2. Способы определения скорости в породах разреза.
3. По каким признакам можно обнаружить шероховатую (эродированную) поверхность среди других отражающих поверхностей? Что дает обнаружение поверхности эрозии для поисков нефти и газа?

Билет №3.

1. Каков характер изменения формы и спектра сейсмического импульса, прошедшего от 1 до 50 км, по породам разреза?
2. От чего зависит поглощение упругих колебаний в породах?
3. Каков физический смысл действительной и мнимой составляющих сейсмического колебания? Какая из них регистрируется при полевых наблюдениях?

Билет №4.

1. В каких геологических объектах происходит наиболее сильное затухание высокочастотной части спектра импульса сейсмической волны?
2. Что такое разрешающая способность сейсморазведки по горизонтали? По вертикали? Как их вычислить?
3. Чем отличается мгновенная амплитуда от амплитуды сейсмической записи? Какую геологическую информацию можно получить, вычислив мгновенную амплитуду?

Билет №5.

1. Как определить период и преобладающую частоту сейсмического импульса, имея запись формы импульса? Чему могут быть равны преобладающие частоты импульсов прямой, отраженной и головной волн?
2. Какими способами можно улучшить разрешающую способность сейсморазведки?
3. Что такое мгновенная фаза? Мгновенная частота? Какую дополнительную информацию о геологическом разрезе можно получить из разрезов мгновенной фазы и мгновенной частоты?

Билет №6.

1. Каким способом можно сократить длину сейсмического импульса? Для чего это нужно?
2. На сколько и почему отличается разрешающая способность сейсморазведки при работе на суше и на море?
3. Как выполняются наблюдения при вертикальном сейсмическом профилировании? Каковы возможности и преимущества ВСП?

Билет №7.

1. Что такое поправки за зону малых скоростей? Какие данные используют для расчета этих поправок?
2. Какие способы миграционных преобразований вы знаете? В каких случаях применяется каждый из них?
3. Какую информацию о геологическом разрезе можно получить с помощью вертикального сейсмического профилирования?

Билет №8.

1. Как вычисляют кинематическую поправку? Во что превращается годограф отраженной волны после внесения кинематической поправки?
2. Чем могут быть вызваны ошибки миграции? Как их можно исправить?
3. Как используют данные вертикального сейсмического профилирования при обработке и интерпретации материалов наземной сейсморазведки?

Билет №9.

1. Как располагаются источники и приемники? Каковы преимущества работы по МОГТ?
2. В каких случаях применяются площадные сейсмические наблюдения?
3. Роль вертикального сейсмического профилирования на этапе разведки и эксплуатации залежей нефти и газа?

Билет №10.

1. Для какой цели применяется группирование приемников и фильтрация?
2. Какие виды площадных сейсмических наблюдений вы знаете? В чем их преимущества и недостатки?
3. Каковы результаты применения МОГТ?

Билет №11.

1. Для чего применяется группирование приемников?
2. Что такое циклиты? Какие виды циклитов вы знаете? Как они отражаются в физических свойствах и размерах пачек пластов?
3. Признаки залежей углеводородов в материалах сейсморазведки, гравиразведки, магниторазведки и электроразведки?

Билет №12.

1. Что такое фронт волны и луч?
2. Что такое спектр? Каковы формы сейсмических импульсов, создаваемых взрывом и вибратором? Каковы их спектры?
3. Как вычисляют кинематический сдвиг? Во что превращается годограф отраженной волны после внесения кинематической поправки?

Билет №13.

1. Закон Снеллиуса . Какие волны образуются при падении продольной волны на границу? Что такое явление бмена?
2. Каким способом можно сократить длину сейсмического импульса? Для чего это нужно?
3. В каких случаях применяют площадные сейсмические наблюдения?

Билет №14.

1. Что такое поправки за ЗМС ? Какие данные используют для расчета поправок за ЗМС?
2. В каких случаях применяются площадные сейсмические наблюдения?
3. Что такое мгновенная фаза? Мгновенная частота? Какую дополнительную информацию о геологическом разрезе можно получить из разрезов мгновенных фаз и мгновенной частоты?

Билет №15.

1. Как располагаются источники и приемники при работе методом общей глубинной точки? Каковы преимущества работы по МОГТ? Какую информацию получают в результате обработки данных по МОГТ?
2. От чего зависит скорость распространения упругих волн в горной породе?
3. Результаты применения деконволюции?

Билет №16.

1. Какую форму имеют годографы отраженной, головной, рефрагированной и дифракированных волн?
2. Четыре основных результата обработки сейсмических данных по методу общей глубинной точки?
3. Для чего необходимо сократить длину импульса ОВ? Как это выполняется ? Что такое кареллограмма?

Билет №17.

1. Каким образом разрушаются годографы частично-кратных отраженных волн и волн Релея при обработке по МОГТ?
2. Какую геологическую информацию получают в результате подавления частично-кратных отраженных волн?
3. Как меняются формы импульсов упругих колебаний и их спектров по мере удаления от взрывного источника? На каких геологических объектах эти изменения особенно сильны?

Билет №18.

1. Природа и характер волны Релея. Способы борьбы с нею?
2. Какие факторы влияют на плотности и скорости в породах?
3. Как сейсмический снос искажает синклинали и антиклинали, выпуклые и вогнутые участки ломаных отражающих границ?

Билет №19.

1. Что такое дифракционное преобразование? Для чего оно выполняется, какие у него преимущества и недостатки?
2. Природа и характер волны Релея. Способы борьбы с нею?
3. Как можно улучшить разрешающую способность сейсморазведки?

Билет №20.

1. Преимущество и возможности вертикального сейсмического профилирования?
2. Системы наблюдений и процедура обработки сейсмических данных по методу общей глубинной точки?
3. Какую геологическую информацию можно получить, построив разрезы мгновенной амплитуды, частоты, фазы и разрез полярности?

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМАМ.

Тема № 1. Изучение сейсмической записи.

Задание : На полученной ленте найдите два годографа волн, отраженных от границ, расположенных на различной глубине.

Постройте на миллиметровке эти два годографа.

Рассмотрите формы импульсов выбранных сейсмических волн. Сколько максимумов и минимумов у каждого из этих импульсов.

Тема № 2. Изучение сейсмических импульсов.

Задание: Сравните формы импульсов прямой, отраженной, Релеевской поверхностной волн. На каком из этих импульсов больше максимумов и минимумов?

Для каждого импульса измерить период T (сек).

Вычислить преобладающую частоту для каждого из импульсов по формуле $f = 1/T$ сек.

Составьте таблицу, где укажите T , f и число максимумов n для импульсов каждого из приведенных типов волн. Рассчитайте $\lambda = VT$ и длительность импульса $L = nT$. Эти параметры также внесите в таблицу.

Постройте форму и спектр импульса в соответствии с [рисунком 2.12](#).

Тема № 3 Вычисление кинематической поправки для годографа ОВ.

Задание: Вычислите кинематическую поправку для годографа ОВ, построенного в теме №1.

По результатам вычислений постройте отражающую границу.

Тема № 6 Поправка за сейсмический снос (миграция).

Задание: Методом общих касательных к дугам окружностей восстановить истинное положение плоскости сместителя взброса; восстановить форму синклинали по заданной петле; восстановить форму дифрагирующего объекта по годографу дифрагированной волны.

Показать результаты миграции на подобных объектах на [рисунке 6.6](#) и [6.7](#).

Остальные задания для самостоятельной работы по темам заключаются в изучении иллюстраций и ответы на вопросы, изложенные в методических указаниях для студентов.

Список литературы лекций

1. А.Г.Авербух, А.В. Николаев. Сейсмические свойства горных пород и геологических толщ. П.Г.Гильберштейн. Верхняя часть разреза. В кн. Сейсморазведка. Кн. 1. В.Б.Левянт. Статические поправки, кн. 2. Москва, 1990г.
2. А.Г.Авербух, Б.С.Ганов, И.А.Клигер. Факторы, определяющие петрофизические свойства пород;. Факторы, определяющие типы интерпретационных моделей. В кн. Интерпретация данных сейсморазведки. Москва, 1990 г.
3. В.И. Бондарев. Основы сейсморазведки. Екатеринбург, 2003г.
4. Е.И. Гальперин. Вертикальное сейсмическое профилирование. Москва, 1982г.
5. В.М. Добрынин, А.В. Городков. Использование геофизических технологий при разработке нефтяных месторождений. Геофизика №2 . Москва, 2005г.
6. Е.В. Карус, К.Е. Веселов, А.А. Пудовкин, К.А. Совинский. Пути развития и совершенствования геофизических методов поисков месторождений нефти и газа на больших и сверх больших глубинах. В сб. Прикладная геофизика, вып. 131. Москва , 1994г.
7. Г.Г. Кассин. Комплексирование геофизических методов при поисках месторождений нефти и газа. Екатеринбург, 1995г.
8. П. Кири, М. Брунс. Введение в геофизическую разведку. Москва, 1988г.
9. И.А. Мушин. Структурно формационная интерпретация сейсмических данных. Москва, 1990г.
10. Н.С. Нейдель и Э.Поджиаглиолми. Геофизическое обоснование и методика сейсмостратиграфического моделирования и интерпретации. В кн. Сейсмическая стратиграфия, том. 2. Москва, 1982г.
11. А.В.Овчаренко, А.С.Сафронов, А.Е. Шлезингер, Е.П. Атяшева, М.Т. Бондаренко. Методические приемы интерпретации геофизических материалов при поисках, разведке и освоении месторождений углеводородов. Москва, 2002г.
12. А.С. Сафронов, Л.П. Дунаева. Ю С. Корольков, А.Г. Семяшкин, М.В. Страхаль. Физико-генетическая модель - основа прогноза высокоперспективных зон нефтегазоносности. В сб. Прикладная геофизика, вып. 131..Москва, 1994г.
13. Б.А. Соколов. Новые идеи в геологии нефти и газа. Москва, 2001г.
14. М.Т. Танер, Р.Е. Шерифф. Использование амплитуды, частоты и других параметров при стратиграфическом анализе и выявлении углеводородов. В кн. Сейсмическая стратиграфия, том 2. Москва 1992г.

15. Р.Е.Шерифф. Ограничения разрешающей способности сейсморазведки и детальность получаемой геологической информации. В кн. Сейсмическая стратиграфия, том 2.

Список литературы практических занятий

1. *Алексин А.Г., Гогоненков Г.М.* и др. Методика поисков залежей нефти и газа в ловушках сложно экранированного типа. – М., 1992.
2. *Баллод С.А.* Повышение разрешающей способности сейсмических разрезов за счет деконволюции // Геология нефти и газа. – 1990. – № 5.
3. *Белов Р.В.* Опыт комплексного сейсмофациального анализа данных МОГТ и КМПВ // Геология нефти и газа. – 1990. – № 3.
4. *Березкин В.М., Дорофеев И.Ф.* Новые возможности аэромагниторазведки при поисках нефти и газа // Прикладная геофизика. – М., 1994.
5. *Веселов К.Е.* Гравиметрическая съемка. – М., 1986.
6. *Галаган Е.А., Тальвирский Д.Б.* Поиски и подготовка неантиклинальных ловушек в терригенных отложениях // Комплексирование методов разведочной геофизики. – М., 1984.
7. *Жданович В.В.* Обработка и интерпретация материалов пространственной сейсморазведки // Геология нефти и газа. – 1990. – № 7.
8. *П. Кири, М. Брунс.* Введение в геофизическую разведку. – М., 1988.
9. *Матвиевская Н.Д., Тальвирский Б.Б.* Поиски и подготовка структурно-литологических ловушек, связанных с погребенными рифами // Комплексирование методов разведочной геофизики. – М., 1984.
10. Сейсмическая стратиграфия. т. 2 / Под ред. Ч. Пейтон. – М., 1982.
11. Интерпретация данных сейсморазведки / Под ред. О.А. Потапова. – М., 1990.
12. *Ревякин П.С., Бродовой В.В.* Высокоточная магниторазведка. – М., 1996.
13. *Тяпкин Ю.К.* Особенности использования мгновенных динамических характеристик записи в сейсморазведке // Сеймостратиграфические исследования в СССР. – М., 1982.
14. Методические рекомендации по применению ОГТ. т. 1 / Под ред. А.К. Урупова. – М., 1975.
15. *Хведчук Н.И.* Прогнозирование нефтегазоносности на акваториях // Геология нефти и газа. – М., 1989. – № 6.
16. *Шериф, Геларт.* Сейсморазведка. Т. 1, 2. – М., 1982.
17. *Bally A.W.* Atlas of seismic stratigraphy, Tulsa, Oklahoma, USA.

18. *Hardage Bob A.* Seismic stratigraphy I. London, Amsterdam, 1987.
19. *Mike Badley.* Practical seismic Interpretation. Bogotá, 1988.
20. *Schramm M.W.* Practical stratigraphic modelling and interpretation. Tulsa, 1977.

МЕТОДИКА ДЛЯ СТУДЕНТОВ

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ ПОНИМАНИЯ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ВОПРОСЫ К МАТЕРИАЛАМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.

Геофизика отличается от других геологических наук тем, что ее бессмысленно заучивать, но необходимо понимать. Для этого потребуются знания физики, математики, радиотехники и, разумеется, геологии как фундамента всех геологических наук. От студента потребуется в первую очередь понять, какую геологическую информацию, каким способом и при каких условиях можно извлечь из результатов каждого геофизического метода при решении каждой геологической задачи. Учебник «ПОЛЕВАЯ ГЕОФИЗИКА» это попытка помочь в этом будущему геологу – нефтянику.

Рассмотрим темы учебника и соответствующие им практические занятия.

Тема I знакомит вас с принципами комплексирования различных геофизических методов и применением этого комплекса при региональных исследованиях. На значительной части территории земли выполняются уже детальные поиски, но из знакомства с введением видно, что на Земле есть еще обширные территории, перспективы нефтегазоносности которых оцениваются и на них предстоит выполнять региональные исследования.

Геофизика – это точная наука. Поэтому необходимо добиться полного понимания

Темы II, где очень кратко излагаются основы теории сейсморазведки. Без понимания этого раздела дальнейшее изучение предмета будет сильно затруднено и окажется неглубоким. Необходимо понять особенности распространения продольных и поперечных волн, особенности волны Релея, разобраться во всех следствиях закона Снеллиуса. Формулу для коэффициента отражения необходимо помнить наизусть, т.к. иначе не понятны будут некоторые последующие разделы. Понятие о явлении дифракции лежит в основе понимания разделов «горизонтальная разрешающая способность сейсморазведки» и «миграционные преобразования».

Над некоторыми из вопросов для самопроверки необходимо подумать, прямых ответов на них в тексте лекций вы не найдете.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

- 1 Возможно ли без знания принципа Ферми понять закон Снеллиуса и определение годографа?
- 2 Какие сведения о разрезе можно получить из анализа годографов РВ?
- 3 Почему на разрезе, построенном по поперечным волнам, нельзя увидеть признаков скоплений углеводородов?
- 4 Какую форму имеют годографы отраженной, головной, рефрагированной, дифрагированной и Релевской волн?

Тема III. Поправка за литологическую неоднородность в породах зоны малых скоростей (ЗМС) вносится, чтобы исправить искажения годографов всех волн, получить возможность вычислять по ним скорость в пройденных ими породах и строить разрез. В этом разделе надо особо отметить и запомнить, что наклонные лучи ОВ, приходящие снизу сквозь породы, в которых скорость падает с приближением к дневной поверхности, преломляясь, проходят ЗМС практически вертикально. Головные же волны, возникшие на подошве ЗМС, проходят ее наклонно, под критическим углом, что создает ошибки при вычислении поправок за ЗМС.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

- 1 Что может служить подошвой ЗМС?
- 2 С какой особенностью строения ЗМС связаны искажения годографов ОВ?
- 3 Какие осложнения при изучении разреза вызывают низкочастотные и высокочастотные составляющие погрешности вычисления поправок за ЗМС?

Тема IV. Метод общей глубинной точки (МОГТ).

В зарегистрированной волновой картине имеются однократно отраженные волны и гораздо большее количество частично-кратных ОВ. Они не позволяют видеть на временном разрезе все непротяженные неоднородности: разрывную тектонику, локальные геологические тела и пр. Для устранения частично-кратных волн-помех создан МОГТ. Вам необходимо понять систему наблюдений для МОГТ, позволяющую увеличить интенсивность однократных ОВ и сильно ослабить частично-кратные помехи. После их устранения на разрезе можно видеть не только складчатость, но и изменение строения пачек в латеральном направлении, динамику и протяженность отражений, локальные геологические тела и локальные искривления границ, например речные врезы.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ:

- 1 Перечислите четыре основных результата применения МОГТ.
- 2 Почему частично-кратные ОВ имеют меньшие скорости, чем однократные ОВ?
- 3 При каких условиях удается сильно уменьшить интенсивность частич-кратных помех?
- 4 Что происходит с волной Релея при суммировании по МОГТ?

ВОПРОСЫ К ИЛЛЮСТРАЦИЯМ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ №5.

Рис. 5.1.

1. Покажите ход лучей однократно и частично кратных ОВ.
2. Каков результат суммирования всех импульсов многократных отражений от общей глубинной точки?
3. Какими двумя параметрами отличаются друг от друга однократные и частично-кратные ОВ?
4. Каким образом разрушаются годографы частично-кратных ОВ и волн Релея?

Рис. 5.7.

1. Как называются линии , заполняющие всю площадь «рядов» (рис.5.7.1) и всю площадь временного разреза (рис. 5.7.2).
2. Почему на рисунке 5.7.3 глубже 2,5 сек отсутствуют однократные ОВ?

3. Какой физический смысл линии, проведенной через максимумы однократных ОВ?

[Рис. 5.3.](#)

1. Какую геологическую информацию можно получить из материалов МОВ?
2. Какую геологическую информацию стало возможным получить после удаления частично-кратных помех?

[Рис. 5.4.](#)

Как получают приближенную зависимость скорости от глубины методом сканирования по скоростям? В каком случае и для чего это используется?

[Рис. 5.5.](#)

Из каких соображений выбирают минимальные и максимальные расстояния источник-приемник в системах наблюдения МОГТ?

[Рис. 5.2.](#)

1. Что такое спектр скоростей?
2. Найдите максимумы АΣ, соответствующие однократным и частично-кратным ОВ.
3. Как определить приблизительную глубину, где происходили частично-кратные отражения по положению соответствующих им максимумов спектра скоростей?
4. Как различить годографы однократных и частично-кратных ОВ в материалах правой части рис. 5.2?

[Рис. 5.6.](#)

Какая новая информация появилась на рис. 5.6б после обработки сейсмического материала по МОГТ?

[Рис. 5.8.](#)

Почему после применения МОГТ стали прослеживаться отражения К и П₁?

Тема V. Сейсмические колебания и их спектры. Деконволюция

1. Что такое единичная функция или функция Дирака?
2. Как можно посчитать спектр единичной функции? Что такое фазовый спектр? Что такое 0 – фазовая функция?
3. Каково соотношение между длиной функции и шириной ее спектра – на примере единичной функции и гармонического колебания (синусоиды)?
4. Что происходит со спектром упругой волны при ее движении по породам разреза? В каких геологических объектах подобные изменения происходят особенно сильно?
5. Какова форма и спектр Свип-сигнала, создаваемого вибратором?
6. Для чего необходимо сократить длину импульса упругой волны? Как это достигается? Что такое функция взаимной корреляции и кореллограмма?

Тема VI. Помехи и борьба с ними.

1. Каковы особенности природы поверхностной волны Релея, делающие ее основной помехой приему ОВ?
2. Какая особенность волны Релея по сравнению с ОВ позволяет сильно ослабить ее с помощью фильтра высоких частот и какая особенность позволяет ослабить ее с помощью группирования?
3. Что такое статистическая группа приборов? Как вычислить ослабление ею случайных помех?

Тема VII. Геологические факторы, влияющие на скорость и плотность пород.

1. Как плотность и скорость зависит от минерального состава и пористости пород?
2. Какое явление изменяет скорость в глинистом веществе от 1,1 до 4,2 км/сек?
3. Что может изменить скорость в газе от 0,3 до 0,6 км/сек, а в нефти от 1,3 до 1,7 км/сек?
4. У какой породы скорость меньше чем у всех остальных пород? Почему?
5. Как, почему и в какой степени меняется скорость и плотность в различных породах с ростом глубины и возраста? Как влияет на это изменение газонасыщенность и нефтенасыщенность?
6. Какова связь скорости с плотностью в осадочных породах?
7. Изменится ли скорость поперечных волн в породах в связи с их газо- и нефтенасыщенностью?
8. Каким способом выполняется самое точное определение скоростей в породах?
9. Какими параметрами оценивается поглощение упругих колебаний в породах?

Тема VIII. Миграционные преобразования сейсмических данных.

1. Что такое сейсмический снос? От чего зависит его величина?
2. Как истинное и кажущееся положения точек отражений связаны с фронтом падающей волны и с годографом дифрагированной волны?
3. Что такое миграционный оператор?
4. Как выполняется восстановление положения отражающей границы методом общих касательных?
5. Как сейсмический снос искажает выпуклые и вогнутые части ломаных границ, антиклинали и синклинали? Как называются эти искажения?
6. Условие формирования петли?
7. Опишите смысл и процедуру упрощения волнового уравнения.
8. Как выполняются дифракционные преобразования сейсмического материала с целью восстановления искаженного разреза? Для каких границ дифракционное преобразование не дает хороших результатов и почему? Какие разрезы дифракционное преобразование восстанавливает наиболее эффективно?
9. Опишите способы миграции их преимущество и недостатки.
10. Для каких особенностей разреза применяют миграцию путем моделирования лучевых траекторий?
11. Какие ошибки миграции вызывают преломление лучей на промежуточной границе? Опишите способы глубинной миграции.

Тема IX. Разрешающая способность сейсморазведки.

1. Что такое вертикальная разрешающая способность сейсморазведки? Как она зависит от длины волны?
2. При каких условиях вертикальная разрешающая способность сейсморазведки может быть меньше, чем $0,25\lambda$?

3. От какого параметра сейсмической волны, который можно изменить, зависит разрешающая способность сейсморазведки?
4. Что такое горизонтальная разрешающая способность? Как ее вычислить? От какого параметра сейсмической волны, который можно изменить, она зависит?
5. Какова роль дифрагированной волны в ограничении горизонтальной разрешающей способности сейсморазведки?
6. Какие существуют способы улучшить разрешающую способность сейсморазведки? Почему на море она лучше, чем на суше?

Тема X. Вертикальное сейсмическое профилирование. (ВСП).

1. Где происходит регистрация волн при ВСП?
2. Что определяет преимущества изучения разреза при ВСП по сравнению с профилированием на дневной поверхности?
3. Что такое поляризационные наблюдения?
4. Перечислите и объясните десять преимуществ ВСП?
5. Какой главный геологический результат применения ВСП?
6. Почему по материалам ВСП можно получить лучше результат деконволюции, чем по материалам поверхностной техники?

Тема XI. Площадные наблюдения.

1. В каких случаях необходимо применять площадные наблюдения?
2. Как расположатся на глубине точки отражения, если профиль с источниками и приемниками на нем разместить например вдоль берега озера?
3. Какую систему наблюдений применяют при площадных работах на море и почему?
4. Приведите 3-4 примера геологических задач, которые можно решить только с помощью площадных наблюдений?

ВОПРОСЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ №8.

1. Каковы особенности распределения кратности прослеживания отражений при наблюдениях на слаломной трассе, замкнутом полигоне, широком профиле?
2. Покажите на результатах выполнение заданий 1 и 2, в каких направлениях можно построить серии параллельных разрезов для объемного изучения структур.
3. Какие геологические результаты можно получить построив серию горизонтальных срезов? Приведите примеры.
4. Из каких элементов (результатов площадных наблюдений) можно построить объемное изображение геологического объекта (куб)? Как выбирают эти элементы из множества подобных, друг другу элементов?

Тема XII. Спектрально волновой анализ(СВАН)данных сейсморазведки.

1. Какими геологическими особенностями характеризуются пачки пластов, отложившихся при трансгрессии и регрессии моря? Как эти особенности определяют чередование физических свойств пород и коэффициентов отражения от границ между пластами?
2. Как спектр отражения зависит от толщины пласта от границ которого происходят отражения?

3. Как меняются спектры отражений от границ пластов в пачке рециклитов и в пачке проциклитов?
4. Что такое сван-колонка? Как выглядят на ней шероховатые и матовые границы?
5. Приведите примеры решения геологических задач с применением СВАН – анализа.

Тема XIII. Мгновенные параметры.

1. Каков физический смысл действительной и мнимой частей комплексного представления сейсмической волны? Какую из этих частей регистрирует сейсмоприемник?
2. Как можно вычислить мгновенную амплитуду, мгновенную частоту и мгновенную фазу?
3. В чем разница между амплитудой колебаний, зарегистрированной приемником и мгновенной амплитудой? Какие геологические объекты, особенности отражающих границ и литологического состава пластов можно проследить на разрезе мгновенной амплитуды?
4. Каким основным свойством обладает мгновенная фаза? Приведите пример решения геологических задач с помощью разреза мгновенных фаз?
5. Какая особенность изменения физических параметров в породах при пересечении границы приводит к смене полярности колебаний?
6. В какой геологической обстановке можно наблюдать самую высокоамплитудную смену полярности?
7. В каких геологических объектах сильнее всего изменяется спектр отражения? Как и для чего можно использовать это явление?
8. Как отражается выклинивание пласта на разрезе мгновенных частот?

ВОПРОСЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ №9.

1. Почему только разрез мгновенных фаз позволяет точно проследить границу несогласия?
2. Почему от кровли газовой залежи наблюдается наибольшая амплитуда отражения?
3. Какая разница между отражениями от кровли газовой залежи и от ее подошвы на разрезах мгновенной амплитуды, мгновенной частоты и полярности?
4. Почему над рифом (разрез из Западной Канады) меняется амплитуда отражения от перекрывающего его пласта?
5. Где легче и точнее можно обнаружить тело рифа на участке Западная Канада – на разрезе мгновенной амплитуды или мгновенной фазы?
6. Сравните разрез мгновенной амплитуды ([рис. 9.9](#)) и мгновенной фазы ([рис. 9.10](#)). Какой геологический объект можно наблюдать в средних частях разрезов? Почему на разрезе мгновенной амплитуды он шире, чем на разрезе мгновенной фазы? В каком направлении происходило смещение блока?
7. Сравните разрезы на [рис. 9.11](#), [9.12](#), [9.13](#) и [9.14](#). Где лучше всего видны тектонические зоны? Какая из них моложе? Какая тектоническая зона дробления может служить коллектором и удерживать скопление углеводородов? Сравните [рис. 9.13](#) и [9.14](#). Найдите наиболее толстые желтые и тонкие синие пласты на разрезе мгновенной частоты и убедитесь в соотношении их толщин на разрезе мгновенных фаз. Найдите на разрезе мгновенных фаз участки выклинивания пластов.

Тема XIV. Использование высокоразрешающей объемной сейсморазведки, данных ГИС и бурения для детального изучения сложнопостроенных резервуаров УВ.

1. Почему можно улучшить разрешающую способность сейсморазведки, применив площадные наблюдения?
2. Какой вклад в изучение разреза может внести электроразведка метода ВРЭ – ВП?
3. Какие признаки залежи можно обнаружить в данных ВРЭ-ВП?

4. Какова связь зон деструкции с дебитом скважин?

ВОПРОСЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ №11.

1. Приведите примеры обнаружения ловушек высокоразрешающей объемной сейсморазведкой.
2. Какова роль горизонтальных срезов при детальном изучении сложных структур?

Тема XV. Прямые поиски залежей углеводородов.

1. Как отличаются физические свойства пород на участке коллектора с залежью и во вмещающих породах? Какие аномалии физических полей наблюдаются над залежью?
2. Какова физика геологической причины появления аномалии магнитного поля над залежью?
3. Какова физико-геологическая причина появления аномалии поля сил тяжести над залежью?
4. Назовите девять возможных признаков залежи в материалах сейсморазведки?
5. Какие электрические параметры, связанные с залежью, используют методы ЗСБЗ и ВРЭ-ВП для ее обнаружения?

ВОПРОСЫ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗАНЯТИЮ №12.

1. Как отличить «светлое пятно» от «плоского пятна»?
2. Каковы условия появления «серого пятна» над залежью углеводородов?
3. По каким признакам можно опознать залежь, если имеется разрез по продольным и разрез по поперечным волнам?
4. По каким признакам пересчитанного вниз магнитного поля удалось обнаружить новые залежи нефти ([рис. 12.12](#))?
5. Какие признаки залежи углеводородов можно увидеть по аномалиям сил тяжести над положительными структурами?

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ

«Полевая геофизика» читается студентам третьего курса, когда будущие геологи уже привыкли преимущественно к описательным наукам, и точные науки даются им с трудом. От студента требуется понимание материала, его заучивание бессмысленно. Но для этого необходимы знания физики, математики, радиотехники и, разумеется, геологии как фундамента всех геологических наук, в том числе и геофизики. Поэтому только рациональная методика преподавания геофизики геологам может обеспечить усвоение ими этой науки, которая, особенно для геологов – нефтяников, оказывается на практике первым необходимым условием формирования грамотного специалиста, основным инструментом для решения задачи поиска, разведки и эксплуатации залежей углеводородов.

После знакомства с комплексированием геофизических методов на этапе региональных исследований для оценки перспектив нефтегазоносности и с этапом поисков перспективных участков для более детальных исследований, студент знакомится с главным из геофизических методов применяющихся при поиске и разведке залежей углеводородов – с сейсморазведкой, а в конце курса – с развевающейся электроразведкой, а также с применением всех геофизических методов при поисках возможных ловушек и при прямых поисках залежей углеводородов.

Изучение сейсмического метода начинается с знакомства с особенностями упругих сейсмических колебаний, спектром этих колебаний при взрывном воздействии и при использовании вибраторов. Спектры функций – новый для студента – геолога, трудный для понимания раздел. Вместе с тем, представление о спектре сейсмических колебаний готовит студента к пониманию важнейшего представления о разрешающей способности сейсморазведки, о спектрально – временном анализе

сейсмических данных и использовании мгновенных параметров для более глубокого анализа этих данных. Знакомство с понятием спектра начинается с простой механической модели, превращающей удар в серию гармонических колебаний, затем с понятием спектра единичной функции где иллюстрируется сложение синусоид для получения бесконечной величины в одной точке.

Понятие о породах разреза с различной степенью однородностей, о тектонических зонах, о эродированных геологических границах и о скоплениях углеводородов как фильтрах низких частот различной крутизны

объясняет связь этого понятия радиотехники с результатом взаимодействия упругих сейсмических колебаний с этими элементами геологического разреза и, наконец, представление о пласте как о фильтре пропускающем участок спектра отраженной волны, для которой толщина пласта равна половине длины волны, позволяет понять процесс обнаружения проциклитов и рециклитов, а также пластов различной толщины и зоны выклинивания пластов на разрезе мгновенной частоты.

Представление о спектрах упругих колебаний позволяет лучше понять характер и причины потерь сейсмической информации в зоне малых скоростей; преимущество морской сейсморазведки перед сейсморазведкой на суше; процесс преобразования сейсмической записи, именуемой деконволюцией; преимущества высокочастотной высокоразрешающей сейсморазведки и пр.

На практических занятиях для более глубокого усвоения студентом понятия спектра сравниваются формы импульсов прямой волны и волны Релея, отраженной и головной волны, прогнозируются соотношения спектров этих волн. Кроме того, студент должен увидеть разницу в параметрах продольной (прямой) и преимущественно поперечной (Релеевской) волн: меньший период продольной волны и меньшую скорость поперечной волны. При сравнении импульса отраженной волны, прошедшей по породам около 6 км с импульсом головной волны, прошедшей по породам около 70 км, студент должен понять, что с ростом пройденного пути волна теряет более высокочастотную часть своего спектра, ее преобладающая частота становится ниже, период больше, а длина импульса (т.е. длительность колебаний частиц почвы) растет. Таким образом, студент убеждается в свойствах пород как фильтрах низких частот.

В теме №12, посвященной спектрально – волновому анализу (СВАН), рассматриваются резонансные свойства слоя породы. Чем тоньше слой, тем более высокочастотная часть спектра падающей волны отражается от него. Это и есть основа СВАН – анализа, позволяющая выделить в разрезе пачки слоев, отложившихся во время трансгрессии (проциклит) и во время регрессии (рециклит). Здесь же излагается геологический смысл СВАН – анализа: выясняются условия осадконакопления, положения коллекторов и флюидоупоров. Результаты СВАН – анализа позволяют идентифицировать слои и пачки по обе стороны от разрывного нарушения или соляного купола, что позволяет проследить коллектор или продуктивный пласт по обе стороны от разделяющих их объектов.

Понятие спектра колебаний позволяет студенту также понять смысл мгновенных параметров, особенно разрезы мгновенной частоты, а также разреза затуханий.

Практическое занятие №3 готовит студента к пониманию процедуры обработки первичного сейсмического материала по методу общей глубинной точки (МОГТ). Введение кинематической поправки превращает годографы «рядов» в изображение отражающих границ временного разреза. Важно усвоение студентом того, что при этом время движения отраженной волны по реальным наклонным лучам заменяется на время движения по вертикальному лучу, проходящему через общую отражающую точку, что и позволяет построить временной разрез.

Результаты применения МОГТ иллюстрируются серией рисунков на практическом занятии №5. На них видно, что при наблюдениях МОВ весь разрез заполнен границами построенными по частично-кратным волнам, а после их удаления на разрезе ОГТ можно видеть динамику отраженных волн, выделять отражающие границы различной длины, изучать строение пачек в латеральном направлении. Результаты МОГТ позволяют изучать изменения скорости с глубиной, строить временные разрезы, удалять частично-кратные волны, увеличивать амплитуду отраженных волн.

Результаты применения фильтрации, группирования, деконволюции и миграции студент усваивает по многочисленным парам временных разрезов до и после применения соответствующей обработке материалов.

Понять особенности и возможности использования высокоразрешающей сейсморазведки и способы обнаружения комплексом геофизических методов ловушек и залежей углеводородов помогают студентам иллюстрации, приведенные в практических занятиях 10, 11, 12, которые усваиваются прочнее, если студент правильно ответит на имеющиеся там вопросы.

Понимание ряда тем связано с явлением дифракции. Знакомство с ней начинается в теме 2, а в практическом занятии №6 студент строит объект, создавший на сейсмической записи дугообразную линию.

Построение выполняется с помощью миграционного преобразования методом общей касательной к дугам окружностей. Эта общая касательная оказывается точкой. Студент должен вспомнить, что только в процессе дифракции точечный объект может вызвать появление протяженного параболического годографа.

При построении тем же способом миграции истинного положения отражающей плоскости сместителя тектонического нарушения студент

видит, что линия разрывов границ не совпадает с положением отражения от линии сместителя. Однако вместо многих разрывов границ здесь наблюдаются флексуры, и при этом на некоторых флексурах поднят левый блок, а на других правый, что в реальном случае невозможно. Отсюда можно сделать вывод, что волновые процессы исказили разрез. На самом деле часть мнимых флексур являются годографами дифрагированных волн от граней ступенчатой тектонической структуры.

Наиболее сложный случай использования явления дифракции – миграция с помощью дифракционного преобразования. Превращая годографы дифрагированных волн в изображение дифрагирующих объектов, дифракционное преобразование наилучшим образом восстанавливает разрез, сильно деформированный тектоникой и включающий границы, имеющий падение до 60°. Однако субгоризонтальные границы в этом случае изображаются хуже, чем при использовании других способов миграции.

Многочисленные пары мигрированных и не мигрированных временных разрезов с различными геологическими объектами в них, приведенные в практическом занятии №7, дают возможность студенту познакомиться со всеми видами искажений этих объектов. При этом студент должен самостоятельно определить, какой из них разрез мигрирован. В последних примерах студент сравнивает двухмерную, трехмерную миграцию. И, наконец, сравниваются результаты дифракционного преобразования с результатом миграции другим способом. Здесь видно, что изображение пачки субгоризонтальных пластов после дифракционного преобразования стало значительно хуже, чем до миграции.

БАЛЛЬНО-РЕЙТЕНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОСВАЕНИЯ СТУДЕНТАМИ КУРСА

Лекции 32 часа – 32 балла.

Отчеты по 12 практическим занятиям оцениваются по пятибалльной системе, всего до шестидесяти баллов.

В сумме студент может получить $32 + 60 = 92$ балла.

На экзамене студент может получить от 0 до 25 баллов.

Вопросы для самопроверки и обсуждений по темам изложены в методических указаниях для студентов.

Учебно-методический комплекс "Геофизические методы исследований и интерпретации данных".

Обязательный курс "Полевая геофизика". Излагается методика поисков и разведки залежей нефти и газа с помощью геофизических методов и обработка данных. Курс включает в себя как теорию, так и практические занятия.

Цель курса: после слушания лекций, выполнения практических работ и сдачи экзамена студент должен

а) знать возможности геофизических методов для решения геологических задач, связанных с поисками, разведкой и эксплуатацией залежей нефти и газа;

б) уметь правильно выбрать и сформулировать геологическую задачу для решения ее с помощью геологических методов;

в) грамотно оценить качество и полноту геофизических данных.

Задачи курса:

а) вызвать у студента-геолога профессиональный интерес к возможностям геофизических методов, снабдив по возможности как теоретическую часть, так и практические занятия примерами эффективного решения геологических задач с помощью геофизических методов;

б) познакомить будущих геологов с теоретическими основами геофизических методов в объеме, необходимом для понимания их возможностей при решении геологических задач;

в) познакомить студентов с помехами, осложняющими применение геофизических методов, с искажением или неоднозначностью геофизических материалов, методами устранения помех и приближением геофизического разреза к геологическому;

г) познакомить студента с методами обработки и анализа геофизических данных, необходимых для получения возможной полноты решения геологических задач;

д) добиться понимания студентом преимуществ комплекса геофизических методов для решения геологических задач.

Инновационность курса заключается в использовании последних достижений теории и практики применения геофизических методов, например в комплексировании сейсморазведки и электроразведки для углубления сведений о разрезе; повышении разрешающей способности сейсморазведки с помощью методики выделения наиболее мелких геологических объектов.

Для понимания современных способов обработки геофизических материалов студент выполняет вручную элемент такой обработки, например при пересчете годографа отраженной волны (ОВ) в изображение отражающей геологической границы, или вычисляет расположение точек отражения при площадных 3Д наблюдениях, выполненных вдоль замкнутых полигонов или вдоль параллельных профилей, получая сведения о кратности наблюдения при использовании таких систем профилей.

На временных сейсмических разрезах студент учится видеть результаты всех видов обработки и анализа данных и узнавать изображение различных элементов геологического разреза.

Автор Макаровский Олег Витальевич, к.г.-м.н, доцент кафедры Месторождений полезных ископаемых и их разведки.

Структура курса. 6 семестр. Полевая геофизика. 32 часа лекций, 32 часа практических занятий и защита их результатов. Экзамен.

7 семестр. Практические занятия (часть 2) и написание курсовой работы на тему

"Анализ сейсмического временного разреза и оценка перспектив нефтегазоносности". 32 часа. Зачет и защита курсовой работы.

Полевая геофизика.

Лекции.

1. Введение. Применение комплекса геофизических методов на различных этапах поисков и разведки залежей нефти и газа. 4 часа
2. Основы теории сейсморазведки. 2 часа. 3. Источники упругих волн, форма и спектр сейсмических колебаний Деконволюция. 2 часа. 4. Поправка за зону малых скоростей (ЗМС). Помехи приему сейсмических колебаний и борьба с ними. 2 часа. 5. Метод общей глубинной точки(МОГТ). 2 часа. 6. Геологические факторы, влияющие на скорость распространения упругих колебаний в породах и на их плотность. 2 часа.
7. Разрешающая способность сейсморазведки. Морская сейсморазведка 2 часа.
8. Миграционные преобразования сейсмических данных. 4 часа.
9. Прямые поиски залежей нефти и газа. 2 часа 10.Площадные (объемные, 3Д) сейсмические наблюдения. 2 часа.
11. Вертикальное сейсмическое профилирование. 2 часа
12. Мгновенные параметры. 2 часа.
13. Спектрально-волновой анализ (СВАН) сейсмических данных. 2 часа.
14. Высокоразрешающая 3Д сейсморазведка для изучения сложно-построенных залежей углеводородов. 2 часа

Практические занятия. Часть 1.

1. Изучение сейсмической записи и построение годографов ОВ. 2 часа.
2. Изучение формы сейсмических колебаний. 2 часа
3. Вычисление кинематической поправки для годографа ОВ. 2 часа.
4. Изучение результатов применения фильтрации, группирования и деконволюции. 4 часа.
5. Изучение результатов обработки сейсмических данных по МОГТ. 2 часа.
6. Миграция. 2 часа.
7. Знакомство с результатами миграционных преобразований. 2 часа.
8. Площадные (3Д) сейсмические наблюдения. 2 часа.
9. Анализ сейсмических материалов с помощью мгновенных параметров. 2 часа.
10. Знакомство с признаками залежей нефти и газа в данных различных геофизических методов. 2 часа.
11. Знакомство с результатами высокоразрешающей 3Д сейсморазведки. 2 часа
12. Защита результатов практических занятий. 6 часов.

Практические занятия. Часть 2.

Курсовая работа.

1. Вертикальная разрешающая способность сейсморазведки. 2 часа.

2. Горизонтальная разрешающая способность сейсморазведки. 2 часа.
3. Искажение временного сейсмического разреза скоростными неоднородностями.
2 часа.
4. Защита результатов трех практических занятий. 2 часа.
5. Обнаружение признаков внесения поправок за рельеф и зону малых скоростей. 2 часа.
6. Обнаружение на разрезе признаков выполнения обработки по МОГТ.
2 часа.
7. Обнаружение на разрезе признаков выполнения деконволюции. 2 часа.
8. Обнаружение на разрезе признаков выполнения миграционных преобразований 2 часа.
9. Знакомство с разрезами, предназначенными для выполнения курсовых работ. 2 часа
10. Выделение фундамента на разрезах. 2 часа.
11. Разделение осадочного чехла на пачки, сформировавшиеся в различных условиях. 2 часа.
12. Прослеживание на разрезах тектонических нарушений и образованных ими ловушек. 2 часа.
13. Обнаружение на разрезах ловушек нефти и газа. 2 часа.
14. Построение глубинного разреза. 2 часа.
15. Консультации по курсовым работам. 2 часа.
16. Консультации по курсовым работам. 2 часа.

Контроль усвоения материала осуществляется по ответам на вопросы во время защиты результатов практических занятий. Студент должен объяснить физико-геологическую природу осложнения, препятствующего получению геологического результата, либо назначение каждого из способов обработки геофизического материала. Оценка ответов или качество выполнения задания зависит от сложности вопроса или задания, от двух до десяти баллов.

Сведения об авторе



Макаровский Олег Витальевич

Родился 29.12.1937 г. в Москве . Учился в Московском институте нефтехимической и газовой промышленности им. Губкина, в аспирантуре РУДН на кафедре МПИ и их разведки. Стал к.г.-мн в 1977 году.

Работал в Комплексной тематической геофизической экспедиции треста Геофизнефтеуглеразведка с 1960 по 1968 г.(проблемы сейсморазведки, эллиптически поляризованное поле), а с 1969 г. по настоящее время – в РУДН (изучение структур рудных полей сейсморазведкой, моделирование волновых процессов методом фотоупругости до 1990 года) с 1990 года преподаватель. Читает курсы Физика Земли, Петрофизика, Полевой геофизики, Геологическая интерпретация геофизических данных; руководит геофизической практикой.

Во время летних отпусков – использование геофизики в трех археологических экспедициях, множество спортивных сплавов по горным рекам, под парусом по Белому, Баренцеву (см.фото), Охотскому и Японскому морям. Область увлечения: древнейшая история предков, их культурно-историческая общность с ариями (индоевропейцами).