

**Учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени
Франциска Скорины»**

М.Г. ВЕРУТИН

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
Практическое пособие
для студентов специальности I-51 01 01 «Геология и разведка
месторождений полезных ископаемых»

Гомель 2012

УДК
ББК
В

Рецензенты:

А.Н. Галкин доцент кафедры географии УО «ВГУ им. Машерова», кандидат геолого-минералогических наук;

Л.Л. Федосенко старший преподаватель кафедры геологии и разведки полезных ископаемых УО ГГУ им. Ф.Скорины

Верутин М.Г.

Геофизические методы исследований: практическое пособие для студентов специальности I-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» [Текст]/ М.Г. Верутин;

Мин-во обр. РБ - Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2012 - с

Мин-во обр. РБ - Гомель: УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2012 - с

Практическое пособие содержит краткие теоретические сведения и задания к 10 практическим работам по курсу «Геофизические методы исследований». Включенные в пособие практические работы посвящены методике обработки и качественной и количественной интерпретации геофизических данных и охватывают основные разделы геофизики (гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, сейсморазведка). Практическое пособие предназначено для студентов геолого-географического факультета специальности I-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

УДК 550.83(075.8)

ББК 26.324.34 Я73

© Верутин М.Г., 2012

© УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2012

Содержание

Введение.....	4
Практическая работа №1 Решение прямой задачи гравirazведки	5
Практическая работа №2 Обработка результатов гравитационных наблюдений вдоль профиля.....	7
Практическая работа №3 Решение обратной задачи гравirazведки.....	11
Практическая работа №4 Решение прямой задач магниторазведки.....	14
Практическая работа № 5 Обработка данных магнитных съемок	16
Практическая работа №6 Решение обратной задачи магниторазведки.....	18
Практическая работа №7 Интерпретация кривых ВЭЗ.....	21
Практическая работа № 8 Годографы сейсмических волн.....	24
Практическая работа № 9 Построение отражающих границ.....	28
Практическая работа № 10 Построение преломляющих границ...	34
Литература.....	38

Введение

Практическое пособие предназначено для изучения студентами специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» курса «Геофизические методы исследований». Необходимость изучения данного курса обусловлены тем что, в настоящее время при поисках и разведке полезных ископаемых, решении инженерно-геологических и гидро-геологических задач очень широко используются методы геофизики, которые по сравнению с традиционными геологическими и геохимическими методами являются косвенными, дальнедействующими, обеспечивающими равномерность, объемный характер получаемой информации и практически неограниченную глубинность. При этом стоимость геофизических работ в несколько раз меньше по сравнению с разведкой с помощью бурения скважин. Поэтому будущим специалистам геологам необходимо знать и уметь применять на практике основные геофизические методы для решения различных задач.

В практическом пособии рассматривается 10 практических работ относящиеся к основным разделам геофизики: гравиразведка, магниторазведка, электроразведка и сейсморазведка. Каждая работа содержит краткое изложение теории изучаемого раздела, задания к практической работе и указания по порядку выполнения практической работы.

Выполнение практических работ способствуют приобретению студентами геологами практических навыков обработки полевых геофизических данных и их геологической интерпретации.

Практическая работа №1

Решение прямой задачи гравиразведки

В некоторых случаях реальные геологические объекты можно аппроксимировать телами правильной геометрической формы, что существенно облегчает интерпретацию геофизических данных.

Прямая задача гравиразведки состоит в вычислении ускорения силы тяжести g по заданному распределению аномальных масс. В этом случае предполагается, что известны избыточная плотность, форма и размеры тела, а требуется найти распределение значений ускорения силы тяжести на дневной поверхности, обусловленное этим телом.

Решение прямой задачи гравиразведки для тела в виде *шара* имеет вид

$$g = \frac{G \cdot M \cdot h}{(h^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}},$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ - гравитационная постоянная;

M – избыточная масса тела, кг

h – глубина залегания центра шара, м;

x – расстояние от начала координат до точки наблюдения, м.

Избыточная масса вычисляется по формуле

$$M = V \cdot \sigma = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \delta,$$

где V – объем шара, м^3 ;

R – радиус шара, м;

δ – избыточная плотность, $\text{г}/\text{см}^3$.

Геологические аналоги шара (сферы): гнездообразные рудные залежи, карстовые формы, соляные купола, интрузии.

Решение прямой задачи гравиразведки для тела в виде *горизонтального кругового цилиндра* имеет вид

$$g = \frac{2 \cdot G \cdot \lambda \cdot h}{x^2 + h^2}$$

где h – глубина залегания центра цилиндра, м;

x – расстояние от начала координат до точки наблюдения, м;

λ – линейная плотность (избыточная масса) цилиндра, $\text{г}/\text{см}$.

Линейная плотность вычисляется по формуле

$$\lambda = \pi \cdot R^2 \cdot \delta,$$

где R – радиус цилиндра, м.

Задание

1. По исходным данным R , h , δ , Δx рассчитать значения ускорения силы тяжести (решить прямую задачу) для шара или горизонтального кругового цилиндра в 25 точках профиля. Исходные данные по вариантам представлены в таблице 1 (нечетные номера варианта соответствуют телу в виде шара, четные – горизонтальному круговому цилиндру). Вычисления g производится с точностью до тысячных долей $мГал$.

2. Выполнить аналогичные расчеты для разных глубин залегания тела ($h+5 м$, $h-5 м$), и для разных радиусов тела ($R+5 м$, $R-5 м$).

3. Рассчитанное поле g (в $мГал$) необходимо изобразить в декартовой системе координат в виде 2-х графиков отражающих изменение силы тяжести вдоль профиля при разных глубинах залегания тела и при разных радиусах тела. Вдоль оси абсцисс откладываются значения x в метрах, а вдоль оси ординат – значение g в миллигалах.

4. Все вычисления и построения выполнять в программе **Excel**.

5. Проанализировать графики и сделать выводы о том, как влияют изменения h и R на форму кривых поля.

6. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, формулы описывающие решение прямой задачи с пояснениями, таблицу расчетов, графики, выводы.

Таблица 1 Исходные данные к практической работе №1

Вариант	$h, м$	$\Delta x, м$	$R, м$	$\delta, г/см^3$	Вариант	$h, м$	$\Delta x, м$	$R, м$	$\delta, г/см^3$
1	40	7	30	0,9	16	55	10	30	0,9
2	40	6	35	0,7	17	50	20	35	0,9
3	50	10	40	0,8	18	60	20	40	0,8
4	45	15	40	0,6	19	55	12	40	0,6
5	45	10	40	0,7	20	55	5	40	0,7
6	55	15	45	0,7	21	65	20	45	0,7
7	50	12	60	0,6	22	60	10	45	0,6
8	55	5	35	0,8	23	60	25	45	0,8
9	50	10	30	0,8	24	65	15	45	0,9
10	40	5	35	0,9	25	50	10	35	0,8
11	40	5	35	0,9	26	45	10	30	0,9
12	45	10	35	0,8	27	55	15	35	0,8
13	55	15	40	0,8	28	55	20	40	0,8
14	50	20	40	0,7	29	60	25	40	0,7
15	50	15	35	0,7	30	60	15	40	0,7

Практическая работа №2

Обработка результатов гравитационных наблюдений вдоль профиля

Обработка результатов полевых гравиметрических наблюдений включает; учет поправки за смещение нуля-пункта прибора, вычисление абсолютных значений силы тяжести, вычисление аномалий в редукции Буге путем введения поправок за высоту, за притяжение промежуточного слоя; за влияние рельефа (в случае сильно пересеченного рельефа местности на участке съемки); учет нормального гравитационного поля. Завершается обработка построением окончательных карт и графиков аномалий и проведение их качественной интерпретации.

При любой гравиметрической съемке создается сеть исходных опорных гравиметрических пунктов с точно известными значениями гравитационного поля, которые служат для привязки всех наблюдений к единому уровню и для учета поправки за дрейф нуля-пункта гравиметра.

Рядовая съемка проводится чаще всего от одной опорной точки до другой.

Первоначально вычисляется так называемый приведенный отсчет, представляющий собой разность между средним показанием гравиметра в какой-либо точке рейса и показанием его на опорном пункте, открывающем данный рейс. Вычисления выполняются с точностью до тысячных долей и записываются в графу «Приведенный отсчет» в оборотах.

Следующей операцией является перевод приведенного отсчета в оборотах в приведенный отсчет в миллигалах путем перемножения первого на цену деления гравиметра. Результат вычисляется с точностью до сотых долей миллигала и записывается в очередную графу.

Величина смещения нуля-пункта в рейсе определяется по сопоставлению разности значений силы тяжести между опорными пунктами, полученной по наблюдениям, и разностью твердых значений силы тяжести на этих же пунктах. Поправку за нуль-пункт в рядовые наблюдения вводят пропорционально времени, прошедшему с момента выполнения наблюдения на начальном опорном пункте до наблюдения на данном рядовом пункте в предположении, что нуль-пункт изменяется линейно, т. е.:

$$\Delta g_{n-n} = \frac{(\Delta g_{набл} - \Delta g_{он}) \cdot (t_i - t_1)}{(t_2 - t_1)},$$

где Δg_{n-n} – поправка за нуль-пункт гравиметра;

$\Delta g_{набл.}$ – величина разности значений силы тяжести между опорными пунктами по наблюдениям;

$\Delta g_{оп}$ – твердое значение силы тяжести между опорными пунктами;
 t_1 – время начала рейса;
 t_2 – время окончания рейса;
 t_i – время наблюдения на рядовой точке с i -м номером.

Поправку за смещения нуль-пункта на рядовом пункте можно определять также графическим способом. Для этого в декартовой системе координат по оси абсцисс в удобном масштабе откладывается время наблюдения на опорных точках, а по оси ординат – поправка за дрейф нуль-пункта (в мГал) на ОП1 равное нулю, а на ОП2 равное $\Delta g_{набл} - \Delta g_{оп}$. Полученные точки соединяются прямой линией. С этого графика для рядовых пунктов снимается значение поправки за смещение нуль-пункта в соответствии со временем наблюдения.

Результат вычисления поправки $\Delta g_{н-н}$ заносится в графу «Поправка за дрейф нуль-пункта». Затем производится вычисление величины $\Delta g_{испр}$ (исправленное за дрейф нуль-пункта приращение силы тяжести). Оно получается путем вычитания поправки за дрейф нуль-пункта из приведенного отсчета в миллигалах.

Заключительная операция – вычисление наблюдаемых значений силы тяжести $g_{набл}$, осуществляется прибавлением $\Delta g_{испр}$ к абсолютному значению силы тяжести на начальной опорной точке. В результате этой операции во всех рядовых точках рейса будут вычислены наблюдаемые абсолютные значения силы тяжести, являющиеся исходными данными для определения аномальных значений силы тяжести.

Наблюдаемое значение силы тяжести представляет собой суммарный гравитационный эффект нескольких факторов. Для целей геологической разведки наибольший интерес представляет притяжение, создаваемое плотностными неоднородностями коры и верхней мантии, которое называется аномалиями силы тяжести.

При вычислении аномалий в наблюдаемое значение силы тяжести вводятся поправки (редукции).

Поправка за высоту вычисляют по формуле

$$\delta g_h = 0,3086h,$$

где h – высота точки наблюдения, м;

0,3086 – величина вертикального градиента силы тяжести, мГал/м.

Поправка за влияние промежуточного плоскопараллельного слоя учитывает влияние масс между горизонтальной плоскостью, проходящей через точку наблюдения, и уровнем моря или каким-либо условным уровнем (например, опорным или контрольным пунктом).

Поправку за промежуточный слой вычисляют по формуле

$$\delta g_\sigma = 2\pi G\sigma h = -0,0419\sigma h,$$

где G – гравитационная постоянная;

σ – средняя плотность промежуточного слоя, $г/см^3$.

Сумма поправок в свободном воздухе и за промежуточный слой называется поправкой Буге

$$\delta g_B = \delta g_h + \delta g_\sigma = (0,3086 - 0,0419\sigma)h.$$

Аномалией силы тяжести называется разность между наблюдаемым и нормальным значением силы тяжести. Нормальное значение γ_0 силы тяжести для района исследований должно быть известно (рассчитывается по формуле нормального значения силы тяжести). Если данные о нормальном значении силы тяжести отсутствуют, то за его величину принимают значение, на каком либо контрольном пункте.

Формула для вычисления аномальных значений силы тяжести имеет вид:

$$\Delta g_a^B = g_i + (0,3086 - 0,0419\sigma)h - \gamma_0.$$

Аномалии, вычисленные путем введения поправок за нормальное поле и Буге, называют аномалиями в редукции Буге. Если съемка проводится на участке небольших размеров (100-200 м в поперечнике), то изменениями γ_0 также можно пренебречь (они составят не более 0,10 мГл).

Задание

1. Выполнить обработку данных полевых гравиметрических наблюдений полученных в рядовом рейсе и вычислить аномалию в редукции Буге. Данные полевых гравиметрических наблюдений в рядовом рейсе выдаются преподавателем.

2. Расчеты выполнить в программе **Excel** и результаты представить в виде таблицы 2:

Таблица 2. Результаты обработки полевых гравиметрических наблюдений

№ точки	Время наблюдения	Высота над уровнем моря (h), м	Отсчет по шкале гравиметра в оборотах винта	Приведен. отсчет в оборотах винта	Приведен. отсчет, мГал	Поправка за дрейф нуля-пункта, мГал	Исправленное за дрейф нуля-пункта ($\Delta g_{испр}$), мГал	Наблюденные значения силы тяжести ($g_{наб}$), мГал	Поправка Буге (Δg^B), мГал	Аномалия Буге (Δg^B), мГал

3. Значения g в точках опорной сети, цену деления гравиметра, плотность промежуточного слоя взять из таблицы 3 в соответствии с вариан-

том. При обработке величиной нормального гравитационного поля пренебречь. Поправку за смещение нуля-пункта вводить аналитически.

4. Построить график изменения наблюдаемых значений силы тяжести вдоль профиля гравитационного поля $g_n(x)$, график изменения высоты точки наблюдений вдоль профиля $h(x)$, график изменения аномальных значений силы тяжести в редукции Буге вдоль профиля $\Delta g_B(x)$ а также график смещения нуля-пункта гравиметра.

5. Проанализировать графики и сделать выводы о том, как влияет высота точки наблюдений на величину измеряемого поля и каков характер смещения нуля-пункта гравиметра.

6. Провести качественную интерпретацию аномалии силы тяжести (определить форму, размеры и интенсивность аномалии).

7. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, основные формулы с пояснениями, таблицу расчетов, результаты качественной интерпретации, графики, выводы.

Таблица 3 Исходные данные к практической работе №2

Вариант	$g_{оп1}$, мГал	$g_{оп2}$, мГал	C , мГал/дел	σ , г/см ³	Вариант	$g_{оп1}$, мГал	$g_{оп2}$, мГал	C , мГал/дел	σ , г/см ³
1	4,52	5,56	5,60	2,00	16	5,10	4,12	5,56	2,15
2	4,81	4,23	5,62	2,01	17	4,70	3,90	5,57	2,16
3	4,90	5,80	5,63	2,02	18	4,30	3,50	5,56	2,17
4	5,00	6,02	5,67	2,03	19	4,11	5,18	5,54	2,18
5	5,15	6,00	5,72	2,04	20	3,99	4,67	5,53	2,19
6	4,02	5,00	5,46	2,05	21	5,52	6,56	5,50	2,20
7	4,61	3,80	5,48	2,06	22	5,81	5,12	5,52	2,21
8	4,22	3,39	5,47	2,07	23	5,90	5,80	5,53	2,22
9	4,01	5,08	5,44	2,08	24	6,00	7,02	5,56	2,23
10	3,89	4,57	5,43	2,09	25	5,15	7,00	5,60	2,24
11	4,61	5,65	5,68	2,10	26	6,00	5,02	5,56	2,25
12	4,70	4,30	5,72	2,11	27	5,60	4,80	5,57	2,26
13	4,80	5,90	5,73	2,12	28	5,20	4,40	5,56	2,27
14	5,10	6,12	5,76	2,13	29	5,01	6,08	5,54	2,28
15	5,25	6,10	5,60	2,14	30	4,89	5,57	5,53	2,29

Практическая работа №3 Решение обратной задачи гравиразведки

Обратная задача гравиразведки заключается в вычислении по заданному распределению поля ускорения силы тяжести параметров аномалеобразующего тела, т. е. его размеров R , V , глубины залегания h .

Решение обратной задачи по гравиразведке для шара. Из анализа решения прямой задачи для шара следует что, кривая аномального поля везде положительна и симметрична относительно максимума, который находится над центром шара

$$\Delta g_{\max} = \frac{Gm}{h^2},$$

так как x в этой точке равно нулю (рисунок 1). Следовательно, эта точка является началом координат.

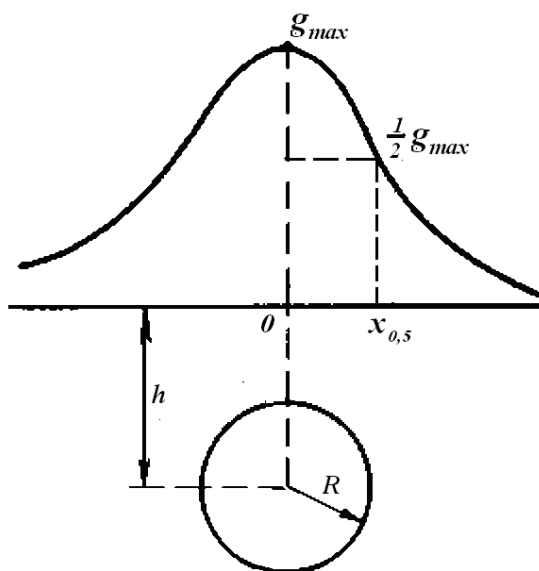


Рисунок 1 Гравитационное поле над шаром

Для определения глубины залегания центра шара h на оси абсцисс возьмем точку x_n , в которой значение поля равно Δg_n и найдем отношение

$$\frac{\Delta g_n}{\Delta g_{\max}} = n = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{x_n}{h}\right)^2 + 1}^3},$$

откуда

$$\frac{x_n}{h} = \sqrt[3]{\left(\frac{1}{n}\right)^2 - 1}.$$

Отсюда мы можем получить формулу для вычисления глубины залегания центра шара. В частности для точки, удаленной от максимума на расстояние $x_{0,5}$ формула для вычисления глубины залегания центра шара будет иметь вид:

$$h = 1,3 \cdot x_{0,5}.$$

Избыточную массу находят по формуле

$$M = \Delta g_{\max} \cdot h / G.$$

Величины $x_{0,5}$ и Δg_{\max} снимают с графика в соответствии с рисунком 1.

Если известна избыточная плотность σ сферического тела, то можно определить его объем и радиус R из соотношения

$$M = V \cdot \sigma = \frac{4}{3} \pi \cdot R^3 \cdot \sigma.$$

Решение обратной задачи по гравиразведке для горизонтального кругового цилиндра. Из анализа решения прямой задачи кривая всюду положительна и симметрична относительно максимума, который находится над центром горизонтального цилиндра (рисунок 2). Следовательно, начало координат совпадает с максимумом кривой т.е. при $x=0$.

Поступая, как и в случае с шаром мы можем получить выражение для

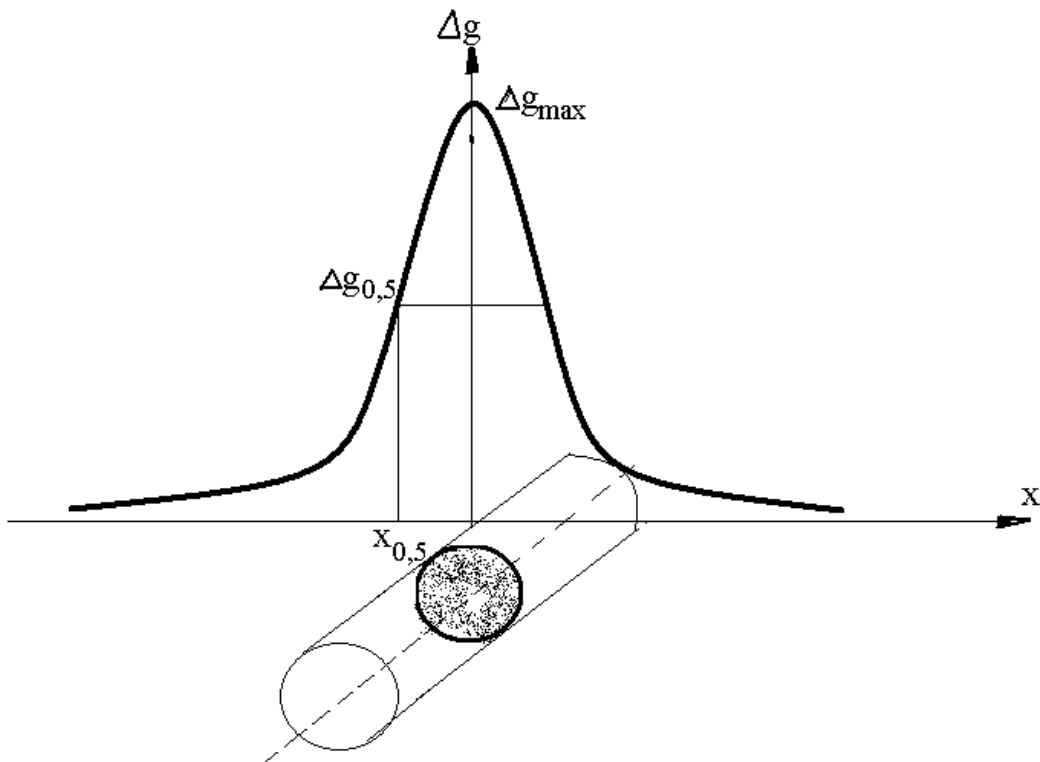


Рисунок 2 Гравитационное поле над горизонтальным круговым цилиндром вычисления глубины залегания цилиндра. В частности для точки, удален-

ной от максимума на расстояние $x_{0,5}$ формула для вычисления глубины залегания центра шара будет иметь вид:

$$x_{0,5} = h.$$

Величины $x_{0,5}$ и Δg_{max} снимают с графика в соответствии с рисунком 2.

Если известна избыточная плотность, то можно найти радиус цилиндра

$$R = \sqrt{\frac{\lambda}{\pi \cdot \delta}}.$$

Задание

1. Провести количественную интерпретацию (решение обратной задачи) гравитационной аномалии полученной в ходе выполнения практической работы №2. При интерпретации учитывать, что нечетные варианты соответствуют аномалии от шара, а четные от горизонтального кругового цилиндра. Расстояние между пикетами Δx и значение избыточной плотности δ дано в таблице 5.

Таблица 5 Исходные данные к практической работе №3

Вариант	$\Delta x, м$	$\delta, г/см^3$	Вариант	$\Delta x, м$	$\delta, г/см^3$	Вариант	$\Delta x, м$	$\delta, г/см^3$
1	7	0,9	11	5	0,9	21	20	0,7
2	6	0,7	12	10	0,8	22	10	0,6
3	10	0,8	13	15	0,8	23	25	0,8
4	15	0,6	14	20	0,7	24	15	0,9
5	10	0,7	15	15	0,7	25	10	0,8
6	15	0,7	16	10	0,9	26	10	0,9
7	12	0,6	17	20	0,9	27	15	0,8
8	5	0,8	18	20	0,8	28	20	0,8
9	10	0,8	19	12	0,6	29	25	0,7
10	5	0,9	20	5	0,7	30	15	0,7

2. Выполнить решение обратной задачи для поля g , полученного при решении прямой задачи в практической работе №1.

3. На графике полученном в ходе выполнения практической работы №2 указать величины $x_{0,5}$ и Δg_{max} .

4. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, формулы описывающие решение обратной задачи с пояснениями, результаты расчетов, выводы.

Практическая работа №4 Решение прямой задач магниторазведки

Прямая задача магниторазведки состоит в вычислении магнитных аномалий по заданному распределению магнитных масс, занимающих объем некоторого тела правильной формы. Предполагается, что известны вертикальная намагниченность J , форма, положение и размеры тела, требуется найти значение вертикальной Z_a и горизонтальной H_a составляющих магнитного поля на дневной поверхности вдоль профиля x . Значения Z_a и H_a - компонент магнитного поля от произвольно намагниченного шара вдоль профиля, проходящего над центром шара, определяются по формулам:

$$Z_a = M \frac{(2h^2 - x^2) \cdot \sin i - 3hx \cos i}{(x^2 + h^2)^{5/2}},$$

$$H_a = M \frac{(2h^2 - x^2) \cdot \cos i - 3hx \sin i}{(x^2 + h^2)^{5/2}},$$

где $M = V \cdot J = \frac{4}{3} \pi R^3 J$ – магнитный момент шара, $A \cdot m^2$;

h – глубина до центра шара, m ;

x – расстояние от начала координат до точки наблюдения, m ;

R – радиус шара, m ;

V – объем шара, m^3 ;

i – угол наклона вектора намагниченности;

J – намагниченность шара, A/m .

Решение прямой задачи магниторазведки для бесконечного горизонтального кругового цилиндра имеет вид:

$$Z_a = 2M \frac{(h^2 - x^2) \cos \gamma - 2xh \sin \gamma}{(x^2 + h^2)^2}$$

$$H_a = -2M \frac{(h^2 - x^2) \sin \gamma + 2xh \cos \gamma}{(x^2 + h^2)^2}$$

где $M = V \cdot J = \pi R^2 J$ – магнитный момент горизонтального кругового цилиндра, $A \cdot m^2$;

γ – угол отклонения намагниченности тела от вертикальной намагниченности ($\gamma = 90^\circ - i$), где i – угол наклона вектора намагниченности).

Значения Z_a и H_a определяются в системе СИ в A/m и переводятся в гаммы (γ). $1 A/m = 10^3$ СГС, $1 A/m = 4 \cdot \pi \cdot 10^2 \gamma$, $1 \text{ Э} = 79,6 A/m$, $1 \text{ Э} = 10^5 \gamma$, 1 нТл (единица магнитной индукции) для воздуха приблизительно равна 1γ

(единица напряженности магнитного поля).

Задание

1. По данным R, h, J, γ , согласно заданному варианту (таблица 6), необходимо рассчитать значения Z_a и H_a вдоль профиля с шагом Δx . Причем нечетные варианты решают прямую задачу для горизонтального кругового цилиндра, четные решают прямую задачу для сферы.

2. Расчеты выполнить для различных углов наклона вектора намагниченности $i=90^\circ, i=60^\circ, i=30^\circ$.

3. Рассчитанные поля Z_a и H_a в гаммах необходимо перевести в нТл и изобразить в виде двух графиков. На одном графике должно быть отражено изменение вертикальной Z_a составляющей напряженности магнитного вдоль профиля при разных углах i , на другом графике должно быть отражено изменение горизонтальной H_a составляющей напряженности магнитного вдоль профиля при разных углах i .

Таблица 6 Исходные данные к практической работе №4

Вариант	$\Delta x, м$	$h, м$	$R, м$	$J, А/м$	Вариант	$\Delta x, м$	$h, м$	$R, м$	$J, А/м$
1	15	40	30	0,2	16	15	50	30	0,22
2	5	40	35	0,2	17	10	50	35	0,22
3	10	50	40	0,2	18	20	60	40	0,22
4	25	45	40	0,2	19	10	55	40	0,22
5	20	45	40	0,2	20	10	55	40	0,20
6	15	55	45	0,2	21	20	65	45	0,22
7	20	50	45	0,22	22	15	60	45	0,24
8	5	55	45	0,18	23	25	65	45	0,20
9	10	50	45	0,19	24	10	60	45	0,21
10	15	40	35	0,19	25	10	50	35	0,21
11	15	35	30	0,18	26	5	45	30	0,21
12	10	45	35	0,18	27	15	55	35	0,20
13	15	55	40	0,2	28	20	55	40	0,20
14	20	50	40	0,21	29	25	60	40	0,20
15	15	50	40	0,21	30	15	60	40	0,23

4. Результаты расчетов представить в виде таблицы 7:

Таблица 7 Результаты решения прямой задачи магниторазведки

№ пк	$i=90^\circ$		$i=60^\circ$		$i=30^\circ$	
	$Z_a, нТл$	$H_a, нТл$	$Z_a, нТл$	$H_a, нТл$	$Z_a, нТл$	$H_a, нТл$

5. Сделать выводы о том, как влияет изменение угла наклона вектора намагниченности на форму кривой и почему, а также проанализировать, как изменяется положение максимума кривой поля относительно центра тела при разных углах i .

6. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, основные формулы с пояснениями, таблицу расчетов, графики, выводы.

Практическая работа № 5 Обработка данных магнитных съемок

Методика полевых магниторазведочных работ сводится к следующему. Перед началом наблюдений снимается отсчет на КП. Затем бригады, состоящие из двух человек – оператора и вычислителя – выполняют измерения на точках рядовой сети. После выполнения измерений в течение 2-2,5 ч бригада должна вернуться на КП и снять отсчет, затем продолжить работу на профиле. В течение всего времени проведения съемки необходимо измерять вариации геомагнитного поля. Для этого один прибор устанавливается на точке в спокойном магнитном поле, и снимаются отсчеты на протяжении всего времени работы магнитометров на рядовой сети. КП создается для приведения всех измерений к одному уровню. Результаты наблюдений заносятся в журнал.

Обработка полевых данных пешеходных магнитных съемок заключается в ведении эти данные целого ряда поправок с целью вычисления аномальных значений поля. Принцип обработки полевых данных магнитной съемки зависит в основном от типа, применяемого магнитометра.

При выполнении магнитных съемок оптико-механическим магнитометром $M-27M$ измеряется приращение вертикальной составляющей магнитного поля ΔZ .

Для вычисления аномального значения поля Z_a в точке наблюдения по данным пешеходных магнитных измерений с магнитометрами $M-27M$ необходимо сначала вычислить приращения поля ΔZ относительно исходной опорной точки, с которой начался маршрут (рейс) или КП, а затем в полученные данные ввести следующие поправки: поправку за влияние температуры δ_t ; поправку за вариации δ_B ; поправку за смещение нуля прибора $\Delta Z_{н.п.}$.

Величину поправки за влияние температуры вычисляют по формуле:

$$\delta_t = t(T - T_0)$$

где t – температурный коэффициент прибора в $\text{нТл}/^\circ\text{C}$, для $M-27M$ $t=0,5$ $\text{нТл}/^\circ\text{C}$;

T – температура воздуха внутри прибора в момент измерений;

T_0 – температура в приборе на КП или на опорной точке в исходный момент времени.

Значение поправки за вариации магнитного поля δZ снимаются с вариационной кривой. Вариационная кривая строится по результатам измерений магнитного поля на одной точке, расположенной в спокойном магнитном поле, в течение всего времени проведения замеров на рядовой сети. При построении вариационной кривой по вертикальной оси откладываются значения измеренного поля в нТл относительно первого замера (КП), по горизонтальной оси – время проведения замеров. Поправка за вариацию магнитного поля на рядовом пикете наблюдения снимается с вариационной кривой в соответствии со временем наблюдения на рядовом пункте и записывается с обратным знаком в журнал.

Определение поправки за смещение нуля-пункта $\Delta Z_{\text{н.п.}}$ магнитометра производится по измерениям на КП, в которые внесена поправка за вариации магнитного поля. Величина поправки за смещение нуля-пункта может быть определена аналитическим или графическим способом. При графическом способе строится график, на котором по вертикальной оси откладываются значения магнитного поля в нТл относительно первого значения на КП, которое принимается за 0, а по горизонтальной оси откладывается время проведения измерений. Смещение нуля-пункта может иметь положительное и отрицательное значение. Если смещение нуля-пункта положительное, то поправка за смещение нуля-пункта берется со знаком минус. График смещения нуля-пункта используется также для характеристики качества измерений, выполненных с данным прибором. График смещения нуля-пункта при нормальной работе имеет плавный характер, наличие резких изломов свидетельствует либо о погрешностях в отсчетах по шкале, либо о нестабильной работе магнитометра.

При обработке полевых измерений, выполненных прецизионными магнитометрами (ММП-303, ММП-203), поправки за смещение нуля и влияние температуры не вводятся.

Задание

1. Выполнить обработку результатов полевой магнитной съемки выполненной магнитометром $M-27M$ вдоль профиля. Данные полевой магнитной съемки и данные вариационных измерений выдаются преподавателем каждому студенту. Цену деления шкалы магнитометра принять равной 10 нТл/дел .

2. Результаты расчетов представить в виде таблицы 8:

Таблица 8. Результаты обработки данных магнитной съемки

№ пикета	$t, ^\circ\text{C}$	Время наблюд.	n	Δn	$\Delta Z_i = \Delta n \cdot C,$ нТл	δ_B	$\delta_{\text{н.п.}}$	δ_t	$\Delta Z_{\text{испр}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

В первом столбце записывают номер пикета и КП. Во втором столбце записывается температура прибора. В четвертом – время наблюдения. В пятом столбце записывается отсчет по шкале магнитометра (n); в следующем столбце – разность отчетов на текущей точке и КП ($\Delta n = n_i - n_{\text{кп}}$). В шестом столбце записывается отсчет, переведенный в *нанотеслы* ($\Delta Z_i = \Delta n \cdot C$). В столбце 7 записывается поправка за вариации δ_B геомагнитного поля, которая снимается с вариационной кривой. В столбце 8 – поправка за смещение нуль-пункта $\delta_{\text{н.п.}}$. В столбце 9 – поправка за температуру δ_t . В столбце 10 – значение магнитного поля $\Delta Z_{\text{испр}}$ с учетом всех поправок.

После введения поправок δ_B и $\delta_{\text{н.п.}}$ в последнюю графу журнала записывается исправленное значение приращения аномального магнитного поля, определяемое по формуле: $\Delta Z_{\text{испр}} = \Delta n \cdot C + \delta_t + \delta_B + \delta_{\text{н.п.}}$.

3. По полученным значениям $\Delta Z_{\text{испр}}$ построить график изменения магнитного поля вдоль профиля и график смещения нуль-пункта магнитометра. Проанализировать полученные графики и определить размеры полученной аномалии, ее интенсивность, предполагаемое направление вектора намагниченности, характер смещения нуль пункта прибора.

4. Отчет должен содержать краткие теоретические сведения, результаты расчетов, необходимые графики и результаты качественной интерпретации, основные выводы.

Практическая работа №6 Решение обратной задачи магниторазведки

Для решения обратной задачи магниторазведки используются различные методы (метод характерных точек, интегральные методы, методы сравнения, методы подбора). В данной работе рассматривается метод характерных точек, суть которого состоит в применении соотношений связывающих абсциссы некоторых точек аномальных кривых с элементами

залегания анамалеобразующих тел простой геометрической формы. В качестве характерных точек чаще всего используются точки максимумов x_{max} , минимумов x_{min} , перехода через ноль x_0 , полумаксимумов $x_{0,5}$, четверти максимумов $x_{0,25}$.

Обратная задача магниторазведки для шара заключается в определении по значениям Z_a и H_a - компонент параметров шара h, R, M .

В случае вертикальной намагниченности шара $i=90^\circ$ кривая Z_a симметрична относительно своего максимума, который совпадает с началом координат. Глубину до центра шара h по кривой Z_a находят по формуле: $h = 2 \cdot x_{0,5}$, а по кривой H_a – по формуле: $h = x_l$, где $x_{0,5}$ – абсцисса полумаксимума кривой Z_a ; x_l – расстояние от максимума до минимума кривой H_a (рисунок 3).

Рисунок 3 Магнитное поле косо намагниченного шара

При намагниченности шара отличенной от вертикальной ($i \neq 90^\circ$) магнитные аномалии теряют свою симметрию в плане. Следовательно, значение поля в максимуме кривой и в начале координат не будут равны $Z_{a\ max} \neq Z_a(0)$. В этом случае глубина залегания центра шара будет определяться формулой

$$h \cong 0,7 \sqrt{p \cdot q - 0,11(p - q)^2},$$

где p – расстояние от точки x_1 до x_{max} ;

q – расстояние от точки x_{max} до x_2 ;

x_1 и x_2 – точки пересечения кривой Z_a с осью x .

Координату точки в которой поле максимально x_{max} относительно

начала координат определяем по формуле $x_{\max} = \frac{q-p}{10}$.

Отложив от точки в которой значение поля максимально величину x_{\max} начало координат по графику найдем положение начала координат и значение поля в начале координат $Z_a(0)$. Угол наклона находится по формуле $ctgi = -\frac{4 \cdot x_{\max}}{h}$.

Зная $h, i, J, Z_a(0)$ можно определить радиус шара

$$R = \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot Z_a(0) \cdot h^3}{4 \cdot \pi \cdot J \cdot \sin i}}$$

Обратная задача магниторазведки для горизонтального кругового цилиндра заключается в определении по значениям Z_a и H_a - компонент параметров цилиндра h, R, M, γ .

Глубину до центра цилиндра h по кривой Z_a находят по формуле:

$$h = 0,5 \cdot (x_2 - x_1) \cdot \cos \gamma,$$

где x_1 и x_2 - абсциссы точек в которых кривая $Z_a=0$ (это расстояние в метрах отсчитываемое от начала координат кривой до точек в которых кривая $Z_a=0$).

Кривая имеет один максимум $Z_{a\max} = \frac{2M}{h^2} \cos^2\left(\frac{\gamma}{3}\right)$ и два минимума

$$Z_{a\min} = -\frac{2M}{h^2} \cos^3\left(\frac{\pi + \gamma}{3}\right), \quad Z_{a\min} = -\frac{2M}{h^2} \cos^3\left(\frac{\pi - \gamma}{3}\right).$$

В начале координат, т.е. при $x=0$ значение поля равно $Z_a(0) = \frac{2M}{h^2} \cos \gamma$.

Из анализа кривой следует, что сумма значений поля в максимуме и двух минимумах составляет три четвертых от значения поля в начале координат

$$\sum Z_i = Z_{\max} + Z_{\min} + Z_{\min} = \frac{3}{4} Z_a(0).$$

Тогда из этого выражения можно определить начало координат, которое совпадает с положением центра цилиндра (центр располагается ближе к более глубокому минимуму)

$$Z_a(0) = \frac{4}{3} \sum Z_i$$

Когда начало координат найдено, то по вышеприведенным формулам легко определить h, M, γ .

Угол γ находится путем подбора из уравнения

$$\frac{Z_{\max}}{Z_a(0)} = \frac{\cos^2\left(\frac{\gamma}{3}\right)}{\cos \gamma} \quad \text{или} \quad \cos \gamma = \frac{Z_{\max}}{Z_a(0)} \cos^2\left(\frac{\gamma}{3}\right).$$

Величина магнитного момента находится из выражения $M = \frac{Z_a(0) \cdot h^2}{2 \cos \gamma}$.

Если известна намагниченность цилиндра J то можно определить радиус цилиндра.

Задание

1. Провести количественную интерпретацию (решение обратной задачи) магнитной аномалии полученной в ходе выполнения практической работы №5. При интерпретации учитывать, что нечетные варианты соответствуют аномалии от горизонтального кругового цилиндра, а четные от шара. Расстояние между пикетами Δx и значение намагниченности тела J взять из практической работы №4 в соответствии со своим вариантом.

2. На графике, полученном в ходе выполнения практической работы №5 указать абсциссы характерных точек, которые использовались при количественной интерпретации.

3. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, формулы описывающие решение обратной задачи с пояснениями, результаты расчетов, выводы.

Практическая работа № 7 Интерпретация кривых ВЭЗ

Интерпретацию результатов ВЭЗ проводят с целью построения по кривым зондирования геоэлектрического разреза исследованной площади. Интерпретации кривых ВЭЗ делится на качественную и количественную интерпретации.

Качественная интерпретация кривых ВЭЗ. Она позволяет составить общие представления о геологическом строении исследуемой площади. Для этого необходимо построить разрез изоом (вертикальный разрез ρ_k).

Для построения вертикального разреза кажущихся сопротивлений точки ВЭЗ выносят на топографический профиль. В каждой точке ВЭЗ, по вертикальной оси, откладывают в логарифмическом масштабе значения полуразносов питающих электродов ($AB/2$), при которых в процессе зондирования измерялось ρ_k , и в соответствующих точках этой оси выписывают значение ρ_k , в Ом-м, которое было получено при данном полуразносе. В полученном поле чисел проводят изолинии ρ_k через соответствующие интервалы. Полученный разрез раскрашивают, причем участки высо-

кого кажущегося сопротивления раскрашивают ярко красным цветом. Справа от полученного разреза дается шкала раскраски с соответствующими ей значениями ρ_k . На полученном разрезе конфигурация изолиний качественно характеризует глубинный геологический разрез по профилю. Так, например, горизонт высокого удельного сопротивления отразится на разрезе ρ_k зоной повышенных значений. Появление на разрезе локальных зон пониженного сопротивления может служить признаком присутствия на глубине рудных тел, глинистых линз. Линейными крутопадающими зонами низких значений ρ_k отмечаются тектонические нарушения и т. п.

Количественная интерпретация кривых ВЭЗ. Количественную интерпретацию проводят с целью определения параметров геоэлектрического разреза – сопротивлений горизонтов ρ_i , слагающих разрез, и глубину их залегания h_i . Количественная интерпретация кривых ВЭЗ основывается на зависимости между ρ_k и параметрами горизонтов разреза. Выполняют количественную интерпретацию в основном методом подбора, в котором те или иные элементы геоэлектрического разреза определяются путем сравнения полевых данных с рядом теоретических и переносом параметров совпавшей теоретической кривой на интерпретируемую полевую. Метод подбора может быть реализован с помощью специальных палеток или на ЭВМ с помощью специальных программ (IPI2win, Vmaster).

По результатам интерпретации строится геоэлектрический разрез. Сначала выбирают горизонтальный и вертикальный масштабы. Наносится линия приведения или линия рельефа. Наносят и подписывают номера точек ВЭЗ.

Под каждой точкой ВЭЗ в выбранном масштабе откладывают мощности слоев или интервалы их изменения, а внутри слоев в кружочках выписывают значения ρ или интервалы изменения ρ . Если известна литология слоев то ее наносят на разрезе условным крапом, который поясняется в условных обозначениях. К построенному геоэлектрическому разрезу составляется пояснительная записка, в которой указывается количество слоев в разрезе, их удельное электрическое сопротивление, их мощности и изменение ее вдоль профиля, чем литологически представлен каждый слой.

Задание

1. Выполнить качественную и количественную интерпретацию результатов ВЭЗ выполненных вдоль профиля через 100 м с и построить геоэлектрический разрез. По данным бурения известно что литологиче-

ский разрез данного района представлен глинами – удельное электрическое сопротивление которых составляет 80-180 Ом·м, песчаниками – 1000-1800 Ом·м и, известняками – 3500 Ом·м.

В центральной части профиля предполагается наличие тектонического нарушения. Результаты измерений ρ_k методом ВЭЗ выдаются преподавателем.

2. Для проведения качественной интерпретации на миллиметровке построить разрез изоом. Изолинии ρ_k провести через 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 3000 Ом·м. Разрез раскрасить. Сделать краткое описание полученного разреза.

3. Выполнить количественную интерпретацию кривых ВЭЗ с помощью программы **IPI2win**. Порядок работы с программой **IPI2win** следующий:

- Запустить программу путем выбором пункта IPI2Win группы IPI2Win раздела **Программы** главного меню (кнопка **Пуск**) Windows или через заранее созданную пиктограмму;

- Через пункт меню **Файл**→**Создать** открыть таблицу для ввода данных (кажущегося сопротивления или разности потенциалов) по новому пикету зондирования.

- В соответствующие колонки таблицы ввести данные ВЭЗ ($AB/2$ и ρ_k). Справа в открытом окне появится кривая ВЭЗ. С помощью пиктограммы **OK** открытого окна сохранить кривую ВЭЗ (появится окно **Сохранить как...**, в котором следует выбрать имя файла или напечатать его в строке **Имя файла**).

- После сохранения кривой ВЭЗ откроется окно полуавтоматической интерпретации, в котором видны две кривые ВЭЗ полевая (черного цвета) и теоретическая (красного цвета) а также геоэлектрическая модель разреза (кривая псевдокаротажа - синий цвет).

- Изменяя параметры модели путем перетаскивания мышью отрезков кривой псевдокаротажа, добиваются наилучшего совмещения теоретической кривой с полевой кривой ВЭЗ, при этом появится окно с количественными данными интерпретации (ρ и h слоев). Перемещение вертикального отрезка изменяет глубину соответствующей границы, а горизонтального - сопротивление соответствующего слоя. Если при перетаскивании удерживать нажатой клавишу [**Ctrl**], изменяются оба параметра.

- Аналогичным образом интерпретируются все остальные кривые ВЭЗ.

2. Результаты интерпретации представить в виде таблицы 9:

Таблица 9. Результаты количественной интерпретации кривых ВЭЗ

№ ВЭЗ	h_1	ρ_1	ρ_2
1			
-			
7			

3. После нахождения ρ_b , h_1 , ρ_2 построить геоэлектрический разрез (на миллиметровке) и сделать его описания.

4. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, кривые ВЭЗ, разрез изоом с описанием, таблица с результатами интерпретации, геоэлектрический разрез и его описание.

Практическая работа №8 Годографы сейсмических волн

В зависимости от типа регистрируемых сейсмических волн, образующихся при наличии одной границы раздела упругих свойств различают годографы *прямой*, *отраженной* и *преломленной* волн.

Уравнение продольного годографа прямой волны имеет вид

$$t = \pm \frac{x}{v_1},$$

а сам годограф состоит из двух отрезков прямых (рисунок 4), исходящих из начала координат (принято, что источник помещен в начало координат) под углом γ . Эти отрезки называют ветвями годографа – правой и левой. Наклон ветвей определяется только скоростью и связан с нею простым соотношением

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_1}.$$

Следовательно, по наклону годографа прямой волны можно определить скорость распространения сейсмических волн.

Уравнение годографа отраженной волны в случае наклонной отражающей границы имеет вид

$$t = \frac{1}{v_1} \sqrt{x^2 \pm 4hx \sin \varphi + 4h^2}$$

где x – расстояние от пункта взрыва до сейсмоприемника;

h – расстояние по нормали от пункта взрыва до отражающей границы;

φ – угол наклона отражающей границы.

Линейный годограф отраженной волны имеет вид гиперболы.

Перед выражением $4hx\sin\varphi$ ставится знак минус для точек профиля, расположенных от пункта взрыва по восстанию отражающей границы, и знак плюс – для точек по падению ее.

В точке приема, совмещенной с источником ($x=0$), падающий и отраженный лучи нормальны к границе, т.е. они совпадают. Путь пробега отраженной волны в эту точку равен $2h$ и называется эхо-глубиной. Время пробега волны вдоль нормального луча минимально и определяется по формуле $t_0 = 2h/v$. В случае наклонной границы данный минимум на годографе смещается в сторону восстания границы $x_{min} = 2h\sin\varphi$. Минимальное время прихода отраженной волны в точку x_{min} определяется выражением

$$t_{min} = \frac{2h\cos\varphi}{v_1}$$

Годограф отраженной волны асимптотически приближается к прямолинейному годографу прямой волны, а кажущаяся скорость изменяется от бесконечности (в точке x_{min}) до v_1 (при $x \rightarrow \infty$).

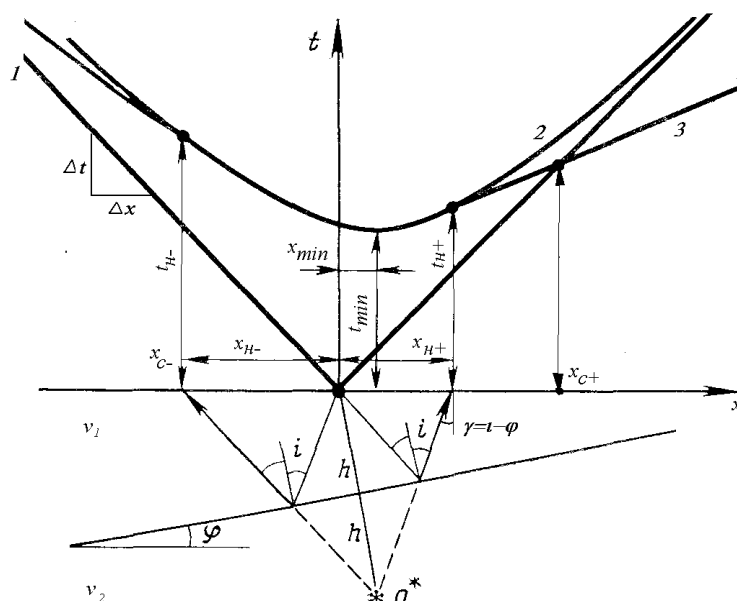


Рисунок 4 Годографы сейсмических волн в случае наклонной границ раздела: 1-прямой; 2 - отраженной; 3 - преломленной (головной)

Уравнение годографа преломленной волны для наклонной преломляющей границы имеет вид

$$t = \frac{1}{v_1} [x \sin(i \mp \varphi) + 2h \cos i]$$

где i – угол полного внутреннего отражения, определяемый выражением

$$\sin i = \frac{v_1}{v_2};$$

φ – угол наклона преломляющей границы.

Знаки плюс или минус берут в зависимости от тех же условий, что и для годографа отраженной волны.

Годограф преломленной (головной) волны состоит из двух отрезков прямой линии наклоненных под некоторым углом к оси x и отстоящие от начала координат на некоторое расстояние.

Ветви годографа имеют угловые коэффициенты

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = \frac{1}{v_{k\pm}} = \frac{\sin(i \pm \varphi)}{v_2}.$$

По годографу преломленной волны можно определить скорость движения фронта волны вдоль профиля наблюдения. Эта скорость называется кажущейся $v_k = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Кажущаяся скорость обычно больше действительной и связь между ними выражается законом Бендорфа

$$v_k = \frac{v_2}{\sin \gamma},$$

где $\gamma = i + \varphi$ – угол падения луча, который зависит от угла полного внутреннего отражения i и угла наклона преломляющей границы φ .

Начальные точки годографа имеют координаты

$$x_n = \frac{2h \sin i}{\cos(i \mp \varphi)}.$$

В начальных точках ветви годографа головной волны касаются гиперболы годографа отраженной волны. За начальными точками головная волна регистрируется раньше отраженной волны. Головная волна на некоторых расстояниях $x_{c\pm}$ по обе стороны от источника обгоняет и прямую волну и регистрируется первой. Координаты $x_{c\pm}$ определяются из решения системы уравнений годографов прямой и головной волн.

Задание

1. Используя программу **Excel** для двухслойной модели среды с заданными параметрами h , v_1 , v_2 , φ , Δx рассчитать времена прихода прямой, отраженной и преломленной (головной) сейсмических волн от источника к приемникам (решить прямую задачу сейсморазведки). Параметры модели необходимые для расчетов представлены в таблице 10. Расчеты выполнить для 35 пикетов при этом пункт возбуждения находится на 18 пикете.

При расчетах учитывать, что в четных вариантах сейсмическая граница приближается к поверхности (восстает) с увеличением пикета, в нечетных вариантах – падает.

Таблица 10 Исходные данные к практической работе №8

№ Вар.	$\Delta x, м$	$h, м$	$v_1, м/с$	$v_2, м/с$	φ°	№ Вар.	$\Delta x, м$	$h, м$	$v_1, м/с$	$v_2, м/с$	φ°
1	40	90	1200	2600	10	16	50	100	2200	4500	10
2	30	110	1000	2500	15	17	40	130	2200	4100	5
3	20	60	1500	2400	20	18	30	90	2000	3700	5
4	50	100	1000	2300	5	19	45	120	1800	3000	10
5	30	90	1400	2700	10	20	40	150	1900	3200	0
6	35	120	900	1700	10	21	50	100	1500	3000	10
7	25	100	1500	2000	20	22	30	80	1900	2800	5
8	15	80	1000	2700	10	23	25	70	1800	3000	15
9	10	80	800	2800	5	24	20	80	1700	3200	10
10	20	90	1400	2900	10	25	40	80	2100	3700	5
11	30	100	1800	3000	0	26	30	140	2300	3500	15
12	40	100	2000	3500	5	27	35	110	2400	3500	10
13	50	110	2100	3800	5	28	45	70	2500	4000	5
14	45	100	2000	3800	15	29	50	100	2600	4000	15
15	50	150	2100	4000	10	30	55	135	2500	3700	0

2. Результаты расчетов представить в виде таблицы 11:

Таблица 11 Времена прихода сейсмических волн

Расстояние $x, м$	$t_{np}, с$	$t_{omp}, с$	$t_{прел}, с$

3. Для преломленной волны рассчитать критический угол i , координаты начальных точек годографа x_n и координаты x_c .

4. Для отраженной волны рассчитать координату минимума годографа x_{min} .

5. По данным расчетов построить годографы прямой, отраженной и преломленных волн.

6. По годографу прямой волны определить скорость в покрывающем слое v_1 . По годографу преломленной волны определить кажущуюся скорость v_k , из закона Бендорфа получить значение скорости v_2 . Для отраженной волны определить t_0 время пробега волны в точке $x=0$.

7. Отчет должен содержать: название работы, исходные данные, основные формулы с пояснениями, результаты расчетов, годографы сейсмических волн, выводы.

Практическая работа № 9 Построение отражающих границ

Исходными данными для построения сейсмического разреза в методе отраженных волн служат годографы отраженных волн и данные о скорости распространения колебаний в покрывающей толще.

Для построения отражающих сейсмических границ могут использоваться различные способы; *способ эллипсов, способ засечек, способ t_0 , способ полей времен*. Но наиболее простым является *способ засечек и способ t_0* .

Способ t_0 используют для построения криволинейных границ. Для этого в каждом пункте возбуждения O_k по минимальному времени на годографе t_{0k} вычисляют глубину h_k до отражающей границы

$$h_k = \frac{1}{2} v_{cp} t_{0k}.$$

Отражающая точка границы для каждого O_k будет лежать на окружности радиуса h_k , проведенной из точки O_k (рисунок 5). Отражающая граница будет совпадать с огибающей линией всех окружностей, построенных из последовательно расположенных пунктов возбуждения.

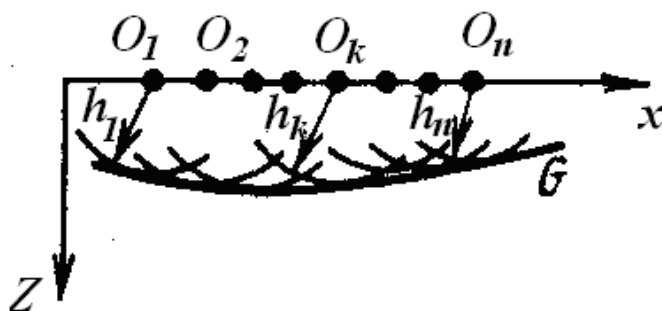


Рисунок 5 Построение отражающей границы способом t_0

Способ засечек строго применим для однородных сред, но приближенно может использоваться в районах, где развиты мощные толщи терригенных отложений, средняя скорость в которых непрерывно и плавно увеличивается с глубиной. В способе засечек предполагается, что годографу соответствует плоская отражающая граница, поэтому положение границы определяется положением так называемого мнимого пункта взрыва - точкой зеркального отображения взрыва в отражающей границе.

Действительно, если имеем годограф Γ , соответствующий плоской отражающей границе AB , залегающей на глубине H под пунктом взрыва O , то мнимая точка взрыва O^* , исходя из равенства прямоугольных треугольников OCD и O^*CD , OCE и O^*CE , находится на расстояниях $r_1=vt_1$ и $r_2=vt_2$ от точек x_1 и x_2 ; где t_1 и t_2 – наблюдаемые в этих точках времена отражений, а v – средняя скорость в покрывающей среде (рисунок 6). Таким образом, мнимый пункт взрыва совпадает с точкой пересечения окружностей, проведенных радиусами r_1 и r_2 из точек x_1 и x_2 . Отражающая площадка будет лежать на перпендикуляре, проведенном через середину прямой, соединяющей мнимую и действительную точки взрыва.

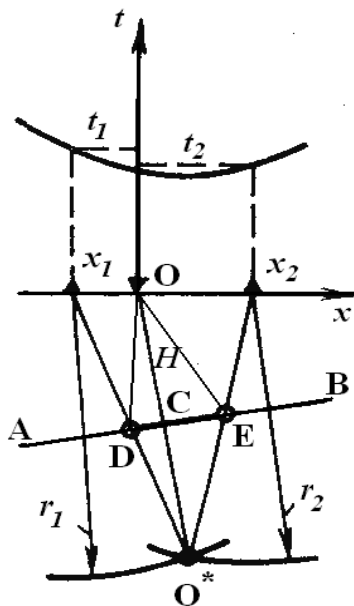


Рисунок 6 Построение отражающей границы способом засечек

Данные о сейсмических скоростях можно получить: 1) проводя непосредственные измерения скорости в скважинах, горных выработках, на обнажениях и образцах; 2) путем расчета по годографам отраженных волн, зарегистрированных на земной поверхности.

По годографам определяют эффективную скорость. Одним из способов определения $v_{эф}$ является способ постоянной разности. Способ основан на том для точек наблюдения, отстоящих на расстояниях x и $x+m$ от пункта возбуждения соответствующих горизонтальной отражающей границы G , залегающей на глубине h , можно записать следующие равенства (рисунок 7.а):

$$\begin{aligned} t_x &= S_x / v_{эф}, \\ t_{x+m} &= S_{x+m} / v_{эф}, \end{aligned}$$

учитывая, что

$$S_x = \sqrt{(2h)^2 + x^2}, \quad S_{x+m} = \sqrt{(2h)^2 + (x+m)^2},$$

можно записать

$$t_x^2 v_{эф}^2 = 4h^2 + x^2,$$

$$t_{x+m}^2 v_{эф}^2 = 4h^2 + x^2 + 2xm + m^2$$

Вычитая из нижнего равенства верхнее и проводя замену переменных $t_{x+m}^2 - t_x^2 = u$, получим уравнение прямой линии в системе координат (x, u) (рисунок 7.б)

$$uv_{эф}^2 = 2mx + m^2.$$

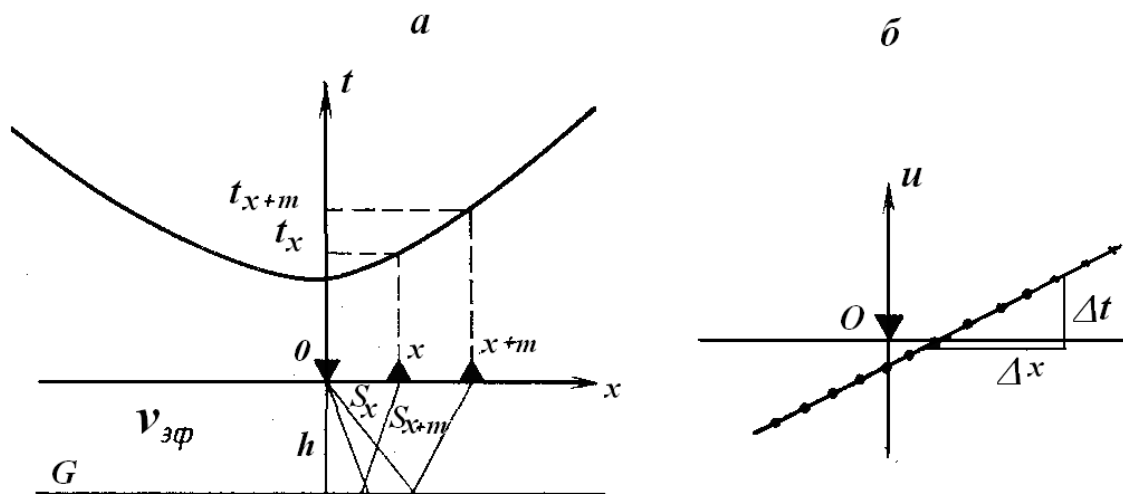


Рисунок 7 Определение эффективной скорости по годографу отраженной волны

Угловым коэффициентом этой прямой линии $\Delta u / \Delta x = 2m / v_{эф}$, откуда получаем формулу для расчета эффективной скорости

$$v_{эф} = \sqrt{2m \frac{\Delta x}{\Delta u}}$$

Задание

1. По исходным данным $t_{отр}$ и Δx , в соответствии с номером вашего варианта (таблица 13), на миллиметровке построить годограф отраженной волны. При построении считать, что ПВ располагается на 18 пикете профиля.

2. По годографу отраженной волны способом постоянной разности определить эффективную скорость для чего необходимо:

– выбрать величину расстояния между точками m для которых будет рассчитываться разность u ;

– для всех точек годографа рассчитать значение u и результаты расчетов представить в виде таблицы 12:

Таблица 12 Результаты расчетов постоянной разности

$x, м$	$t_{x+m}, с$	$t_x, с$	u

- построить график величины постоянной разности u от расстояния x ;
- по графику определить эффективную скорость.

3. Используя полученные данные об эффективной скорости $v_{эф}$ построить положение отражающей границы способом засечек. Построения выполнять на миллиметровке под годографами преломленных волн.

4. Отчет должен содержать краткие теоретические сведения, результаты расчетов и необходимые графические построения.

Таблица 13 Исходные данные к практической работе 9

ПК	Вар	Время прихода отраженной волны t_{omp}, c														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0,493	0,223	0,268	0,329	0,422	0,530	0,801	0,702	0,779	0,490	0,477	0,336	0,232	0,237	0,247	
2	0,464	0,212	0,255	0,310	0,401	0,500	0,761	0,664	0,742	0,461	0,454	0,319	0,221	0,225	0,233	
3	0,436	0,201	0,242	0,291	0,380	0,470	0,721	0,627	0,705	0,433	0,432	0,304	0,210	0,212	0,220	
4	0,408	0,190	0,229	0,273	0,359	0,440	0,682	0,590	0,668	0,405	0,409	0,288	0,200	0,199	0,206	
5	0,380	0,179	0,216	0,254	0,339	0,411	0,643	0,554	0,632	0,377	0,387	0,273	0,189	0,187	0,192	
6	0,352	0,168	0,203	0,236	0,318	0,382	0,604	0,519	0,596	0,351	0,365	0,258	0,179	0,175	0,179	
7	0,325	0,158	0,191	0,218	0,298	0,354	0,566	0,484	0,561	0,325	0,344	0,243	0,170	0,163	0,166	
8	0,299	0,148	0,178	0,201	0,278	0,327	0,528	0,451	0,527	0,300	0,323	0,229	0,161	0,151	0,154	
9	0,273	0,138	0,167	0,184	0,259	0,301	0,490	0,418	0,493	0,277	0,302	0,215	0,152	0,140	0,142	
10	0,248	0,129	0,155	0,168	0,240	0,275	0,454	0,388	0,460	0,256	0,283	0,202	0,144	0,130	0,130	
11	0,224	0,120	0,144	0,152	0,222	0,252	0,418	0,360	0,429	0,237	0,264	0,190	0,136	0,120	0,119	
12	0,202	0,112	0,134	0,138	0,204	0,231	0,384	0,334	0,399	0,221	0,247	0,179	0,130	0,111	0,110	
13	0,183	0,105	0,124	0,126	0,188	0,212	0,351	0,311	0,371	0,209	0,231	0,168	0,124	0,103	0,101	
14	0,166	0,099	0,115	0,116	0,173	0,197	0,320	0,293	0,346	0,201	0,216	0,160	0,119	0,096	0,094	
15	0,154	0,094	0,108	0,108	0,159	0,186	0,292	0,279	0,323	0,198	0,204	0,153	0,115	0,091	0,090	
16	0,146	0,091	0,102	0,104	0,148	0,180	0,267	0,271	0,304	0,200	0,194	0,147	0,113	0,088	0,087	
17	0,145	0,090	0,098	0,103	0,139	0,180	0,247	0,269	0,290	0,207	0,187	0,144	0,112	0,088	0,087	
18	0,150	0,090	0,095	0,107	0,133	0,186	0,233	0,273	0,280	0,218	0,183	0,143	0,113	0,089	0,090	
19	0,160	0,092	0,095	0,113	0,131	0,197	0,226	0,283	0,276	0,233	0,183	0,144	0,114	0,092	0,095	
20	0,175	0,095	0,097	0,123	0,133	0,212	0,227	0,298	0,278	0,252	0,186	0,147	0,117	0,098	0,102	
21	0,194	0,100	0,101	0,135	0,138	0,230	0,234	0,318	0,285	0,273	0,192	0,153	0,122	0,105	0,111	
22	0,215	0,107	0,107	0,149	0,147	0,252	0,249	0,342	0,297	0,295	0,201	0,160	0,127	0,113	0,120	
23	0,238	0,114	0,114	0,164	0,158	0,275	0,270	0,368	0,315	0,320	0,213	0,168	0,133	0,122	0,131	
24	0,262	0,122	0,122	0,180	0,171	0,300	0,295	0,397	0,336	0,345	0,227	0,179	0,141	0,132	0,143	
25	0,288	0,131	0,132	0,197	0,186	0,327	0,323	0,428	0,360	0,372	0,242	0,190	0,148	0,143	0,155	
26	0,314	0,140	0,142	0,214	0,203	0,354	0,354	0,461	0,387	0,399	0,259	0,202	0,157	0,154	0,168	
27	0,341	0,150	0,153	0,232	0,220	0,382	0,387	0,495	0,416	0,427	0,278	0,215	0,166	0,165	0,181	
28	0,369	0,160	0,165	0,250	0,238	0,411	0,422	0,530	0,447	0,456	0,297	0,229	0,175	0,177	0,194	
29	0,396	0,171	0,177	0,268	0,257	0,440	0,457	0,565	0,479	0,484	0,317	0,243	0,185	0,190	0,207	
30	0,424	0,182	0,189	0,287	0,277	0,469	0,494	0,602	0,512	0,514	0,338	0,258	0,195	0,202	0,221	
31	0,453	0,192	0,201	0,306	0,296	0,499	0,531	0,638	0,546	0,543	0,359	0,273	0,206	0,215	0,235	
32	0,481	0,204	0,214	0,324	0,316	0,529	0,569	0,676	0,581	0,573	0,381	0,288	0,216	0,227	0,249	
33	0,510	0,215	0,227	0,343	0,337	0,560	0,608	0,713	0,616	0,603	0,403	0,304	0,227	0,240	0,263	
34	0,539	0,226	0,240	0,363	0,357	0,590	0,647	0,752	0,653	0,633	0,425	0,319	0,238	0,253	0,277	
35	0,568	0,238	0,253	0,382	0,378	0,621	0,686	0,790	0,689	0,663	0,448	0,336	0,249	0,266	0,292	
$\Delta x, m$	20	25	30	35	40	45	50	45	40	35	30	25	20	25	30	

Продолжение таблицы 13

ПК \ Вар	Время прихода отраженной волны $t_{отр}, c$														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	0,266	0,356	0,365	0,247	0,390	0,322	0,334	0,301	0,337	0,371	0,386	0,297	0,416	0,524	0,493
2	0,251	0,338	0,347	0,236	0,369	0,303	0,316	0,284	0,322	0,351	0,370	0,281	0,394	0,494	0,464
3	0,235	0,321	0,328	0,225	0,348	0,283	0,298	0,268	0,306	0,332	0,355	0,265	0,372	0,464	0,436
4	0,220	0,304	0,310	0,214	0,328	0,264	0,280	0,251	0,291	0,313	0,340	0,250	0,351	0,434	0,408
5	0,205	0,286	0,291	0,203	0,307	0,246	0,262	0,235	0,276	0,294	0,325	0,234	0,330	0,404	0,380
6	0,190	0,269	0,273	0,193	0,287	0,227	0,245	0,220	0,261	0,276	0,311	0,219	0,309	0,374	0,352
7	0,175	0,252	0,255	0,182	0,267	0,210	0,228	0,204	0,246	0,257	0,297	0,204	0,289	0,345	0,325
8	0,161	0,236	0,237	0,172	0,247	0,192	0,212	0,189	0,232	0,239	0,283	0,189	0,269	0,316	0,299
9	0,148	0,219	0,220	0,163	0,227	0,176	0,196	0,175	0,218	0,221	0,271	0,174	0,250	0,287	0,273
10	0,135	0,203	0,203	0,154	0,209	0,161	0,181	0,162	0,204	0,203	0,259	0,160	0,232	0,259	0,248
11	0,123	0,187	0,186	0,145	0,190	0,147	0,167	0,150	0,191	0,186	0,247	0,147	0,215	0,232	0,224
12	0,112	0,171	0,170	0,137	0,173	0,134	0,154	0,139	0,178	0,169	0,237	0,134	0,199	0,206	0,202
13	0,103	0,156	0,155	0,130	0,157	0,124	0,142	0,129	0,166	0,153	0,227	0,122	0,185	0,182	0,183
14	0,096	0,142	0,141	0,123	0,142	0,117	0,133	0,122	0,155	0,138	0,219	0,111	0,172	0,161	0,166
15	0,091	0,129	0,128	0,118	0,130	0,114	0,126	0,117	0,145	0,125	0,212	0,102	0,163	0,143	0,154
16	0,089	0,118	0,118	0,113	0,120	0,114	0,121	0,114	0,136	0,114	0,206	0,095	0,156	0,130	0,146
17	0,091	0,108	0,109	0,110	0,114	0,118	0,120	0,115	0,129	0,105	0,202	0,090	0,153	0,123	0,145
18	0,095	0,100	0,104	0,108	0,112	0,125	0,122	0,118	0,124	0,100	0,200	0,089	0,153	0,125	0,150
19	0,102	0,095	0,103	0,108	0,114	0,135	0,127	0,124	0,121	0,099	0,199	0,090	0,157	0,134	0,160
20	0,111	0,094	0,105	0,109	0,120	0,148	0,134	0,132	0,120	0,101	0,200	0,095	0,164	0,149	0,175
21	0,122	0,096	0,110	0,112	0,130	0,162	0,144	0,142	0,121	0,107	0,203	0,102	0,174	0,169	0,194
22	0,134	0,102	0,119	0,115	0,142	0,177	0,156	0,154	0,125	0,117	0,207	0,111	0,186	0,192	0,215
23	0,146	0,110	0,130	0,120	0,157	0,194	0,169	0,167	0,130	0,129	0,213	0,122	0,201	0,216	0,238
24	0,160	0,120	0,143	0,126	0,173	0,211	0,183	0,180	0,138	0,142	0,220	0,134	0,217	0,243	0,262
25	0,174	0,132	0,157	0,133	0,190	0,229	0,198	0,195	0,147	0,157	0,228	0,147	0,234	0,270	0,288
26	0,189	0,146	0,172	0,141	0,209	0,247	0,214	0,210	0,157	0,173	0,238	0,160	0,253	0,298	0,314
27	0,203	0,160	0,188	0,149	0,227	0,266	0,231	0,225	0,168	0,190	0,248	0,174	0,272	0,327	0,341
28	0,218	0,175	0,205	0,158	0,247	0,285	0,248	0,241	0,180	0,207	0,260	0,189	0,292	0,356	0,369
29	0,234	0,191	0,222	0,167	0,267	0,304	0,265	0,257	0,193	0,225	0,272	0,204	0,312	0,386	0,396
30	0,249	0,207	0,240	0,177	0,287	0,323	0,283	0,274	0,206	0,243	0,285	0,219	0,333	0,415	0,424
31	0,265	0,223	0,258	0,187	0,307	0,343	0,300	0,290	0,220	0,262	0,298	0,234	0,354	0,445	0,453
32	0,281	0,240	0,276	0,198	0,328	0,363	0,318	0,307	0,234	0,280	0,312	0,250	0,375	0,475	0,481
33	0,296	0,256	0,294	0,208	0,348	0,382	0,337	0,324	0,249	0,299	0,327	0,265	0,397	0,506	0,510
34	0,312	0,273	0,312	0,219	0,369	0,402	0,355	0,341	0,263	0,318	0,341	0,281	0,419	0,536	0,539
35	0,328	0,291	0,331	0,230	0,390	0,422	0,374	0,358	0,278	0,337	0,357	0,297	0,441	0,566	0,568
$\Delta x, м$	35	40	45	50	55	50	45	40	35	40	35	30	40	50	60

Практическая работа № 10

Построение преломляющих границ

Для построения преломляющих сейсмических границ наиболее часто используются способ t_0 . В этом способе для определения положения преломляющей границы используется формула, по которой находят глубину залегания границы в любой точке полезного участка профиля, т. е. интервала, на котором имеются встречные ветви увязанных во взаимных точках годографов преломленных волн:

$$h = K \cdot t_0,$$

где $K = \frac{v_1}{2 \cos i}$; $t_0 = \bar{t}(x) - [T - \bar{t}(x)]$; $\bar{t}(x)$ и $\bar{t}(x)$ – время по прямому и обратному годографам в любой точке полезного участка профиля; T – взаимное время.

Для вычисления коэффициента K необходимо знать среднюю скорость v_1 в покрывающей толще и граничную скорость v_2 в преломляющей среде.

Тогда $\sin i = \frac{v_1}{v_2}$. Зная $\sin i$, определяется $\cos i$ по формуле: $\cos i = \sqrt{1 - \sin^2 i}$.

Тогда

$$K = \frac{v_1}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2}}.$$

Средняя скорость в покрывающей толще v_1 обычно определяется по данным сейсмокаротажа или метода отраженных волн, а также она может быть определена по годографам прямых волн, если находится глубина залегания первой, самой верхней преломляющей границы. По угловому коэффициенту годографов прямых волн определяется средняя скорость в первом слое: $v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Для дальнейших расчетов, за v_1 принимается среднее арифметическое из значений скорости у обоих пунктов взрыва, т. е.

$$\bar{v}_1 = \frac{{}^1v_1 + {}^2v_1}{2},$$

где 1v_1 и 2v_1 – значения скоростей определенные по годографам прямых волн соответственно у первого и второго пунктов взрыва.

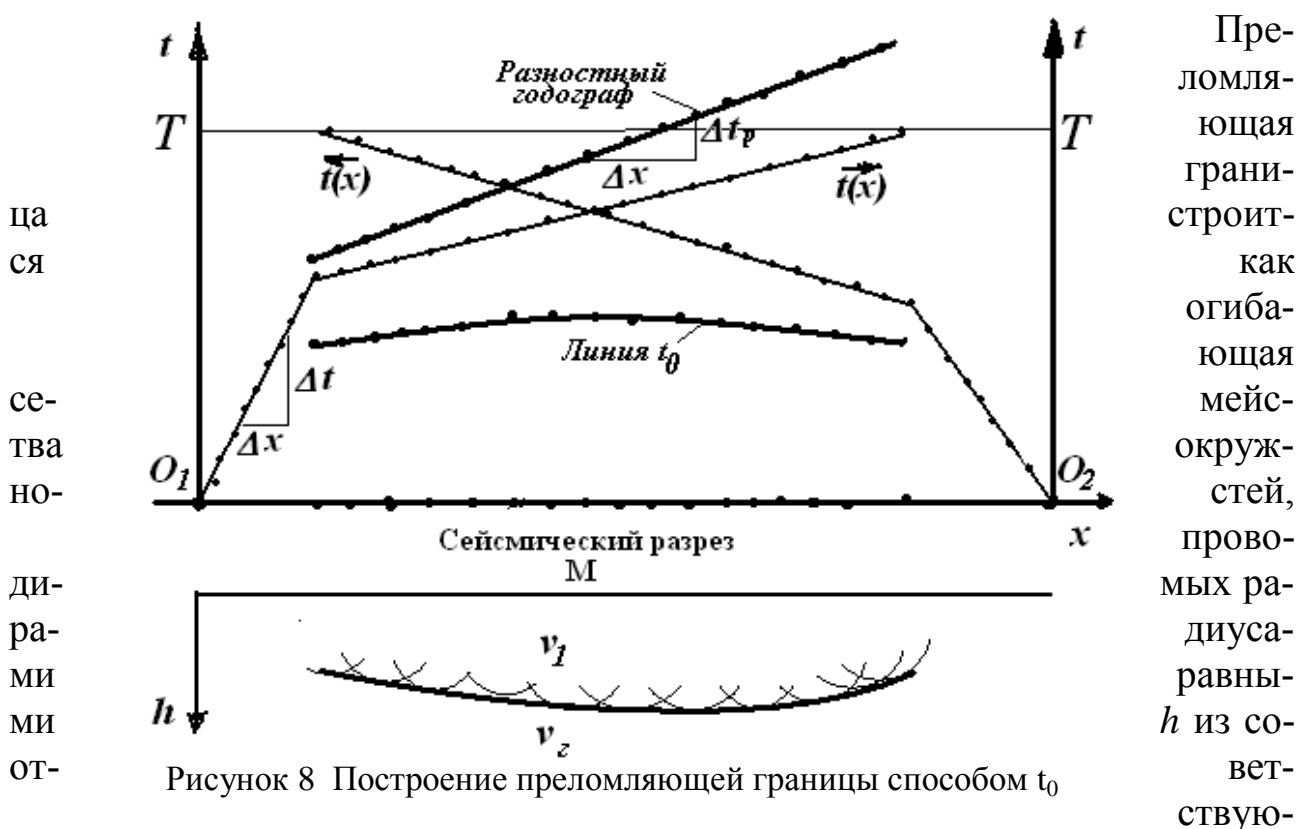
Граничная скорость вычисляется по наклону разностного годографа (рисунок 8), определяемого соотношением:

$$t_p = \bar{t}(x) + [T - \bar{t}(x)].$$

А, как известно, при углах наклона границы до 15° граничная скорость приближенно равна удвоенной кажущейся скорости, определяемой по разностному годографу:

$$v_z = 2v_p = 2 \frac{\Delta x}{\Delta t_p}$$

Таким образом, чтобы определить граничную скорость и положение преломляющей границы необходимо определить время во взаимных точках T а также рассчитать и построить разностный годограф и линию t_0 (рисунок 9). Снимая значения времени с кривой t_0 и используя вычисленное по скоростям значение коэффициента K , по формуле $h = K \cdot t_0$ определяется глубина преломляющей границы.



Преломляющая граница строится как огибающая сейсмических профилей, проводимых радиусами h из соответствующих точек пикетов профиля. Учитывая, однако, что способ t_0 является приближенным и используется при небольших углах наклона границ (менее 15°), допустимо вычисленные значения глубины откладывать по вертикали и проводить через полученные точки усредняющую линию

Задание

1. Построить годографы прямых и преломленных волн. Данные для вариантов $n = 1-15$ взять из таблицы 14, при этом значения t пересчитать по формуле $t_n = t + 0,1 \cdot n$. Расстояние между пикетами равно 100 м.

Данные для вариантов $n = 16-30$ взять из таблицы 15, при этом значения t пересчитать по формуле $t_n = t + 0,1 \cdot (n - 15)$. Расстояние между пикетами равно 50 м. Времена прихода сейсмических волн даны в секундах
Пункты возбуждения ПВ расположены в первом и последнем пикетах.

Таблица 14 Исходные данные для практической работы 10 (варианты 1-15)

№ ПК	t_{np}	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$	№ ПК	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$	№ ПК	t_{np}	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$
1		0,99	2,39	16	1,46	1,91	31		1,98	1,41
2		1,00	2,39	17	1,49	1,87	32		2,02	1,37
3	0,12	1,03	2,36	18	1,51	1,83	33		2,04	1,33
4	0,23	1,07	2,33	19	1,55	1,79	34		2,07	1,29
5	0,32	1,10	2,31	20	1,57	1,75	35		2,11	1,26
6	0,42	1,14	2,27	21	1,61	1,72	36		2,14	1,22
7	0,53	1,18	2,24	22	1,66	1,69	37	0,76	2,18	1,19
8	0,61	1,21	2,21	23	1,70	1,65	38	0,65	2,23	1,16
9	0,73	1,24	2,18	24	1,73	1,62	39	0,54	2,26	1,13
10	0,82	1,27	2,14	25	1,75	1,58	40	0,45	2,29	1,09
11		1,30	2,11	26	1,79	1,55	41	0,36	2,32	1,05
12		1,33	2,07	27	1,83	1,52	43	0,24	2,34	1,02
13		1,36	2,03	28	1,86	1,49	43	0,15	2,38	0,99
14		1,39	1,99	29	1,90	1,46	44	0,05	2,41	0,96
15		1,43	1,95	30	1,95	1,44	45		2,42	0,94

Таблица 15 Исходные данные для практической работы 10 (варианты 16-30)

№ ПК	$t_{np, c}$	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$	№ ПК	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$	№ ПК	$t_{np, c}$	$\bar{t}_{nрел}$	$\bar{t}_{nрел}$
1	0,03		2,15	14	1,23	1,59	27		1,78	1,07
2	0,11		2,13	15	1,28	1,56	28		1,82	1,02
3	0,22		2,09	16	1,32	1,52	29	0,96	1,85	0,98
4	0,33		2,03	17	1,36	1,48	30	0,86	1,88	0,94
5	0,46		1,98	18	1,42	1,44	31	0,74	1,91	0,90
6	0,56		1,91	19	1,46	1,40	32	0,62	1,96	0,87
7	0,69		1,86	20	1,50	1,35	33	0,51	1,98	0,82
8	0,82		1,82	21	1,56	1,32	34	0,38	2,03	0,77
9	0,93		1,77	22	1,59	1,28	35	0,27	2,06	0,73
10	1,05	1,05	1,74	23	1,64	1,24	36	0,15	2,10	0,69
11	1,16	1,10	1,70	24	1,68	1,20	37	0,04	2,13	0,64
12		1,15	1,66	25	1,71	1,15				
13		1,19	1,62	26	1,75	1,11				

При построении годографов использовать горизонтальный масштаб: в 1 см - 0,2 км, вертикальный масштаб: в 1 см - 0,02 сек.

2. По годографам прямых волн определить среднюю скорость \bar{v}_1 в по-

крывающей преломляющую границу среде.

3. Для точек совместного существования годографов преломленных волн рассчитать и построить линию t_0 и разностный годограф t_p , для чего на плоскости годографа проводят прямую взаимного времени T (при различающихся в пределах случайных ошибок $\bar{t}_{\text{вз}}$ и $\bar{t}_{\text{вз}}$ за T принимают среднее значение). Далее для точек $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, лежащих внутри участка совместного существования годографов преломленных волн снимают разность $\Delta t = T - \bar{t}(x)$, т. е. между прямой T и точками обратного годографа. Эту разность сразу же откладывают вверх (для получения линии t_p) и вниз (для линии t_0) от соответствующих точек прямого годографа.

4. По разностному годографу определить граничную скорость v_2 , в преломляющем слое.

5. Для точек совместного существования годографов преломленных волн рассчитать коэффициент K и затем глубину залегания преломляющей границы h .

6. Все результаты расчетов представить в виде таблицы 16:

Таблица 16 Результаты расчетов по встречным годографам преломленных волн

№ ПК	$\bar{v}_1, \text{ м/с}$	$v_2, \text{ м/с}$	$t_0, \text{ с}$	$h, \text{ м}$

7. Построить положение преломляющей границы в виде сейсмического разреза. Построения выполнять на миллиметровке под годографами преломленных волн.

8. Отчет должен содержать краткие теоретические сведения, таблицу результатов расчетов, годографы сейсмических волн, разностный годограф, линию t_0 , сейсмический разрез по профилю.

Литература

1. Геофизические методы исследования: учеб. пособие для вузов / В. К. Хмелевской [и др.]; под ред. В. К. Хмелевского. – М.: Недра, 1988. – 523 с.
2. Геофизика: практикум для вузов/ составители В.Н.Груздев, И.Ю.Антонова – ВГУ, 2007. – 44 с.
3. Знаменский В. В. Общий курс полевой геофизики: учебник для вузов / В. В. Знаменский. – М.: Недра, 1989. – 520 с.
4. Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры: учебник для вузов / В. К. Хмелевской. – М.: Дубна, 1997. – 240 с.

Учебное издание

ВЕРУТИН Михаил Григорьевич

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Практическое пособие
для студентов специальности I - 51 01 01
«Геология и разведка месторождений
полезных ископаемых»**

Лицензия № 02330/0133208 от 30.04.04.

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Бумага писчая №1. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л.

Уч.- изд. л. . Тираж экз. Заказ №

Отпечатано с оригинала-макета на ризографе
учреждения образования

«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

Лицензия №02330/0056611 от 16.02.04.

246019, г. Гомель, ул. Советская, 104