

Министерство образования и науки Российской Федерации
Вологодский государственный университет

Кафедра геоэкологии и инженерной геологии

ГЕОФИЗИКА

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Факультет экологии

Направление бакалавриата – 05.03.06 «Экология и природопользование»

Вологда
2015

УДК 577.3 (076)

Геофизика: методические указания по выполнению лабораторных работ.
– Вологда : ВоГУ, 2015. – 28 с.

Учебная дисциплина «Геофизика» изучается студентами направления бакалавриата «Экология и природопользование» в 5 семестре.

В методических указаниях сформулированы основные требования к знаниям, умениям и навыкам, получаемым студентами направления «Экология и природопользование» по курсу «Геофизика». Представлена тематика лабораторных занятий, рекомендации к их выполнению, необходимые материалы и варианты заданий для самостоятельной работы.

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГУ

Составитель: Т.К. Карандашева, канд. геогр. наук

Рецензент: Н.Г. Крутов, канд. техн. наук

Подписано в печать 5.03.2015.	Усл. печ. л. 1,75	Тираж 20 экз.
Печать офсетная.	Бумага писчая.	Заказ № 67.

Отпечатано: РИО ВоГУ, г. Вологда, ул. С. Орлова, 6



Введение

Настоящие методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по курсу «Геофизика», который в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования отнесен к профессиональному циклу и изучается в 5 семестре.

В курсе даются представления об основах геофизики как науки, изучающей строение Земли и ее оболочек, геофизические поля, их роль в эволюции Земли и связь с природными и антропогенными процессами. Рассматриваются роль и место геофизики в цикле наук о Земле, основы методов геофизических исследований.

Цель курса – дать общие представления о физическом строении и свойствах Земли; о геофизических полях, определяющих характер взаимодействия оболочек Земли и особенности протекания природных и техногенных процессов; о методах геофизических исследований.

В результате освоения дисциплины студент должен знать строение, физические свойства и модели Земли, иметь представление о геофизических полях и геофизических методах в геоэкологии и природопользовании.

Выполнение лабораторных работ заключается в изучении и углублении теоретических знаний по курсу, в получении умений и навыков анализа информации, представленной в виде текстов, графиков, таблиц и карт.

Лабораторные работы выполняются студентами под руководством преподавателя. По каждой теме предусмотрены задания, которые выполняются студентами как индивидуально, так и коллективно. Студент ведет рабочую тетрадь, в которой записывает тему, цель, задания, проводит все необходимые расчеты, оформляет полученные результаты и делает выводы. Прежде чем приступить к выполнению заданий, обсуждается теоретический материал по теме. По возможности тема иллюстрируется видеоматериалом. Далее проводятся необходимые расчеты, строятся графики, оформляются таблицы для записи результатов. Все клетки таблицы должны быть заполнены. Причины отсутствия данных в той или иной клетке различны, поэтому при заполнении таблиц рекомендуются следующие условные обозначения:

- «...» (многоточие) – явление существует, но сведений о нем нет;
- «0» (нуль) – явление существует, но значение его показателя меньше половины единицы, принятой при округлении (например, меньше 0,5 при записи данных целыми числами);
- «-» (тире) – явление отсутствует;
- «X» (крестик) – клетка не подлежит заполнению.

По итогам выполнения каждого задания делаются соответствующие выводы.

В конце каждого занятия рабочая тетрадь предоставляется преподавателю для проверки. На каждом академическом занятии выполняется одна лабораторная работа. Последовательность их выполнения отражена в содержании методических указаний. После того, как лабораторная работа проведена коллективно, студенты выполняют самостоятельную работу по аналогичным заданиям и сдают на проверку.

Справочные сведения, необходимые для выполнения самостоятельных работ, приведены в приложении.

При разработке методических указаний использовались материалы, приведенные в [1-9].

Распределение часов по видам занятий

Виды занятий	5 семестр
	часы
Лекции	32
Лабораторные работы	16
Самостоятельная работа	60
Подготовка к промежуточной аттестации	36
Всего часов	144
Итоговый контроль	экзамен

Лабораторные работы

Содержание	Часы
Внутреннее строение Земли. Контрольная работа № 1	4
Гравитационное поле. Контрольная работа № 2	4
Магнитное поле Земли.	4
Тепловое поле Земли. Контрольная работа № 3	4
Всего часов	16

Лабораторная работа № 1

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

Цель работы: изучить внутреннее строение Земли.

Для достижения цели ставятся следующие задачи:

1. Подобрать исходные данные.
2. Выделить внутренние геосферы и слои Земли.
3. Определить толщину и объем внутренних геосфер и слоев Земли.

1. В качестве исходных данных используем классическую сейсмическую модель Джеффриса-Гутенберга, построенную на основе изменения по радиусу Земли скоростей распространения продольных V_p и поперечных V_s сейсмических волн (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) сейсмических волн внутри Земли

Продольные волны имеют наибольшую скорость V_p и проходят через твердые и жидкие среды. Поперечные волны проходят только через твердое тело и затухают в жидком и газообразном веществах. Скорость поперечных волн V_s меньше скорости продольных волн.

2. Если бы наша планета от поверхности до центра была бы однородным телом, то есть плотность повсюду была бы постоянной, то на всех глубинах скорость сейсмических волн была бы одинаковой. В действительности скорость волн с глубиной меняется скачкообразно (рис. 1.1).

Самый заметный скачок скорости сейсмических волн наблюдается на глубине 2900 км: скорость продольных волн (V_p) резко падает с 13,6 км/с до 8,1 км/с, скорость поперечных волн (V_s) резко снижается и приближается к нулю. Это означает, что практически глубже 2900 км поперечные волны не проникают, и можно предположить, что глубже 2900 км вещество Земли обладает свойствами жидкого тела.

Резкое изменение скоростей сейсмических волн происходит также в поверхностном слое Земли до глубины в среднем 41 км: V_p возрастает от 5,0 до 8,0 км/с, V_s от 1,5 до 4,5 км/с.

Скачкообразное изменение скоростей продольных и поперечных волн отражает скачкообразное изменение плотности земных недр. Скачкообразное изменение плотности земных недр свидетельствует о расслоенности Земли и существовании внутри ее трех оболочек или геосфер: земной коры в среднем до глубины 41 км, мантии на глубинах от 41 до 2900 км и ядра, находящегося на глубинах свыше 2900 км от поверхности Земли.

Выделяем слои внутри мантии и ядра. Для этого найдем на графике наиболее выраженные точки перегиба, и опустим перпендикуляры на ось глубин h (рис. 1.2).

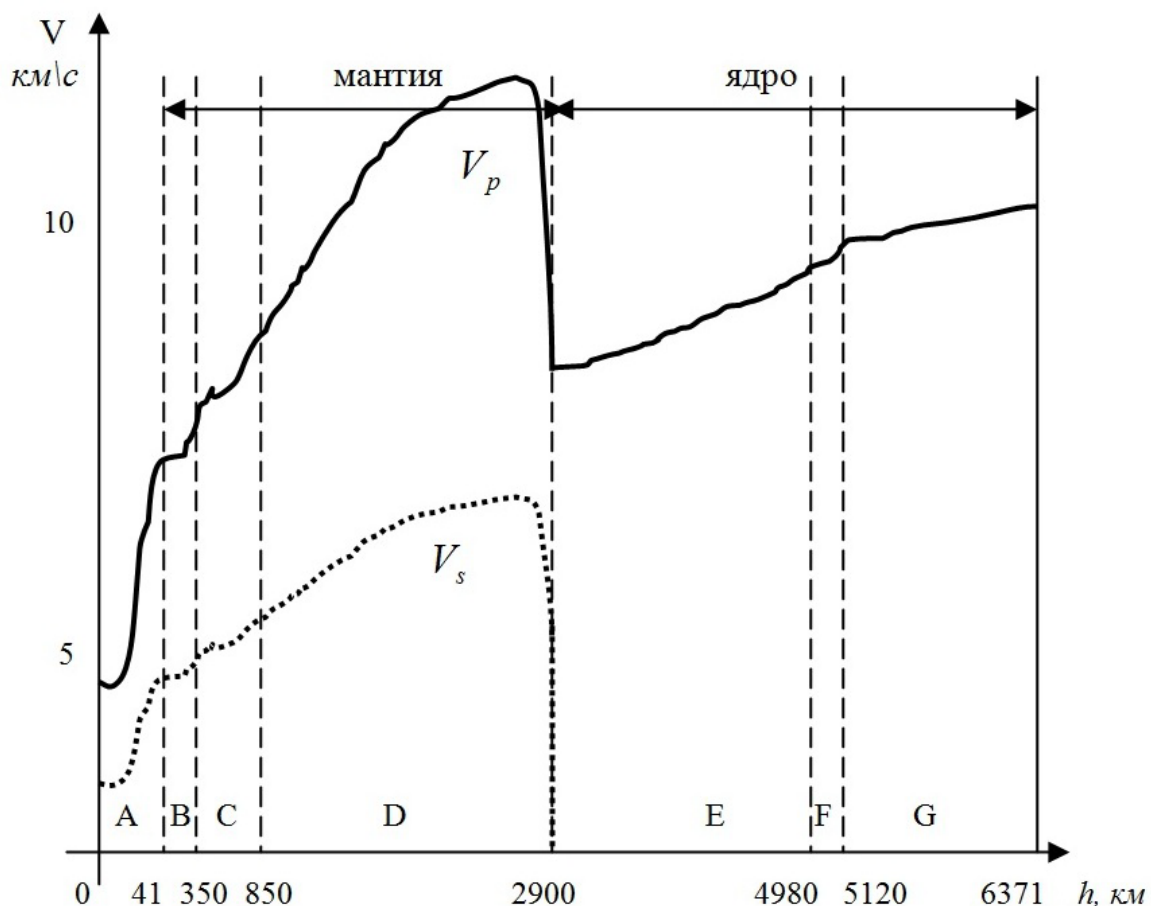


Рис. 1.2. Выделение внутренних геосфер и слоев Земли

Обозначим слои: A, B, C, D, E, F, G. Поверхностный слой – земная кора – получает обозначение A. В мантии можно выделить верхнюю мантию – слой

В, среднюю мантию – слой С и нижнюю мантию – слой D. В ядре выделяем внешнее ядро – слой E, внутреннее ядро – G, и переходный слой от внешнего к внутреннему ядру - слой F.

Полученные данные о границах геосфер и слоев Земли представим в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Границы глубин внутренних геосфер и слоев Земли

Геосфера	Слой	Границы глубин, км
кора	A	0 - 41
мантия	B	41 - 350
	C	350 - 850
	D	850 - 2900
вся мантия		41 - 2900
ядро	E	2900 - 4980
	F	4980 - 5120
	G	5120 - 6371
все ядро		2900 - 6371
вся Земля		0 - 6371

3. Определим толщину внутренних геосфер и слоев Земли. Для этого вычислим разность глубин внешней и внутренней границы каждого слоя (табл. 1.2)

Таблица 1.2

Границы глубин и толщина внутренних геосфер и слоев Земли

Геосфера	Слой	Границы глубин, км	Толщина слоя	
			км	% R_3
кора	A	0 - 41	$41 - 0 = 41$	$\frac{41}{6371} \cdot 100\% = 0,6$
мантия	B	41 - 350	$350 - 41 = 309$	$\frac{309}{6371} \cdot 100\% = 4,9$
	C	350 - 850	$850 - 350 = 500$	$\frac{500}{6371} \cdot 100\% = 7,8$
	D	850 - 2900	$2900 - 850 = 2050$	$\frac{2050}{6371} \cdot 100\% = 32,2$
вся мантия		41 - 2900	$2900 - 41 = 2859$	$\frac{2859}{6371} \cdot 100\% = 44,9$
ядро	E	2900 - 4980	$4980 - 2900 = 2080$	$\frac{2080}{6371} \cdot 100\% = 32,7$
	F	4980 - 5120	$5120 - 4980 = 140$	$\frac{140}{6371} \cdot 100\% = 2,2$
	G	5120 - 6371	$6371 - 5120 = 1251$	$\frac{1251}{6371} \cdot 100\% = 19,6$
все ядро		2900 - 6371	$6371 - 2900 = 3471$	$\frac{3471}{6371} \cdot 100\% = 54,5$
вся Земля		0 - 6371	$6371 - 0 = 6371$	$\frac{6371}{6371} \cdot 100\% = 100,0$

Для слоя А: $41 - 0 = 41$ (км).

Для слоя В: $350 - 41 = 309$ (км) и т.д.

Для мантии в целом: $2900 - 41 = 2859$ (км). Для проверки найдем толщину мантии другим способом - как сумму толщин слоев мантии, т. е. $309 + 500 + 2050 = 2859$ (км).

Для всей Земли получаем $6371 - 0 = 6371$ (км), т.е. толщина всей Земли равна радиусу Земли (R_3).

Для того чтобы было удобнее сравнивать слои по толщине, целесообразно вычислить толщину каждого слоя в процентах к радиусу Земли R_3 .

Для слоя А: $\frac{41}{6371} \cdot 100\% = 0,6\%$.

Для слоя В: $\frac{309}{6371} \cdot 100\% = 4,9\%$ и т.д.

Проценты округляем до десятых долей и контролируем сходимость результатов:

для мантии: $4,9 + 7,8 + 32,2 = 44,9$ (%),

для ядра: $32,7 + 2,2 + 19,6 = 54,5$ (%),

для Земли в целом: $0,6 + 44,9 + 54,5 = 100,0$ (%).

Получаем, что из внутренних геосфер наибольшую толщину имеет ядро: его радиус составляет 3471 км, или 54,5 % от радиуса Земли. Значительна толщина мантии – 2859 км или 44,9 % R_3 . Самой тонкой является земная кора – 41 км или 0,6 % R_3 .

Из слоев Земли наибольшей толщиной обладают слои D и E (нижняя мантия и внешнее ядро) – соответственно 2050 км или 32,2 % R_3 и 2080 км или 32,7 % R_3 . Самым тонким, если не принимать во внимание слой А (земную кору), является слой F (переходный от внешнего к внутреннему ядру): его толщина составляет 140 км или 2,2 % R_3 .

Вычислим объем внутренних геосфер и слоев. В данном случае Земля, которую в некотором приближении можно считать шаром, представляет собой внутреннее ядро G (шар) покрытый оболочками F, E, D, C, B, A. Объем шара

вычислим по формуле $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, а объем оболочек найдем как разность объемов соответствующих шаров. Так, для вычисления объема земной коры (слой А) найдем объем шара радиуса, соответствующего верхней поверхности слоя А (т.е. объем всей Земли), и объем шара радиуса, соответствующего нижней поверхности слоя А. Разность найденных объемов составит объем слоя А.

Для вычисления объемов геосфер и слоев найдем промежуточные данные: радиусы верхней поверхности слоя и объемы, соответствующие этим радиусам (таблица 1.3).

Для слоя А радиусом верхней поверхности будет радиус Земли 6371 км, для слоя В радиус верхней поверхности равен $6371 - 41 = 6330$ (км) и т.д. Радиусы верхней поверхности мантии, ядра, всей Земли можно представить,

но для нашего расчета они не нужны, поэтому в соответствующих клетках таблицы стоит крестик.

Таблица 1.3

**Расчетная таблица для нахождения объемов
внутренних геосфер и слоев Земли**

Гео-сфера	Слой	Границы глубин, км	Радиус верхней поверхности слоя, км	Объем, ограниченный радиусом верхней поверхности слоя, 10^9 км^3	Объем слоя	
					10^9 км^3	% V_3
кора	A	0-41	6371	$\frac{4}{3}\pi \cdot 6,371^3 = 1083,2$	1083,2 - 1062,4 = 20,8	1,9
мантия	B	41-350	$6371 - 41 = 6330$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 6,33^3 = 1062,4$	1062,4 - 914,3 = 148,1	13,7
	C	350-850	$6371 - 350 = 6021$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 6,021^3 = 914,3$	914,3 - 704,9 = 209,4	19,3
	D	850-2900	$6371 - 850 = 5521$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 5,521^3 = 704,9$	704,9 - 175,2 = 529,7	48,9
вся мантия		41-2900	X	X	1062,4 - 175,2 = 887,2	81,9
ядро	E	2900-4980	$6371 - 2900 = 3471$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 3,471^3 = 175,2$	175,2 - 11,3 = 163,9	15,1
	F	4980-5120	$6371 - 4980 = 1391$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 1,391^3 = 11,3$	11,3 - 8,2 = 3,1	0,3
	G	5120-6371	$6371 - 5120 = 1251$	$\frac{4}{3}\pi \cdot 1,251^3 = 8,2$	8,2	0,8
все ядро		2900-6371	X	X	175,2	16,2
вся Земля		0-6371	X	X	1083,2	100, 0

Для каждого найденного радиуса найдем соответствующие объемы. Для радиуса 6371 км находим

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot (6,371 \cdot 10^3)^3 = 1083,2 \cdot 10^9 (\text{км}^3)$$

и получаем, таким образом, объем всей Земли.

Для радиуса 6330 км находим

$$V = \frac{4}{3}\pi \cdot (6,330 \cdot 10^3)^3 = 1062,4 \cdot 10^9 (\text{км}^3) \text{ и т.д.}$$

Затем найдем объемы внутренних геосфер и слоев Земли.

Для слоя А получаем: $1083,2 - 1062,4 = 20,8 (10^9 \text{ км}^3)$,
 для слоя В: $1062,4 - 914,3 = 148,1 (10^9 \text{ км}^3)$ и т.д.

Объем всей мантии: $1062,4 - 175,2 = 887,2 (10^9 \text{ км}^3)$. Для проверки расчета находим объем всей мантии, как сумму объемов слоев В, С и D:

$$148,1 + 209,4 + 529,7 = 887,2 (10^9 \text{ км}^3).$$

Ядро представляет собой шар радиуса 3471 км (радиус верхней поверхности слоя Е), поэтому объем всего ядра $175,2 \cdot 10^9 \text{ км}^3$. Для проверки находим объем ядра как сумму объемов слоев Е, F и G:

$$163,9 + 3,1 + 8,2 = 175,2 (10^9 \text{ км}^3).$$

Также для проверки расчета находим объем всей Земли как сумму объемов коры, мантии и ядра: $20,8 + 887,2 + 175,2 = 1083,2 (10^9 \text{ км}^3)$.

Объем внутренних геосфер и слоев Земли находим не только в абсолютном выражении, но и в процентах от объема всей Земли.

Таким образом, объем всей Земли составляет $1083,2 \cdot 10^9 \text{ км}^3$. Из внутренних геосфер наибольший объем имеет мантия – $887,2 \cdot 10^9 \text{ км}^3$, что составляет 81,9% от объема всей Земли. Ядро имеет сравнительно небольшой объем – $175,2 \cdot 10^9 \text{ км}^3$ или 16,2% V_z . Самой малой по объему является земная кора – $20,8 \cdot 10^9 \text{ км}^3$ или 1,9 % V_z .

Из слоев Земли наибольший объем имеет слой D (нижняя мантия) – $529,7 \cdot 10^9 \text{ км}^3$ или 48,9 % V_z . Наименьший объем имеет слой F (переходный от внешнего ядра к внутреннему) – $3,1 \cdot 10^9 \text{ км}^3$ или 0,3% V_z .

4. Выводы

Объем Земли составляет $1083,2 \cdot 10^9 \text{ км}^3$.

Выделены внутренние геосферы и слои Земли, определены их морфометрические характеристики (таблица 1.4).

Таблица 1.4

Морфометрические характеристики внутренних геосфер и слоев Земли

Геосфера	Слой	Границы глубин, км	Толщина слоя		Объем слоя	
			км	% R_z	10^9 км^3	% V_z
кора	А	0 - 41	41	0,6	20,8	1,9
мантия	В	41 - 350	309	4,9	148,1	13,7
	С	350 - 850	500	7,8	209,4	19,3
	D	850 - 2900	2050	32,2	529,7	48,9
вся мантия		41 - 2900	2859	44,9	887,2	81,9
ядро	Е	2900 - 4980	2080	32,7	163,9	15,1
	F	4980 - 5120	140	2,2	3,1	0,3
	G	5120 - 6371	1251	19,6	8,2	0,8
все ядро		2900 - 6371	3471	54,5	175,2	16,2
вся Земля		0 - 6371	6371	100,0	1083,2	100,0

Из геосфер Земли самым мощным по толщине является ядро: его радиус составляет 54,5% от радиуса Земли. Самой объемной геосферой является мантия: ее объем составляет 81,9% от объема Земли.

Самой тонкой и малообъемной из геосфер является кора: ее толщина составляет 0,6 % от радиуса Земли, объем – 1,9 % от объема Земли.

Из слоев Земли самым мощным по толщине и по объему является слой D (нижняя мантия): его толщина составляет 32,2 % от радиуса Земли, а объем 48,9 % от объема Земли.

Из слоев Земли, если не считать слой A (земную кору), самым тонким и малообъемным является слой F (переходный от внешнего ядра к внутреннему): его толщина составляет 2,2 % от радиуса Земли, а объем – 0,3 % от объема Земли.

Таким образом, внутренние геосферы и слои Земли значительно различаются не только по толщине, но и по объему.

Задание: контрольная работа № 1 (с. 21).

Лабораторная работа № 2

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

Фигура Земли. Притяжение и сила тяжести.

Нормальное гравитационное поле. Приливы

Цель работы: исследовать гравитационное поле Земли.

Для достижения цели ставятся следующие задачи:

1. Исследовать фигуру Земли.
2. Найти ускорение силы тяжести на экваторе и на полюсе.
3. Найти массу Земли по полю ускорения силы тяжести, которое она образует.
4. Найти составляющие силы тяжести.
5. Исследовать нормальное гравитационное поле Земли и его аномалии.
6. Сравнить силы притяжения в системе Земля – Солнце и Земля – Луна и приливообразующие силы Луны и Солнца.

1. Фигура Земли.

Исследования Ф.Н. Красовского и др. установили, что Земля больше всего по форме приближается к трехосному эллипсоиду (рисунок 2.1), так называемому эллипсоиду Красовского.

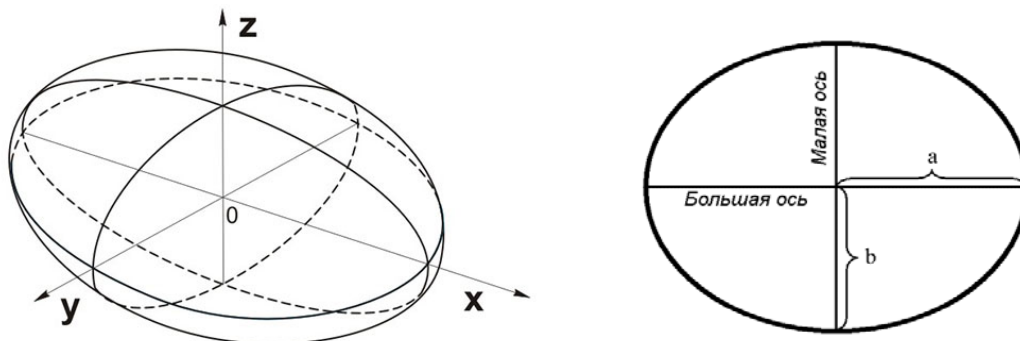


Рис. 2.1. Эллипсоид. Эллипс и его элементы

В качестве исходных данных для определения фигуры Земли возьмем размеры земного эллипсоида по Красовскому:

Полярная полуось $b = 6\,356\,863$ м.

Большая экваториальная полуось $a = 6\,378\,245$ м.

Малая экваториальная полуось $a' = 6\,378\,032$ м.

Решение

Определим гравитационное сжатие Земли как отношение разницы полуосей к большой полуоси.

Полярное сжатие:

$$\frac{a - b}{a} = \frac{6378245 - 6356863}{6378245} = \frac{21382}{6378245} = \frac{1}{298,3}.$$

Экваториальное сжатие:

$$\frac{a - a'}{a} = \frac{6378245 - 6378032}{6378245} = \frac{213}{6378245} \approx \frac{1}{30\,000}.$$

Таким образом, полярное сжатие Земли значительно больше экваториального сжатия, т.е. Земля больше сжата у полюсов, чем у экватора.

2. Ускорение силы тяжести на экваторе и на полюсе.

Исходные данные:

Масса Земли $5,973 \cdot 10^{24}$ кг.

Полярный радиус Земли $6356,8$ км.

Экваториальный радиус Земли $6378,1$ км.

Решение

Ускорение силы тяжести определяется массой Земли и ее радиусом:

$$g = \frac{G \cdot M}{R_3^2},$$

где G - гравитационная постоянная, в системе СИ $G = 6,6738 \cdot 10^{-11} \text{ н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$;

M - масса Земли, кг;

R_3 - радиус Земли, м.

Находим ускорение силы тяжести на экваторе

$$g_e = \frac{6,6738 \cdot 10^{-11} \cdot 5,973 \cdot 10^{24}}{(6,3781 \cdot 10^6)^2} = 9,799 \text{ (м/с}^2\text{)},$$

и ускорение силы тяжести на полюсе

$$g_n = \frac{6,6738 \cdot 10^{-11} \cdot 5,973 \cdot 10^{24}}{(6,3568 \cdot 10^6)^2} = 9,865 \text{ (м/с}^2\text{)}.$$

Таким образом, ускорение силы тяжести на полюсе больше чем ускорение силы тяжести на экваторе на $0,066 \text{ м/с}^2$ или на $0,67 \%$.

3. Определение массы Земли по полю ускорения силы тяжести, которое она образует.

Исходные данные:

Средний радиус Земли 6371,0 км.

Среднее ускорение силы тяжести на поверхности Земли $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$.

Решение

Если известно ускорение силы тяжести и радиус планеты, то массу планеты можно определить как

$$M = \frac{g \cdot R^2}{G}, \text{ т.е.}$$

$$M_{\text{з}} = \frac{9,80665 \cdot (6,371 \cdot 10^6)^2}{6,6738 \cdot 10^{-11}} = 5,964 \cdot 10^{24} (\text{кг}).$$

Полученное значение массы Земли практически не отличается от справочного значения: $5,973 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

Погрешность расчета составляет:

$$\frac{|5,973 \cdot 10^{24} - 5,964 \cdot 10^{24}|}{5,973 \cdot 10^{24}} \cdot 100\% = \frac{|5,973 - 5,964|}{5,973} \cdot 100\% = 0,2 \, \%.$$

Точность расчета очень высокая.

4. Составляющие силы тяжести.

Исходные данные: период вращения Земли вокруг своей оси 23 ч. 56 мин 4,1 с (0,9973 сут).

Решение

На каждую материальную точку А, находящуюся на поверхности Земли, действует сила притяжения F , направленная в центр Земли (рис. 2.2). Т.к. материальная точка вместе с Землей участвует во вращении вокруг земной оси, то на точку действует и центробежная сила F_u , направленная от оси вращения, перпендикулярно оси вращения.

Равнодействующая этих сил и есть сила тяжести P . Из двух составляющих силы тяжести – силы притяжения и центробежной силы – сила притяжения играет главную роль.

Примем массу точки А равной единице, тогда сила притяжения:

$$F = G \frac{M \cdot m_A}{R^2} = G \frac{M \cdot 1}{R^2} = G \frac{M}{R^2} = g, \text{ т.е. численно равна ускорению свободного}$$

падения.

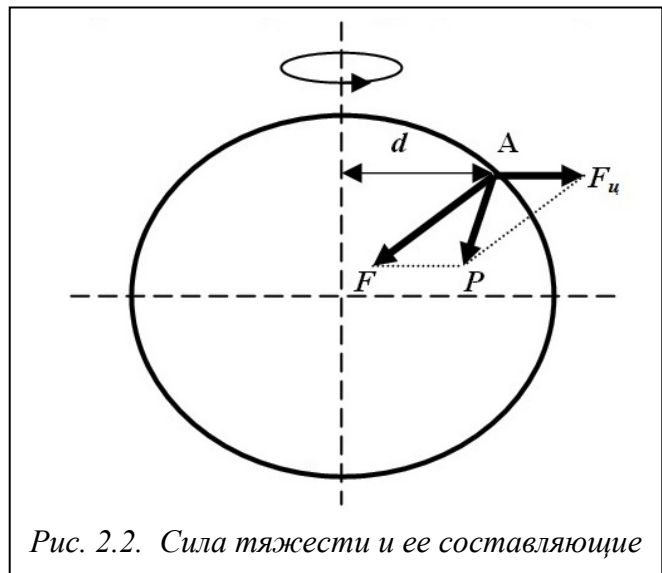


Рис. 2.2. Сила тяжести и ее составляющие

Центробежная сила $F_{ц} = m_A \cdot \omega^2 \cdot d = 1 \cdot \omega^2 \cdot d = \omega^2 d$,

где ω – угловая скорость вращения Земли, rad/c ;

d – расстояние точки А до оси вращения, m .

На полюсе $d = 0$ и центробежная сила равна нулю. На экваторе d принимает максимальное значение ($d = R_3$) и центробежная сила максимальна.

Найдем соотношение составляющих силы тяжести на экваторе, т.е. там, где центробежная составляющая максимальна. Ускорение свободного падения (или ускорение силы тяжести) на экваторе g , вычислено в пункте 2.

$$\frac{F_{ц}}{F} = \frac{\omega^2 R_3}{g} = \frac{\left(\frac{2 \cdot \pi}{0,9973 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \right)^2 \cdot 6,3781 \cdot 10^6}{9,799} = \frac{1}{289}.$$

Таким образом, центробежная составляющая силы тяжести на Земле невелика и даже на экваторе, где она максимальна, меньше силы притяжения Земли в 289 раз.

5. Нормальное гравитационное поле Земли и его аномалии.

Исходные данные: географические широты 0° , 30° , 45° , 60° , 90° . В пункте наблюдения на широте 60° измерено ускорение свободного падения: $g_n = 981,8942 \text{ Гал}$. Высота пункта наблюдения над уровнем моря: $H = 400 \text{ м}$.

Решение

Нормальная сила тяжести определяется как

$$\gamma_0 = 978,0318(1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,0000059 \sin^2 2\varphi),$$

где γ_0 – нормальное ускорение силы тяжести на широте φ , $Гал$;

φ – географическая широта места, $^\circ$.

Находим нормальное значение ускорения силы тяжести для пунктов, расположенных на широтах 0° , 30° , 45° , 60° , 90° .

Так, для $\varphi = 0^\circ$ получаем:

$$\gamma_0 = 978,0318(1 + 0,005302 \sin^2 0 - 0,0000059 \sin^2 0) = 978,0318 \text{ (Гал)}$$

Для $\varphi = 30^\circ$:

$$\gamma_0 = 978,0318(1 + 0,005302 \sin^2 30 - 0,0000059 \sin^2 60) = 979,3219 \text{ (Гал)}$$

и т.д. (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Нормальная сила тяжести на различных широтах

$\varphi, ^\circ$	0	30	45	60	90
$\gamma_0, \text{ Гал}$	978,0318	979,3219	980,6103	981,8956	983,1604

Таким образом, нормальная сила тяжести на поверхности сфероида с однородным внутренним строением зависит только от географической широты места: нормальная сила тяжести почти пропорционально квадрату синуса широты. От экватора к полюсам нормальная сила тяжести возрастает от $978,0318 \text{ Гал}$ до $983,1604 \text{ Гал}$, т.е. на $0,52\%$.

Для пункта, расположенного на широте 60° , сравним вычисленное нормальное ускорение силы тяжести γ_0 с фактически измеренным g_n . Найдем аномалию силы тяжести Буге:

$$\Delta g = g_n - \gamma_0 + 0,308H - 0,0419\rho \cdot H,$$

где Δg - аномалия силы тяжести Буге, *мГал*;

g_n - измеренная величина силы тяжести, *мГал*;

γ_0 - нормальное значение силы тяжести, определенное для данной широты, *мГал*;

H - высота места, *м*;

ρ - плотность промежуточного слоя, $\rho = 2,67 \text{ г/см}^3$.

Обращаем внимание, что в данную формулу значения величин подставляются не в единой системе измерений, а в метрах, граммах на сантиметр кубический и в миллигалах ($1 \text{ мГал} = 10^{-5} \text{ м/с}^2$).

Получаем:

$$\Delta g = 981894,2 - 981896,6 + 0,308 \cdot 400 - 0,0419 \cdot 2,67 \cdot 400 = 77,05 \text{ (мГал)}$$

Положительная аномалия свидетельствует о приближении к поверхности пород с повышенной плотностью (базальты, руды тяжелых металлов) по сравнению с окружающими породами.

6. Силы притяжения в системе Земля – Солнце и Земля – Луна и приливообразующие силы Луны и Солнца.

Исходные данные:

Масса Земли $5,973 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

Масса Солнца $1,9891 \cdot 10^{30} \text{ кг}$.

Масса Луны $7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$.

Среднее расстояние между Землей и Солнцем 149,6 млн. км.

Среднее расстояние между Землей и Луной 384 тыс. км.

Средний радиус Земли $6,371 \cdot 10^6 \text{ м}$.

Решение

Все тела притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной их массе и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Силы притяжения в системе Земля – Солнце:

$$F_{З-С} = 6,6738 \cdot 10^{-11} \frac{5,973 \cdot 10^{24} \cdot 1,9891 \cdot 10^{30}}{(1,496 \cdot 10^{11})^2} = 3,54 \cdot 10^{22} \text{ (н)}.$$

Силы притяжения в системе Земля – Луна:

$$F_{З-Л} = 6,6738 \cdot 10^{-11} \frac{5,973 \cdot 10^{24} \cdot 7,35 \cdot 10^{22}}{(3,84 \cdot 10^8)^2} = 1,99 \cdot 10^{20} \text{ (н)}.$$

Найдем соотношение между силами притяжения:

$$\frac{F_{3-C}}{F_{3-Л}} = \frac{3,54 \cdot 10^{22}}{1,99 \cdot 10^{20}} = 177,9.$$

Таким образом, силы притяжения в системе Земля – Солнце почти в 180 раз больше, чем силы притяжения в системе Земля – Луна.

Солнце притягивает все земные предметы в 180 раз сильнее, чем Луна. Следует ли из этого, что солнечные приливы больше лунных? Нет, в действительности наблюдается как раз обратное. Для объяснения этого факта найдем соотношение приливообразующих сил Луны и Солнца.

Приливообразующая сила Солнца:

$$F_C = G M_C \frac{2R_3}{r_{3-C}^3},$$

где M_C - масса Солнца, кг;

r_{3-C} - среднее расстояние между Землей и Солнцем, м;

R_3 - радиус Земли, м.

$$F_C = 6,6738 \cdot 10^{-11} \cdot 1,9891 \cdot 10^{30} \frac{2 \cdot 6,371 \cdot 10^6}{(1,496 \cdot 10^{11})^3} = 5,05 \cdot 10^{-7} (н).$$

Приливообразующая сила Луны:

$$F_L = G M_L \frac{2R_3}{r_{3-Л}^3},$$

где M_L - масса Луны, кг;

$r_{3-Л}$ - среднее расстояние между Землей и Луной, м;

R_3 - радиус Земли, м.

$$F_L = 6,6738 \cdot 10^{-11} \cdot 7,35 \cdot 10^{22} \frac{2 \cdot 6,371 \cdot 10^6}{(3,84 \cdot 10^8)^3} = 1,10 \cdot 10^{-6} (н).$$

Найдем соотношение между приливообразующими силами Луны и Солнца:

$$\frac{F_L}{F_C} = \frac{1,10 \cdot 10^{-6}}{5,05 \cdot 10^{-7}} = 2,2.$$

Таким образом, приливообразующая сила Луны более чем в два раза больше приливообразующей силы Солнца.

7. Выводы.

7.1 Гравитационное поле Земли - это поле ускорения силы тяжести (ускорения свободного падения). Сила тяжести является равнодействующей двух сил: силы притяжения (тяготения Земли) и центробежной силы, вызываемой ее суточным вращением.

Земля по форме близка к трехосному эллипсоиду, причем полярное сжатие Земли значительно больше экваториального сжатия.

Ускорение силы тяжести на полюсе больше чем ускорение силы тяжести на экваторе на 0,67 %.

Центробежная составляющая силы тяжести на Земле невелика и даже на экваторе, где она максимальна, меньше силы притяжения Земли в 289 раз.

7.2 Величина ускорения силы тяжести на поверхности Земли определяется формой Земли и расположением в земных недрах неоднородных по плотности пород. Если бы у Земли была форма эллипсоида вращения и масса была бы распределена в нем равномерно, то сила тяжести зависела бы только от географической широты места и возрастала бы от экватора к полюсам.

Сравнение вычисленной нормальной силы тяжести с фактически измеренной позволяет определить аномальную силу тяжести, обусловленную особенностями геологического строения земной коры. Положительные аномалии свидетельствует о приближении к поверхности пород с повышенной плотностью (базальты, руды тяжелых металлов) по сравнению с окружающими породами, а отрицательные – распространении пород с низкой плотностью (месторождения каменного угля, залежи соли и нефти).

7.3. Силы притяжения в системе Земля – Солнце почти в 180 раз больше, чем силы притяжения в системе Земля – Луна, но лунные приливы на Земле больше солнечных, потому что приливообразующая сила Луны более чем в два раза больше приливообразующей силы Солнца.

Задание: контрольная работа № 2 (с. 24).

Лабораторная работа № 3

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Цель работы: исследовать магнитное поле Земли.

Для достижения цели ставятся следующие задачи - рассчитать элементы земного магнетизма на поверхности Земли на различных магнитных широтах:

1. Полный вектор напряженности магнитного поля.
2. Горизонтальную составляющую напряженности магнитного поля.
3. Вертикальную составляющую напряженности магнитного поля.
4. Магнитное склонение.

Основной характеристикой магнитного поля Земли служит вектор напряженности поля H_T и его составляющие, которые представляют собой проекции вектора H_T на координатные оси (рис. 3.1). Для этой цели применяется прямоугольная система координат, в которой ось x ориентирована по направлению истинного меридиана (положительное направление считается к северу),

ось y – по направлению параллели (положительное направление - к востоку), а ось z располагается вертикально (положительное направление – вниз).

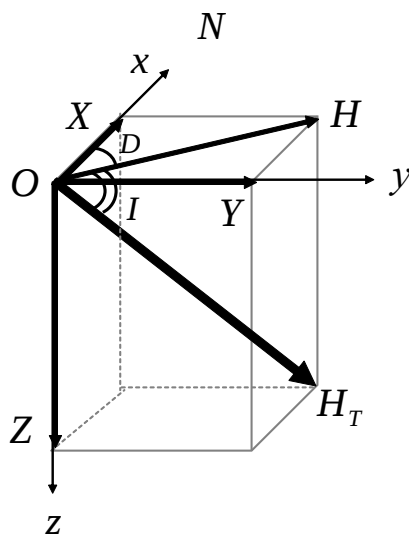


Рис. 3.1. Элементы земного магнетизма

Проекция вектора H_T на горизонтальную плоскость называется горизонтальной составляющей и обозначается H . Проекция H_T на ось x называется северной составляющей и обозначается X , проекция H_T на ось y называется восточной составляющей Y , проекция H_T на вертикальную ось называется вертикальной составляющей Z .

Вертикальная плоскость, в которой лежит вектор напряженности магнитного поля H_T , называется магнитным меридианом.

Угол в горизонтальной плоскости между географическим и магнитным меридианами носит название магнитного склонения D . Угол в вертикальной плоскости между горизонтальной плоскостью и направлением полного вектора напряженности называется магнитным наклоном I .

Принято считать восточное склонение положительным, а западное – отрицательным. Наклонение считается положительным, когда полный вектор H_T направлен вниз от земной поверхности (северное полушарие) и отрицательным, когда вектор H_T направлен вверх от земной поверхности (южное полушарие).

Величины H , X , Y , Z , D , I носят название элементов земного магнетизма, при этом элементы H , X , Y и Z называют силовыми компонентами земного магнитного поля, а D и I – угловыми.

Геомагнитные элементы связаны между собой:

$$X = H \cos D,$$

$$Y = H \sin D,$$

$$Z = H \operatorname{tg} I,$$

$$H_T^2 = H^2 + Z^2,$$

$$H_T^2 = X^2 + Y^2 + Z^2.$$

Земля в первом приближении подобна намагниченному шару. Магнитное поле намагниченного шара имеет математическое выражение:

$$H_T = M \frac{\sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi}}{4\pi R^3},$$

$$H = M \frac{\cos \varphi}{4\pi R^3},$$

$$Z = M \frac{\sin \varphi}{2\pi R^3},$$

где M – магнитный момент Земли (произведение намагниченности Земли на ее объем), $M = 8,8 \cdot 10^{22} \text{ А} \cdot \text{м}^2$;

R – расстояние от центра Земли до точки наблюдения, м;

φ – магнитная широта, °.

Задание. Найти полный вектор, горизонтальную и вертикальную составляющие напряженности магнитного поля, магнитное наклонение на различных магнитных широтах. Сделать выводы.

Указание: магнитные широты 0°, 30°, 45°, 60°, 90°.

Задание выполняется под руководством преподавателя.

Лабораторная работа № 4

ТЕПЛОВОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Сезонные изменения температуры деятельного слоя

Цель работы: исследовать временные изменения температуры деятельного слоя.

Для достижения цели ставятся следующие задачи:

1. Исследовать временной ход температуры приземного воздуха и почвы на разных глубинах.
2. Определить период колебаний приземного воздуха и почвы на разных глубинах.
3. Исследовать изменение амплитуды колебаний температуры почвы с глубиной.
4. Определить время наступления максимума и минимума температуры почвы в зависимости от глубины.
5. Исследовать поле температуры почвы.

Задание 1. Исследовать временные изменения температуры деятельного слоя.

Исходные данные: среднемесячные температуры (°С) приземного воздуха и почвы на стандартных горизонтах деятельного слоя (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Индекс ВМО 22037, станция Вологда, Прилуки. Среднемесячные температуры (°С) приземного воздуха и почвы. 2010-2011 гг.

Год	Месяц	Среднемесячные температуры					
		воздуха	почвы на глубине, см				
			20	40	80	160	
2010	1	-16,3	-0,7	0,3	1,4	3,5	6,0
	2	-12,1	-0,9	-0,1	1,0	2,7	5,1
	3	-5,5	-0,4	-0,1	0,7	2,3	4,5
	4	4,7	0,7	0,4	0,9	2,1	4,0
	5	14,8	11,0	9,1	6,6	4,2	4,0
	6	15,7	14,4	13,0	10,8	7,9	5,4
	7	22,9	20,7	18,4	15,3	11,2	7,1
	8	17,4	18,6	17,8	16,4	13,6	9,0
	9	9,7	11,9	12,0	12,2	12,1	9,9
	10	2,2	5,1	6,1	7,8	9,7	9,6
	11	-2,3	3,0	3,8	5,2	7,1	8,4
	12	-13,6	0,3	1,1	2,6	5,1	7,2
2011	1	-11,7	0,1	0,7	1,8	3,8	6,0
	2	-15,9	-0,1	0,5	1,4	3,1	5,3
	3	-4,4	-0,1	0,4	1,2	2,7	4,7
	4	3,7	1,2	1,2	1,4	2,5	4,2
	5	11,8	10,6	8,9	6,8	4,7	4,3
	6	16	16,1	14,4	11,8	8,4	5,7
	7	21	20,0	18,0	15,3	11,4	7,3
	8	15,4	16,7	16,1	15,0	12,9	9,0
	9	10,1	12,4	12,7	12,7	12,2	9,8
	10	5,2	7,4	8,1	9,2	10,3	9,7
	11	-1,8	2,0	3,3	5,1	7,6	8,8
	12	-1,9	0,8	1,6	2,9	5,2	7,5

Указание. Построить совместный график хода температур приземного воздуха и почвы на различных глубинах за исследуемый период.

Период колебаний температуры определить как временной интервал между максимумами или минимумами. Амплитуду колебаний определить как разность между максимальным и минимальным значением температуры. Разработать рабочую таблицу для записи результатов. Построить поле температур.

Задание выполняется под руководством преподавателя.

Задание 2. Контрольная работа № 3 (с. 27).

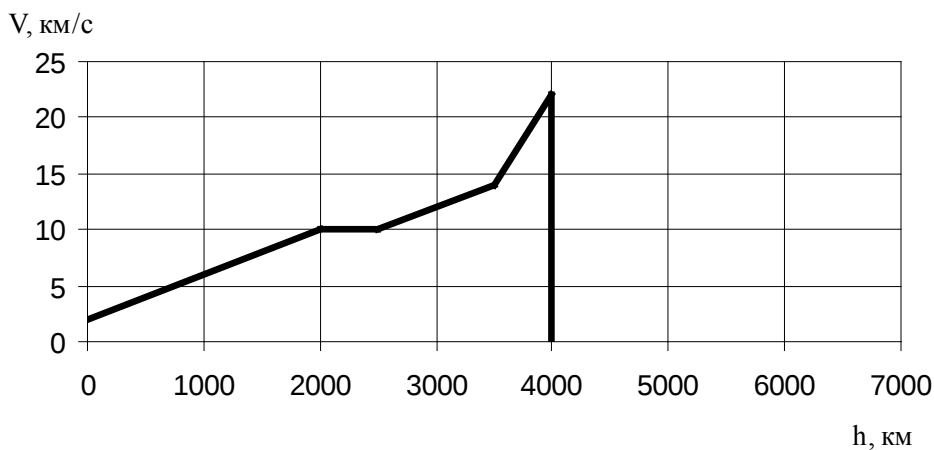
КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Контрольная работа № 1. Внутреннее строение планеты

По сейсмическим данным выделить внутренние слои планеты.
Вычислить толщину и объем слоев. Вычислить объем всей планеты.
Провести анализ толщины и объема слоев. Сделать выводы.
Номер варианта соответствует последней цифре в зачетной книжке.

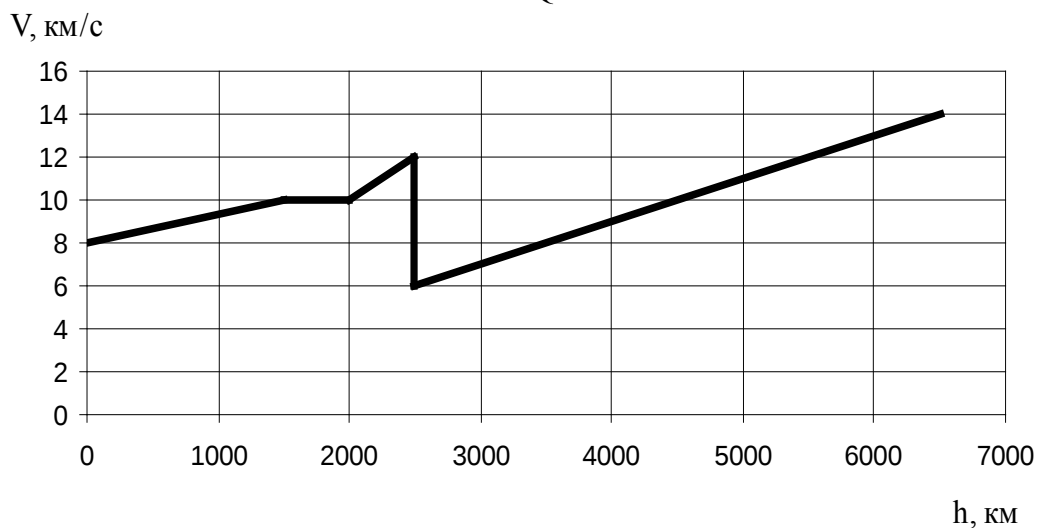
0.

Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета V радиуса 7000 км



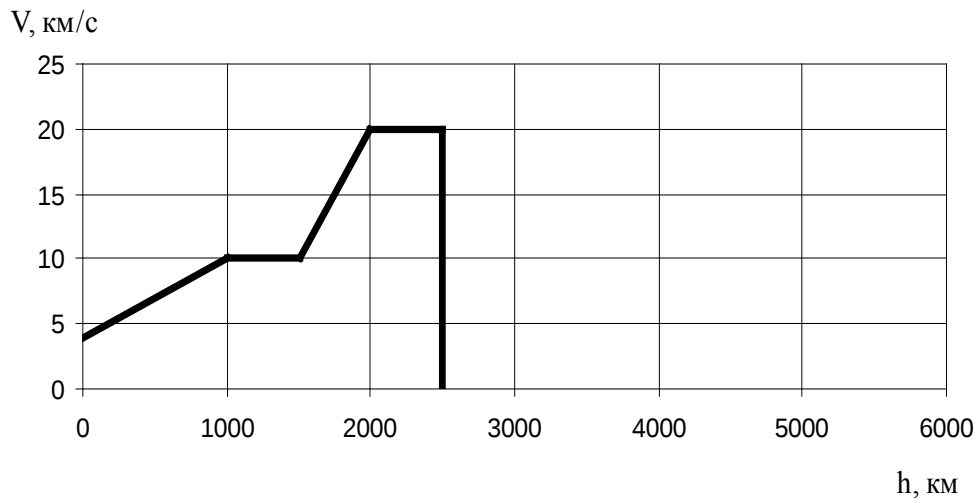
1.

Изменение скорости распространения продольных волн с глубиной
Планета Q



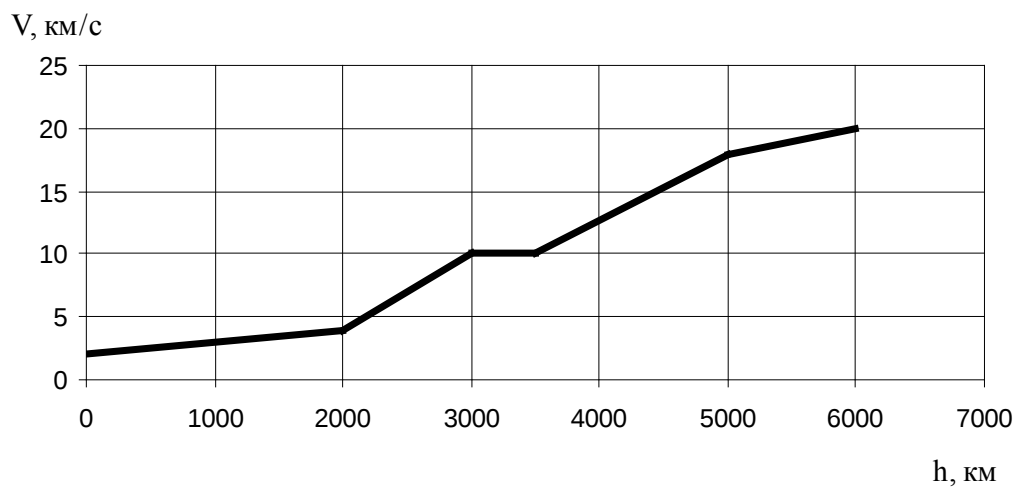
2.

Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета М радиуса 5500 км



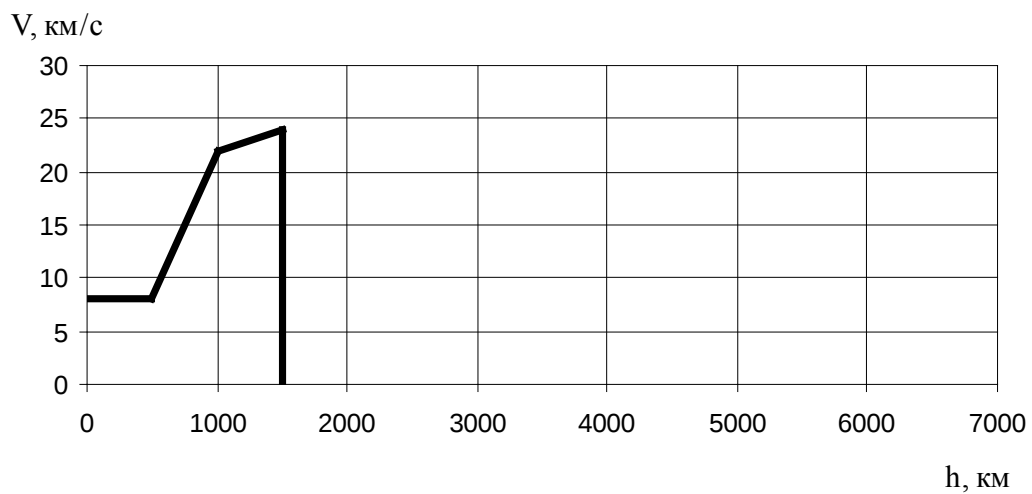
3.

Изменение скорости распространения продольных волн с глубиной
Планета F

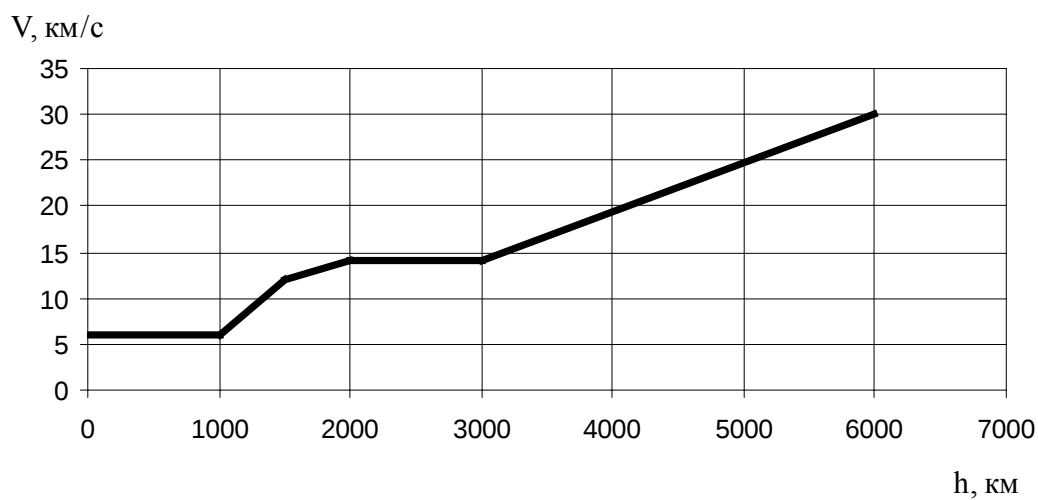


4.

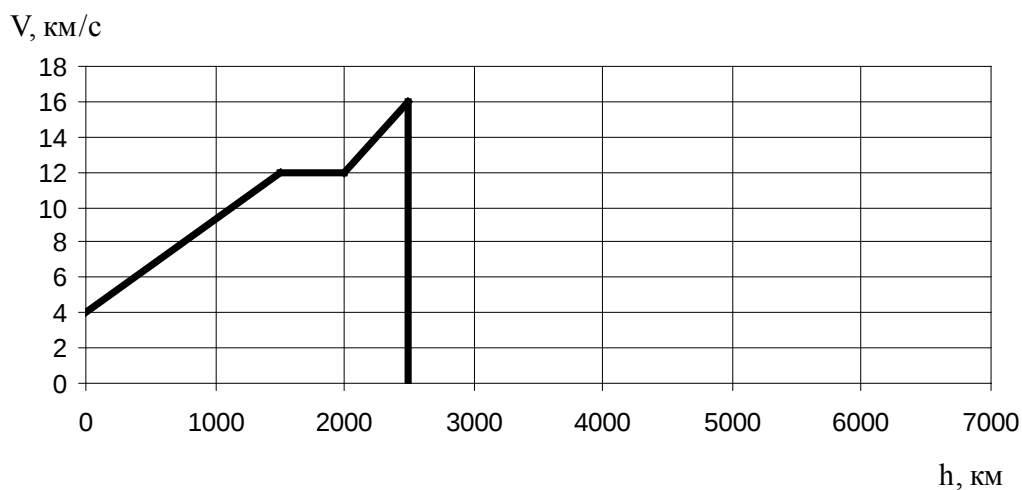
Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета Z радиуса 5500 км



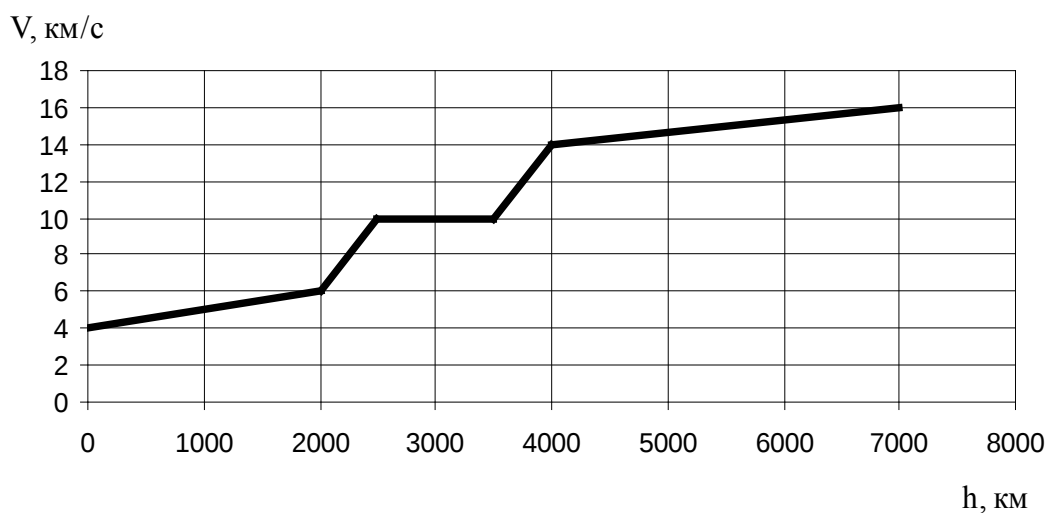
5. Изменение скорости распространения продольных волн с глубиной
Планета X



6. Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета N радиуса 6500 км

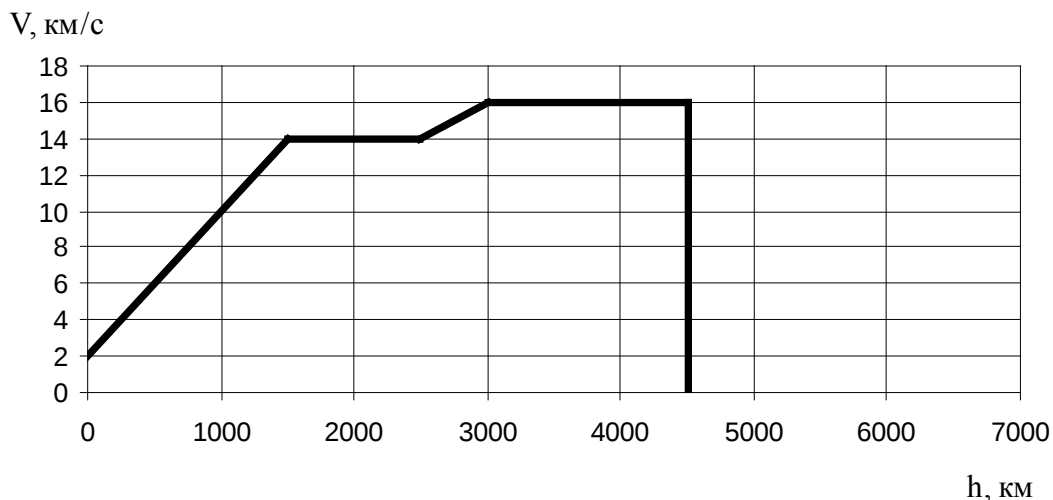


7. Изменение скорости распространения продольных волн с глубиной
Планета P



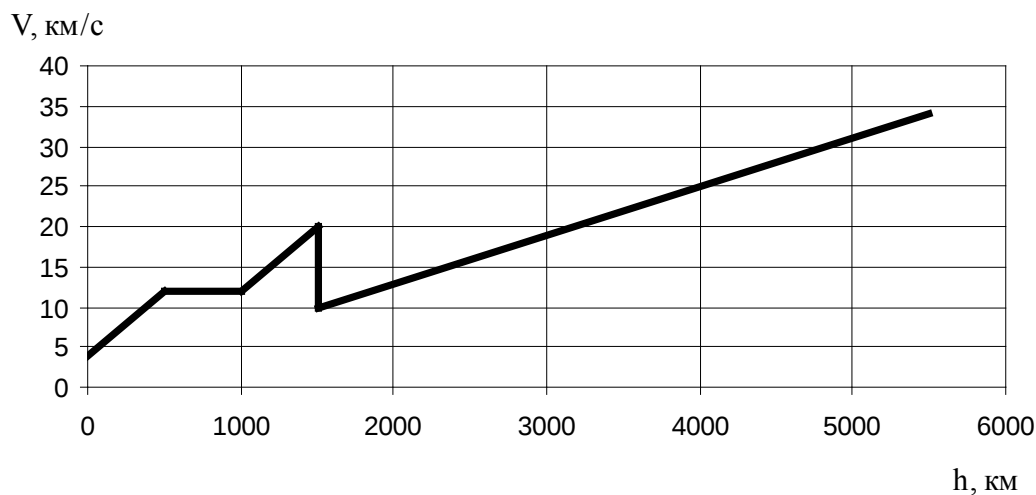
8.

Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета W радиуса 6000 км



9.

Изменение скорости распространения поперечных волн с глубиной
Планета A



Контрольная работа № 2. Гравитационное поле

Вариант 0

1. Определить массу и среднюю плотность Меркурия по полю ускорения силы тяжести, которое он образует. Дано: $g = 3,7 \text{ м/с}^2$. Сравнить результаты с соответствующими земными характеристиками.

2. Сравнить приливы на Солнце, вызываемые Землей и Венерой (по приливообразующим силам планет).

3. Рассчитать нормальную силу тяжести для пункта, расположенного на 81° ю.ш.

Вариант 1

2. Найти гравитационное сжатие Марса. Сравнить с соответствующей земной характеристикой. Экваториальный радиус Марса – 3396,2 км, полярный радиус – 3376,2 км.

2. Оценить центробежную составляющую силу тяжести на Меркурии. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.

3. Сравнить силы притяжения между Европой и Юпитером и между Европой и Солнцем. Среднее расстояние между Европой и Юпитером 671 тыс. км, масса Европы $4,80 \cdot 10^{22}$ кг.

Вариант 2

1. Определить массу и среднюю плотность Венеры по полю ускорения силы тяжести, которое она образует. Дано: $g = 8,87 \text{ м/с}^2$. Сравнить результаты с соответствующими земными характеристиками.

2. Сравнить силы притяжения между Ио и Юпитером и между Ио и Солнцем. Среднее расстояние между Ио и Юпитером 422 тыс. км, масса Ио $8,93 \cdot 10^{22}$ кг.

3. Рассчитать нормальную силу тяжести для пункта, расположенного на 56° ю.ш.

Вариант 3

1. Найти ускорение силы тяжести на Нептуне. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.

2. Оценить центробежную составляющую силу тяжести на Венере. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.

3. Рассчитать аномалию силы тяжести Буге для пункта, расположенного на 43° с.ш., на уровне моря. $g_n = 980,0110 \text{ Гал}$.

Вариант 4

1. Найти гравитационное сжатие Юпитера. Сравнить с соответствующей земной характеристикой. Экваториальный радиус Юпитера – 71492 км, полярный радиус – 66854 км.

2. Сравнить приливы на Солнце, вызываемые Землей и Марсом (по приливообразующим силам планет).

3. Рассчитать нормальную силу тяжести для пункта, расположенного на 38° ю.ш.

Вариант 5

1. Определить массу и среднюю плотность Луны по полю ускорения силы тяжести, которое она образует. Дано: $g = 1,62 \text{ м/с}^2$. Сравнить результаты с соответствующими земными характеристиками.

2. Оценить центробежную составляющую силу тяжести на Юпитере. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.

3. Сравнить силы притяжения между Землей и Солнцем и между Венерой и Солнцем.

Вариант 6

1. Найти ускорение силы тяжести на Юпитере. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.
2. Сравнить силы притяжения между Фобосом и Марсом и между Фобосом и Солнцем. Радиус орбиты Фобоса 9,377 тыс. км, масса Фобоса $1,07 \cdot 10^{16}$ кг.
3. Рассчитать аномалию силы тяжести Буге для пункта, расположенного на 22° с.ш., на высоте 320 м над уровнем моря. $g_n = 978,5013$ Гал.

Вариант 7

2. Найти гравитационное сжатие Сатурна. Сравнить с соответствующей земной характеристикой. Экваториальный радиус Сатурна – 60268 км, полярный радиус – 54364 км.
2. Оценить центробежную составляющую силу тяжести на Марсе. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.
1. Рассчитать аномалию силы тяжести Буге для пункта, расположенного на 38° с.ш., на высоте 690 м над уровнем моря. $g_n = 980,0117$ Гал.

Вариант 8

1. Определить массу и среднюю плотность Марса по полю ускорения силы тяжести, которое она образует. Дано: $g = 3,71$ м/с². Сравнить результаты с соответствующими земными характеристиками.
2. Сравнить приливы на Солнце, вызываемые Меркурием и Юпитером (по приливообразующим силам планет).
3. Рассчитать нормальную силу тяжести для пункта, расположенного на 43° с.ш.

Вариант 9

1. Найти ускорение силы тяжести на Солнце. Сравнить с соответствующей земной характеристикой.
2. Сравнить силы притяжения между Каллисто и Юпитером и между Каллисто и Солнцем. Масса Каллисто составляет $1,08 \cdot 10^{23}$ кг, радиус орбиты 1,88 млн. км.
3. Рассчитать аномалию силы тяжести Буге для пункта, расположенного на 56° с.ш., на высоте 320 м над уровнем моря. $g_n = 982,0142$ Гал.

Контрольная работа № 3. Тепловое поле Земли

Составить прогноз температуры воздуха для определенного региона на ближайшие выходные дни.

Варианты:

0. Вологодская область
1. Европейская часть РФ
2. Западная Сибирь
3. Восточная Сибирь
4. Дальний Восток
5. Западная Европа
6. Северная Америка
7. Южная Америка
8. Африка
9. Австралия

Указание. В интернете (например, на сайте «Погода и климат») взять прогноз температуры воздуха для отдельных городов региона, нанести значения температуры на контурную карту, построить поле температуры и провести анализ поля.

Библиографический список

1. Богословский, В.А. Экологическая геофизика: учеб. пособие / В.А. Богословский, А.Д. Жигалин, В.К. Хмелевской. – Москва: МГУ, 2000. – 256 с.
2. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
3. Мишон, В.М. Основы геофизики: учебник / В.М. Мишон. – Воронеж: ВГУ, 1993. – 240 с.
4. Мишон, В.М. Практическая геофизика: учебное пособие / В.М. Мишон. – Воронеж: ВГУ, 1996. – 248 с.
5. Орленок, В.В. Основы геофизики / В.В. Орленок. – Калининград: КГУ, 2000. – 156 с.
6. Специализированные массивы: официальный сайт ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 30.01.2015).
7. Теория статистики: учебник / под ред. проф. Г.Л. Громыко. – Москва: ИНФРА-М, 2000. – 414 с.
8. Трухин, В.И. Общая и экологическая геофизика / В.И. Трухин, К.В. Покаеев, В.Е. Куницын. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 576 с.
9. Характеристики планет Солнечной системы [Электронный ресурс]: Два Стрельца - Астрономия. – Режим доступа: <http://shvedun.ru/hpss.htm>

Элементы орбит и физические характеристики планет и Солнца

Планета	Среднее расстояние от Солнца (для Луны от Земли), 10^9 м	Период обращения, земные сутки	Масса (с атмосферой, но без спутников), 10^{24} кг	Средняя плотность, 10^3 кг / м ³	Средний радиус, 10^6 м	Период вращения вокруг оси, земные сутки
Меркурий	57,9	87,97	0,3302	5,43	2,440	58,65
Венера	108,2	224,70	4,869	5,24	6,052	243,0
Земля	149,6	365,26	5,973	5,515	6,371	0,9973
Марс	227,9	686,98	0,6419	3,93	3,390	1,026
Юпитер	778,5	4332,6	1899	1,33	69,91	0,4135
Сатурн	1433,7	10759,2	568,5	0,69	58,23	0,4403
Уран	2870,4	30685,4	86,83	1,27	25,36	0,7184
Нептун	4491,1	60190,0	102,4	1,64	24,62	0,6653
Плутон	5868,9	90613,3	0,013	2,0	1,151	6,387
Луна	0,384	27,32	0,0735	3,35	1,737	X
Солнце	X	X	1989100	1409	6955	X

Содержание

стр.

Введение.....	3
Лабораторная работа № 1. Внутреннее строение Земли	5
Лабораторная работа № 2. Гравитационное поле	11
Лабораторная работа № 3. Магнитное поле Земли	17
Лабораторная работа № 4. Тепловое поле Земли	19
Контрольные работы	21
Библиографический список	27
Приложение. Элементы орбит и физические характеристики планет и Солнца.....	28

