

Расчёт теплоёмкости Земли Акопов В. В.

*Акопов Вачакан Ваграмович / Akorov Vachakan Vagramovich - учитель физики,
Муниципальное образовательное учреждение Средняя школа № 6,
село Полтавское, Курский район, Ставропольский край*

Аннотация: численное значение теплоёмкости Земли и её частей, полученное расчётным путём в данной статье, можно использовать при теоретических геофизических исследованиях Земли.

Ключевые слова: удельная теплоёмкость, теплоёмкость, масса, температура, Земля.

Теплоёмкостью тела C называют количество теплоты, которое необходимо сообщить данному телу массой m для его нагревания на 1К , т. е.

$$C = c \cdot m, \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость тела,
 m – масса тела.

Теплоёмкость тела в СИ выражают в джоулях на кельвин: $[C] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

Удельная теплоёмкость вещества численно равна тому количеству теплоты, которое необходимо сообщить веществу массой 1кг для его нагревания на 1К [1, 114].

По геофизическим данным Земля разделяется на три основные области: кору, оболочку и ядро. Под корой понимают верхний слой Земли, имеющий толщину до 33 км . Оболочка или, как часто говорят геологи, мантия Земли - на глубине от 33 км до 2900 км . Ядро представляет собой центральную часть Земли на глубине от 2900 км до центра. Из всей массы Земли кора составляет менее 1% , мантия – около 67% , ядро – около 32% [2, 8].

Как видно, большая часть массы Земли заключена в мантии, основная часть оставшейся массы приходится на ядро, а масса той части, на которой мы обитаем, составляет крошечную долю от всей массы (без атмосферы) (таблица 1).

Таблица 1. Масса Земли

Земля, 10^{24} кг	Земная кора, 10^{24} кг	Мантия, 10^{24} кг	Ядро, 10^{24} кг
5,98	0,028	4,013	1,934

Известно, что Земля состоит из различных веществ. Удельная теплоёмкость всех веществ различна.

Реально теплоёмкость Земли и её частей неизвестна. Однако из различных источников в интернете известно, что удельная теплоёмкость Земли равна $840 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Попробуем расчётным путём её вычислить.

Принимается, что химический состав Земли близок к среднему составу метеоритов. На основании космических и экспериментальных данных средний химический состав Земли и её частей, а также среднее значение удельной теплоёмкости химических элементов, находящихся в Земле, по данным различных авторов, представлен в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав Земли

№ п/п	Наименование химических элементов	Теплоём- кость, $C, \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$	Химический состав (процент от общей массы)			
			земной коры	мантии	ядра	Земли
1.	Железо	$0,5 \cdot 10^3$	4,2	12	82	34,59
2.	Никель	$0,5 \cdot 10^3$	0,008	0,2	6,9	2,39
3.	Кобальт	$0,65 \cdot 10^3$	0,004	0,02	0,36	0,13
4.	Кислород	$1,6 \cdot 10^3$	49,13	41,27	4,1	23,25
5.	Кремний	$0,75 \cdot 10^3$	29	19,8	3,36	14,51
6.	Магний	$1,1 \cdot 10^3$	2,35	21,4	–	14,37
7.	Кальций	$0,624 \cdot 10^3$	3,6	2,2	–	1,49
8.	Алюминий	$0,92 \cdot 10^3$	8,8	2,2	–	1,52

9.	Сера	$0,71 \cdot 10^3$	–	–	2,1	0,68
10.	Натрий	$1,34 \cdot 10^3$	2,64	0,62	0,45	0,57
11.	Марганец	$0,481 \cdot 10^3$	–	–	0,38	0,12
12.	Хром	$0,46 \cdot 10^3$	–	–	0,35	0,11
13.	Титан	$0,54 \cdot 10^3$	0,14	0,29	–	0,2
14.	Водород	$14,26 \cdot 10^3$	0,13	–	–	–
	Итого	–	100	100	100	99,93

Для нахождения удельной теплоёмкости Земли и её частей составим уравнение:

$c \cdot M = c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n$, отсюда

$$c = \frac{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_n \cdot m_n}{M}, \quad (2)$$

где c – удельная теплоёмкость Земли и её частей,

M – масса земли и её частей,

m – масса химического элемента.

Заметим, что

$$m = k \cdot M, \quad (3)$$

где k – доля от общей массы Земли и её частей.

Используя выражения (2) и (3), получим:

$$c = \frac{c_1 \cdot k_1 \cdot M + c_2 \cdot k_2 \cdot M + \dots + c_n \cdot k_n \cdot M}{M} \quad \text{или}$$

$$c = c_1 \cdot k_1 + c_2 \cdot k_2 + \dots + c_n \cdot k_n, \quad (4)$$

Используя выражение (4) и численные значения физических величин из таблицы 2, рассчитаем удельную теплоёмкость:

а) земной коры:

$$c_{з.к.} = 0,042 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,00008 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,00004 \cdot 0,65 \cdot 10^3 + 0,4913 \cdot 1,6 \cdot 10^3 + \\ + 0,29 \cdot 0,75 \cdot 10^3 + 0,0235 \cdot 1,1 \cdot 10^3 + 0,036 \cdot 0,624 \cdot 10^3 + 0,088 \cdot 0,92 \cdot 10^3 + 0,0264 \cdot 1,34 \cdot 10^3 + \\ + 0,0014 \cdot 0,54 \cdot 10^3 + 0,0013 \cdot 14,26 \cdot 10^3 \approx 1,209 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

б) мантии Земли:

$$c_m = 0,12 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,002 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,0002 \cdot 0,65 \cdot 10^3 + 0,4127 \cdot 1,6 \cdot 10^3 + 0,198 \cdot 0,75 \cdot 10^3 + \\ + 0,214 \cdot 1,1 \cdot 10^3 + 0,022 \cdot 0,624 \cdot 10^3 + 0,022 \cdot 0,92 \cdot 10^3 + 0,0062 \cdot 1,34 \cdot 10^3 + \\ + 0,0029 \cdot 0,54 \cdot 10^3 = 1,149 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

в) ядра Земли:

$$c_{я.} = 0,82 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,069 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,0036 \cdot 0,65 \cdot 10^3 + 0,041 \cdot 1,6 \cdot 10^3 + 0,0336 \cdot 0,75 \cdot 10^3 + \\ + 0,021 \cdot 0,71 \cdot 10^3 + 0,0045 \cdot 1,34 \cdot 10^3 + 0,0038 \cdot 0,481 \cdot 10^3 + 0,0035 \cdot 0,46 \cdot 10^3 = \\ = 0,562 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}};$$

г) Земли:

$$c_з = 0,3459 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,0239 \cdot 0,5 \cdot 10^3 + 0,0013 \cdot 0,65 \cdot 10^3 + 0,2325 \cdot 1,6 \cdot 10^3 + \\ + 0,1451 \cdot 0,75 \cdot 10^3 + 0,1437 \cdot 1,1 \cdot 10^3 + 0,0149 \cdot 0,624 \cdot 10^3 + 0,0152 \cdot 0,92 \cdot 10^3 + \\ + 0,0068 \cdot 0,71 \cdot 10^3 + 0,0057 \cdot 1,34 \cdot 10^3 + 0,0012 \cdot 0,481 \cdot 10^3 + 0,0011 \cdot 0,46 \cdot 10^3 + \\ + 0,002 \cdot 0,54 \cdot 10^3 = 0,863 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Таким образом, удельная теплоёмкость Земли равна $0,863 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, земной коры – $1,209 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$,

мантии – $1,149 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, ядра – $0,562 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$.

Занесём эти данные в таблицу 3.

Таблица 3. Удельная теплоёмкость Земли

Удельная теплоёмкость с, $\frac{Дж}{кг \cdot К}$			
Земля	земная кора	мантия	ядро
$0,863 \cdot 10^3$	$1,209 \cdot 10^3$	$1,149 \cdot 10^3$	$0,562 \cdot 10^3$

Как теперь стало видно, полученное значение удельной теплоёмкости Земли незначительно больше опубликованного в Интернете. Предполагаю, что расчёт, проведённый в данной статье, более точен.

Для расчёта теплоёмкости Земли и её частей воспользуемся выражением (1) и численными значениями физических величин из таблицы 1 и таблицы 3:

а) для земной коры:

$$C_{з.к.} = 1,209 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 0,028 \cdot 10^{24} кг = 0,034 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К};$$

б) для мантии:

$$C_m = 1,149 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 4,013 \cdot 10^{24} кг = 4,611 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К};$$

в) для ядра:

$$C_я = 0,562 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 1,934 \cdot 10^{24} кг = 1,087 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К};$$

г) для Земли:

$$C_3 = 0,863 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} кг = 5,161 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К}.$$

Таким образом, теплоёмкость Земли равна $5,161 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К}$, земной коры – $0,034 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К}$, мантии – $4,611 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К}$, ядра – $1,087 \cdot 10^{27} \frac{Дж}{К}$.

Занесём эти данные в таблицу 4:

Таблица 4. Теплоёмкость Земли

Теплоёмкость С, $\frac{Дж}{К}$			
Земля	земная кора	мантия	ядро
$5,161 \cdot 10^{27}$	$0,034 \cdot 10^{27}$	$4,611 \cdot 10^{27}$	$1,087 \cdot 10^{27}$

Литература

1. Мустафаев Р. А., Кривцов В. Г. Физика. М.: Высшая школа. 1989.
2. Темко С. В., Соловьёв Г. А., Милантьев В. П. Физика раскрывает тайны Земли. // Москва. 1976.