

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра «Радиоэкология и экологическая безопасность»

П.А.Пономаренко, М.А.Фролова

СБОРНИК ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ
для оценки активности тела человека и его органов,
а также рисков злокачественных заболеваний
в связи с наличием природных радионуклидов в окружающей среде

Учебно-методическое пособие
по курсу «Радиоэкология»
для студентов очной формы обучения
по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование

Севастополь
СевГУ
2019

УДК 504.054:539.16(076.1)
С23

Р е ц е н з е н т:

Н.М. Дербасова - канд. техн. наук, доцент кафедры радиоэкологии
и экологической безопасности

Составители: П.А. Пономаренко, М.А. Фролова

С23 Сборник индивидуальных заданий для оценки активности тела человека и его органов, а также рисков злокачественных заболеваний в связи с наличием природных радионуклидов в окружающей среде: учеб.-метод. пособие по курсу «Радиоэкология» для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование / Сост. П.А. Пономаренко, М.А. Фролова. – Севастополь: СевГУ, 2019. - 25 с.

Приведены задачи по применению основ ядерной физики в радиоэкологической практике.

Сборник предназначен для самостоятельной работы студентов очного отделения по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование.

УДК 504.054:539.16(076.1)

Методические указания рассмотрены и рекомендованы на заседании кафедры радиоэкологии и экологической безопасности, протокол № 10 от 26 октября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

В сборнике подобраны задачи по курсу «Радиоэкология», предназначенные для самостоятельной работы студентов — выполнения домашних заданий и контрольных работ.

Содержание задач направлено на формирование у студентов знаний ядерно-физических явлений, законов, формул, единиц измерения ядерно-физических величин, умения применять законы и формулы для решения качественных и расчетных задач, графического представления физических явлений и законов, их анализ. Решение задач формирует навыки самостоятельного мышления, аналитического анализа явлений, встречающихся в профессиональной практике по специальности.

Самостоятельная работа студентов поможет им при подготовке к экзамену, и будет способствовать более глубокому изучению данного раздела курса.

УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

Номера вариантов и темы заданий определяет преподаватель.

К выполнению индивидуальных занятий рекомендуется приступать после изучения лекционного материала, соответствующего данному разделу программы, внимательного ознакомления с примерами решения задач, приведенных в методических указаниях по данному разделу.

Задания выполняются в обычной школьной тетради, на обложке которой приводятся сведения:

— студент заочного отделения Института ядерной энергии и промышленности ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», группа, Фамилия И.О., адрес, контрольная работа №_____.

Для замечаний преподавателя в тетради оставляются поля. Каждая следующая задача должна начинаться с новой страницы. Условия задач переписываются полностью, без сокращений.

В решении необходимо указать основные законы и формулы, на которых базируется решение задачи, дать словесную формулировку этих законов, разъяснить смысл величин и символов, употребляемых в записи формул, и их размерности. Если при решении задачи применяется формула, справедливая для частного случая, не выражающая какой-либо физический закон или не являющаяся определением физической величины, то ее следует вывести.

Во всех случаях, когда это возможно, должен быть представлен рисунок, поясняющий задачу. Решение задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями.

Результат должен быть получен в общем виде, сделана проверка, дает ли рабочая формула правильную размерность искомой величины, подставлены числовые данные и их размерности и получен окончательный числовой результат, его размерности.

Все величины, входящие в условие задачи, выразить в единицах одной системы (преимущественно СИ).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Планета Земля всегда подвергалась облучению космическими лучами, источником которых в межгалактическом пространстве являются квазары, в пределах Галактики – её центр (ядро), пульсирующие звёзды, рождение сверхновых звёзд, Солнце и др.

Эти лучи, взаимодействуя с ядрами химических элементов, составляющих атмосферу Земли (в основном кислород (23,1 %), азот (75,5 %) и аргон (1,286 %)) генерируют вторичные космические лучи (протоны и нейтроны).

Результатами взаимодействия вторичных и первичных космических лучей с ядрами кислорода, азота и аргона атмосферы являются радионуклиды [1], активность которых в окружающей среде постоянна.

Таблица 1 - Характеристики естественных радионуклидов, индуцированных космическим излучением

Радионуклид	Скорость образования, атом·см ⁻² ·с ⁻¹)	T _{1/2}	E _β	Радионуклид	Скорость образования, атом·см ⁻² ·с ⁻¹)	T _{1/2}	E _β
³ H	0,20	12,3 года	18 кэВ	³² P	8,1·10 ⁻⁴	14,3 сут	1,71 МэВ
⁷ Be	8,1·10 ⁻²	53 сут	Электронный захват	³³ P	6,8·10 ⁻⁴	25 сут	248 кэВ
¹⁰ Be	4,5·10 ⁻²	2,5·10 ⁵ лет	555 кэВ	³⁵ S	1,4·10 ⁻³	87 сут	167 кэВ
¹⁴ C	2,5	5700 лет	156 кэВ	³⁸ S	4,9·10 ⁻⁵	2,9 ч	1,1 МэВ
²² Na	8,6·10 ⁻⁵	2,6 года	545 (β ⁺) кэВ	³⁴ Cl	2,0·10 ⁻⁴	32,0 мин	2,48 МэВ
²⁴ Na	3,0·10 ⁻⁵	15 ч	1,389 МэВ	³⁶ Cl	1,1·10 ⁻³	3,1·10 ⁵ лет	714 кэВ
²⁸ Mg	1,7·10 ⁻⁴	21,2 ч	460 кэВ	³⁸ Cl	2,0·10 ⁻³	37,3 мин	4,19 МэВ
²⁶ Al	2,4·10 ⁻⁴	7,4·10 ⁵ лет	1,17 МэВ	³⁹ Cl	1,4·10 ⁻³	55,5 мин	1,91 МэВ
³¹ Si	4,4·10 ⁻⁴	2,6 ч	1,48 МэВ	³⁹ Ar	5,6·10 ⁻³	270 лет	565 кэВ
³² Si	1,6·10 ⁻⁴	700 лет	210 кэВ	⁸¹ Kr	1,5·10 ⁻⁷	2,1·10 ⁵ лет	Электронный захват

В этой таблице имеются 2 радионуклида ³₁H (тритий) и ¹⁴₆C (радиоуглерод) исключительно важных для всех тканей объектов биосферы, в том числе и человека, так как они являются изотопами водорода и

углерода, а водорода и углерода в теле человека содержатся соответственно 10 % и 16 % от массы тела [2].

Таким образом, и тритий, и радиоуглерод всегда будут присутствовать в основных тканях человека: костной, жировой и мышечной, а также в белке различных органов. Распадаясь, эти радионуклиды излучают β -частицы, которые будут ионизировать полноценно работающие соседние молекулы и атомы тканей изнутри, нарушая их нормальное функционирование в составе клеток.

Кроме этого, и водород, и углерод, а, следовательно, и тритий и радиоуглерод, входят в состав радикалов молекул ДНК, отвечающих за соматическую и генетическую наследственность. Бета излучение ${}^3_1\text{H}$ и ${}^{14}_6\text{C}$ в этом случае будет облучать соседние радикалы ДНК и вызывать их изменчивость, а следовательно влиять на наследственность. Более того, каждое распавшееся ядро ${}^3_1\text{H}$ и ${}^{14}_6\text{C}$, входящее как ядро водорода или углерода в состав радикала ДНК, становится другим химическим элементов ${}^3_2\text{He}$ и ${}^{14}_7\text{N}$, которого для сохранения стабильности радикалов ДНК, а, следовательно, и изменения наследственных признаков не должно быть.

Следующим источником ядерных излучений на Земле являются радиоактивные семейства:

- семейство урана (19 радионуклидов);
- семейство актиноурана (16 радионуклидов);
- семейство тория (11 радионуклидов) [2].

Излучения, сопровождающие распад всех радионуклидов радиоактивных семейств, частично скрытые в земной коре, также оказывают влияние на биосферу Земли.

Среди радионуклидов этих семейств имеется газ радон (источник α -излучения, коэффициент качества которого составляет 20).

Дочерние радионуклиды радона дают в атмосфере Земли радиоактивные аэрозоли.

Очередным источником ядерных излучений на Земле являются радионуклиды, которые образовались одновременно с образованием Земли. Их количественные характеристики представлены в табл. 2 [3].

Таблица 2 - Количественные характеристики радионуклидов земли

N п/п	Химический элемент	Содержание в земной коре, %	Радионуклид хим.элемента	Период полураспада р/нуклида	Содержание р/нуклида в природной смеси элементов, %	Содержание х/элементов в теле человека. % от массы тела
1	K	2,41	${}^{40}_{19}\text{K}$	$1,28 \cdot 10^9$ лет	0,012	0,2
2	Ca	3,38	${}^{48}_{20}\text{Ca}$	$2 \cdot 10^{16}$ лет	0,185	1,5
3	Rb	$3,1 \cdot 10^{-2}$	${}^{87}_{37}\text{Rb}$	$4,88 \cdot 10^{10}$ лет	27,85	0,0017
4	Zr	$2 \cdot 10^{-2}$	${}^{96}_{40}\text{Zr}$	$3,56 \cdot 10^{17}$ лет	2,8	$8,6 \cdot 10^{-6}$
5	Zn	10^{-5}	${}^{115}_{49}\text{In}$	$5,1 \cdot 10^{15}$ лет	95,77	—

N п/п	Химический элемент	Содержание в земной коре, %	Радионуклид хим.элемента	Период полураспада р/нуклида	Содержание р/нуклида в природной смеси элементов, %	Содержание х/элементов в теле человека. % от массы тела
6	Sn	$4 \cdot 10^{-13}$	$^{124}_{50}\text{Sn}$	$2 \cdot 10^{17}$ лет	5,98	$4,3 \cdot 10^{-5}$
7	Te	10^{-6}	$^{123}_{52}\text{Te}$	$1,23 \cdot 10^{13}$ лет	0,87	—
			$^{128}_{52}\text{Te}$	$1,5 \cdot 10^{24}$ лет	31,79	—
			$^{130}_{52}\text{Te}$	$2,51 \cdot 10^{21}$ лет	34,49	—
8	La	$2,9 \cdot 10^{-3}$	$^{138}_{57}\text{La}$	$1,35 \cdot 10^{11}$ лет	0,089	$7 \cdot 10^{-5}$
9	Nd	$3,68 \cdot 10^{-3}$	$^{144}_{60}\text{Nd}$	$2,1 \cdot 10^{15}$ лет	23,87	—
			$^{145}_{60}\text{Nd}$	10^{17} лет	8,29	—
			$^{150}_{60}\text{Nd}$	$5 \cdot 10^{17}$ лет	5,6	—
10	Sm	$1,12 \cdot 10^{-3}$	$^{147}_{62}\text{Sm}$	$1,08 \cdot 10^{11}$ лет	15,07	—
			$^{148}_{62}\text{Sm}$	$8 \cdot 10^{15}$ лет	11,27	—
			$^{149}_{62}\text{Sm}$	10^{16} лет	13,84	—
11	Lu	$8 \cdot 10^{-5}$	$^{176}_{71}\text{Lu}$	$3,6 \cdot 10^{10}$ лет	2,6	—
12	Re	10^{-7}	$^{187}_{75}\text{Re}$	$5 \cdot 10^{10}$ лет	62,23	—
13	Bi	$2 \cdot 10^{-5}$	$^{209}_{83}\text{Bi}$	$3 \cdot 10^{17}$ лет	100	$4,3 \cdot 10^{-7}$
14	Pt	$5 \cdot 10^{-7}$	$^{190}_{78}\text{Pt}$	$6,1 \cdot 10^{11}$ лет	0,012	—
15	Ce	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$^{142}_{58}\text{Ce}$	$5 \cdot 10^{16}$ лет	11,07	—
16	V	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$^{50}_{23}\text{V}$	$6 \cdot 10^{15}$ лет	0,24	$1,4 \cdot 10^{-7}$
17	W	10^{-4}	$^{180}_{74}\text{W}$	$6 \cdot 10^{14}$ лет	0,14	—
18	Zn	$5 \cdot 10^{-3}$	$^{64}_{30}\text{Zn}$	$8 \cdot 10^{15}$ лет	48,9	0,0033
			$^{70}_{30}\text{Zn}$	10^{15} лет	0,62	—
19	Cd	$5 \cdot 10^{-5}$	$^{113}_{48}\text{Cd}$	$9,3 \cdot 10^{15}$ лет	12,3	$4,3 \cdot 10^{-5}$
			$^{116}_{48}\text{Cd}$	10^{17} лет	7,58	—
20	Mo	$3 \cdot 10^{-3}$	$^{100}_{42}\text{Mo}$	$3 \cdot 10^{17}$ лет	9,62	$7 \cdot 10^{-6}$
21	Se	$6 \cdot 10^{-5}$	$^{82}_{34}\text{Se}$	$1,4 \cdot 10^{20}$ лет	9,19	—
22	Ge	$7 \cdot 10^{-4}$	$^{76}_{32}\text{Ge}$	$2 \cdot 10^{16}$ лет	7,67	—
23	Hf	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$^{174}_{72}\text{Hf}$	$2 \cdot 10^{15}$ лет	0,18	—
24	Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$^{204}_{82}\text{Pb}$	$1,4 \cdot 10^{17}$ лет	1,48	$1,1 \cdot 10^{-4}$
25	Gd	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$^{152}_{64}\text{Gd}$	$1,08 \cdot 10^{14}$	0,2	—
26	Dy	$5 \cdot 10^{-4}$	$^{156}_{66}\text{Dy}$	10^{18} лет	0,052	—
27	Os	$5 \cdot 10^{-6}$	$^{186}_{76}\text{Os}$	$2 \cdot 10^{15}$ лет	1,59	—
28	Pr	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$^{141}_{59}\text{Pr}$	$2 \cdot 10^{16}$ лет	100	—
29	Tb	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$^{159}_{65}\text{Tb}$	$5 \cdot 10^{16}$ лет	100	—
30	Ta	$2 \cdot 10^{-4}$	$^{180}_{73}\text{Ta}$	$6 \cdot 10^{14}$ лет	0,0123	—

В табл. 2 для тела человека особо значимыми являются K, Ca и Rb.

Космогенные радионуклиды, радионуклиды радиоактивных семейств и радионуклиды земной коры являются основными или источниками радиационного фона в различных местах на поверхности Земли [1]:

Алма-Ата = $1,6 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Астрахань = $0,8 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Владивосток = $0,75 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Ереван = $0,75 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Иркутск = $1,1 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Кишинёв = $0,6 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Мурманск = $1,11 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$

Москва = $0,9 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Киев = $0,95 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Санкт-Петербург = $1,2 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Севастополь = $0,45 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Сочи = $0,7 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Ташкент = $1,2 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$
 Новосибирск = $0,8 \text{ мГр} \cdot \text{год}^{-1}$

Все перечисленные источники излучения являются долгоживущими и обнаруживаются в воздухе, воде, в растительности, её плодах, в теле животных. Поэтому они в том или ином количестве находятся и в теле человека и его органах.

Для оценки внутренней активности тела человека и отдельных его органов, связанной с природными радионуклидами, вводится ряд специальных понятий: стандартный человек, эффективная энергия и др.

«Стандартный человек» имеет продолжительность жизни 70 лет, масса его тела 70 кг, поверхность тела $1,6 \text{ м}^2$, рост 1,7 м.

Эффективная энергия представляет собой величину полной энергии, освобождаемой в ткани всеми видами ионизирующих излучений данного радионуклида (рентгеновское, γ , β^+ , β^- , α , сопровождающее К-захват и ядра отдачи) на один акт распада, и включает в себя относительную биологическую эффективность каждого из этих видов излучения. Величина «эффективная энергия» введена Международными рекомендациями для определения предельно-допустимых доз внутреннего облучения в 1960 году. Величина эффективных энергий различных радионуклидов представлены в таблице 3 [4]

Таблица 3 - Эффективные энергии излучения радиоактивных изотопов, используемых при вычислениях предельно допустимых концентраций (для всего тела)

Изотоп	Эффективная энергия, МэВ	Изотоп	Эффективная энергия, МэВ
H^3	0,01	Ca^{45}	0,086
C^{14}	0,054	Sc^{46}	1,3
F^{18}	0,89	Cr^{51}	0,025
Na^{22}	1,6	Mn^{52}	2,1
Na^{24}	2,7	Mn^{54}	0,51
P^{32}	0,69	Mn^{56}	1,9
S^{35}	0,056	Fe^{59}	0,81
Cl^{36}	0,26	Co^{60}	1,5
Cl^{38}	2,3	Cu^{64}	0,25
Ar^{41}	1,8	Zn^{65}	0,32
K^{42}	1,6	As^{76}	1,3

Изотоп	Эффективная энергия, МэВ	Изотоп	Эффективная энергия, МэВ
K ⁴⁰	0,56	La ¹³⁸	1,5
Br ⁸²	1,8	Ba ¹⁴⁰ +La ¹⁴⁰	2,3
Kr ⁸⁵	0,24	La ¹⁴⁰	1,9
Kr ⁸⁷	2,8	Ce ¹⁴¹	0,21
Rb ⁸⁶	0,7	Ce ¹⁴⁴ +Pr ¹⁴⁴ +Nd ¹⁴⁴	1,3
Sr ⁸⁵	0,33	Nd ¹⁴⁷	0,4
Sr ⁸⁹	0,55	Pm ¹⁴⁷ +Sm ¹⁴⁷	0,069
Sr ⁹⁰ +Y ⁹⁰	1,1	Eu ¹⁵⁴	1,3
Y ⁹⁰	0,89	Eu ¹⁵⁵	0,16
Y ⁹⁰	0,59	Tu ¹⁷⁰ +Yb ^{170m}	0,34
Zr ⁹⁵	1,1	Au ¹⁹⁸	0,58
Nb ⁹⁵	0,51	Au ¹⁹⁹ +Hg ^{199m}	0,18
Ru ¹⁰³ +Rh ^{103m}	0,44	Hg ²⁰³	0,25
Ru ¹⁰⁵ +доч. пр.	1,2	Pb ²⁰³	0,22
Ru ¹⁰⁶ +Rh ¹⁰⁶	1,4	Pb ²¹⁰	0,045
Rh ¹⁰⁵	0,2	Bi ²⁰⁷ +Pb ^{207m}	1,0
Ag ¹⁰⁵	0,63	Po ²¹⁰	55,0
Ag ^{110m} +Ag ¹¹⁰	1,4	Ra ²²⁶	49,0
Ag ¹¹¹ +Cd ^{111m}	0,4	Th ²²⁸	56,0
Sb ¹²⁴	1,6	Th ²³²	41,0
Te ^{125m}	0,15	U ²³³	50,0
Te ^{127m}	0,32	U ²³⁵ +Th ²³¹	46,0
Te ¹²⁷	0,24	U ²³⁸	43,0
I ¹³¹ +Xe ^{131m}	0,44	Pu ²³⁹	53,0
I ¹³³ +Xe ^{133m} +Xe ¹³³	0,64	Pu ²⁴⁰	53,0
Xe ¹³³	0,19	Am ²⁴³	54,0
Cs ¹³⁷ +Ba ^{137m}	0,59	Bi ²⁰⁹	34,3
Rb ⁸⁷	0,095		

Для оценки активности всего тела человека и отдельных его органов, создаваемой космогенными радионуклидами, радионуклидами радиоактивных семейств и радионуклидами земной коры необходимо знать много данных о теле человека, ежедневном потреблении химических элементов, содержании химических элементов в отдельных органах человека, тканях, массу органов, частоте дыхания и др. Поэтому ниже приводятся эти данные.

Таблица 4 – Масса органов и тканей «стандартного человека»

Орган	Масса, г	Процент к весу тела	Эффективный радиус, см
Все тело *	70 000	100	30
Мускулатура	30 000	43	30
Кожа и подкожная клетчатка **	61 00	8,7	0,1
Жировая ткань	10 000	14	20
Скелет:			

Орган	Масса, г	Процент к весу тела	Эффективный радиус, см
без костного мозга	7 000	10	5
красный костный мозг	1500	2,1	—
желтый костный мозг	1500	2,1	—
Кровь	5400	7,7	—
Желудочно-кишечный тракт *	2 000	2,9	30
Содержимое желудочно-кишечного тракта:			
нижняя часть толстой кишки	150	0,0021	5
желудок	250	0,004	—
тонкая кишка	1100	0,016	—
верхняя часть толстой кишки	≈ 100	—	—
Печень	1700	2,4	10
Мозг	1500	2,1	15
Легкие (2)	1000	1,4	10
Лимфатическая ткань	700	1,0	—
Почки (2)	300	0,43	7
Сердце	300	0,43	7
Селезенка	150	0,21	7
Мочевой пузырь	150	0,21	—
Поджелудочная железа	70	0,10	5
Слюнные железы (6)	50	0,071	—
Яички (2)	40	0,057	3
Спинной мозг	30	0,043	1
Глаза (2)	30	0,043	0,25
Щитовидная железа	20	0,029	3
Зубы	20	0,029	—
Предстательная железа	20	0,029	3
Надпочечники (2)	20	0,029	3
Зобная железа	10	0,14	—
Яичник (2)	8,0	0,011	3,0
Гипофиз	0,6	$8,6 \cdot 10^{-6}$	0,5
Шишковидная железа	0,2	$2,9 \cdot 10^{-6}$	0,04
Паращитовидная железа (4)	0,15	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,06
Остальные органы и ткани (кровеносные сосуды, хрящи, нервы и т. д.)	390	0,56	—

Таблица 5 - Состав тела стандартного человека

Название составных частей тела	Масса, г		Процент к весу тела %	
	новорожденный	взрослый	новорожденный	взрослый
Вода	2100—2200	40000-46 000	66-68	58-65
Белок	400	10000	12	15
Жир	250	7 000	7	10
Углеводы	30	700	1	1

Зола	100	3 500	3	5
------	-----	-------	---	---

Таблица 6 - Среднее содержание химических элементов в организме стандартного человека

№ п/п	Элемент	В процентах от веса тела, %	Среднее количество в человеке, весом 70кг	№ п/п	Элемент	В процентах от веса тела, %	Среднее количество в человеке, весом 70кг
1	Кислород (O)	65,0	45000	24	Мышьяк (As)	$<1,4 \cdot 10^{-4}$	$<0,1$
2	Углерод (C)	18,0	12600	25	Сурьма (Sb)	$<1,3 \cdot 10^{-4}$	$<0,09$
3	Водород (H)	10,0	7000	26	Лантан (La)	$<7,0 \cdot 10^{-5}$	$<0,05$
4	Азот (N)	3,0	2100	27	Ниобий (Nb)	$<7,0 \cdot 10^{-5}$	$<0,05$
5	Кальций (Ca)	1,5	1050	28	Титан (Ti)	$<2,1 \cdot 10^{-5}$	$<0,015$
6	Фосфор (P)	1,0	700	29	Никель (Ni)	$<1,4 \cdot 10^{-5}$	$<0,01$
7	Сера (S)	0,25	175	30	Бор (B)	$<1,4 \cdot 10^{-5}$	$<0,01$
8	Калий (K)	0,2	140	31	Хром (Cr)	$<8,6 \cdot 10^{-6}$	$<0,006$
9	Натрий (Na)	0,15	105	32	Рутений (Ru)	$<8,6 \cdot 10^{-6}$	$<0,006$
10	Хлор (Cl)	0,15	105	33	Таллий (Tl)	$<8,6 \cdot 10^{-6}$	$<0,003$
11	Магний (Mg)	0,05	35	34	Цирконий (Zr)	$<8,6 \cdot 10^{-6}$	$<0,006$
12	Железо (Fe)	0,0057	4	35	Молибден (Mo)	$<7,0 \cdot 10^{-6}$	$<0,005$
13	Цинк (Zn)	0,0033	2,3	36	Кобальт (Co)	$<4,3 \cdot 10^{-6}$	$<0,003$
14	Рубидий (Rb)	0,0017	1,2	37	Бериллий (Be)	$<3,0 \cdot 10^{-6}$	$<0,002$
15	Стронций (Sr)	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,14	38	Золото (Au)	$<1,4 \cdot 10^{-6}$	$<0,001$
16	Медь (Cu)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,1	39	Серебро (Ag)	$<1,4 \cdot 10^{-6}$	$<0,001$
17	Алюминий (Al)	$1,4 \cdot 10^{-4}$	0,1	40	Литий (Li)	$<1,3 \cdot 10^{-6}$	$<0,0009$
18	Свинец (Pb)	$1,1 \cdot 10^{-4}$	0,08	41	Висмут (Bi)	$<4,3 \cdot 10^{-7}$	$<0,0003$
19	Олово (Sn)	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,03	42	Ванадий (V)	$<1,4 \cdot 10^{-7}$	$<0,0001$
20	Йод (I)	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,03	43	Уран (U)	$3,0 \cdot 10^{-8}$	$<0,00002$
21	Кадмий (Cd)	$4,3 \cdot 10^{-5}$	0,03	44	Цезий (Cs)	$<1,4 \cdot 10^{-8}$	$<0,00001$
22	Марганец (Mn)	$3,0 \cdot 10^{-5}$	0,02	45	Галлий (Ga)	$<3,0 \cdot 10^{-9}$	$<0,000002$
23	Барий (Ba)	$2,3 \cdot 10^{-5}$	0,016	46	Радий (Ra)	$1,4 \cdot 10^{-13}$	$1,0 \cdot 10^{-10}$

Таблица 7 - Содержание элементов в органах «стандартного человека» (мг·г⁻¹ сырого веса ткани)

Ткани и органы	Элементы										
	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Ca	Cd
Аорта	0,015	0,8	<028	<0,2	<0,1	0,15	<0,03	<0,15		970	<0,6
Влагалище	<0,005	0,3	<2,6	<0,09	<0,09	0,03	<0,03	<0,03		200	<0,58
Гортань	<0,015	0,61	<4	<0,13	<0,13	0,215	<0,04	<0,08		1920	<0,9
Грудные железы	<0,002	0,4	<2,5	<0,09	<0,08	0,015	<0,03	<0,03		64	<0,2
Желудочно-кишечный тракт:											
Пищевод	<0,004	0,82	<2,1	<0,08	<0,07	0,05	<0,02	<0,03		120	<0,5
Желудок	<0,006	0,52	<1,7	<0,07	<0,14	0,038	<0,02	<0,5		115	<0,43
Двенадцатиперстная кишка	<0,006	0,75	<1,7	<0,07	<0,06	0,038	<0,02	<0,03		86	<0,56
Тонкая кишка	<0,004	0,57	<2,1	<0,13	<0,12	0,04	<0,02	<0,5		76	<0,6
Подвздошная кишка	<0,005	2,	<0,9	<0,1	<0,04	0,088	<0,01	<0,04		135	<0,26
Слепая кишка	<0,009	1,26	<1,2	<0,09	<0,05	0,12	<0,01	<0,1		155	<0,32
Сигмовидная кишка	<0,007	1,05	<0,9	<0,05	<0,04	0,09	<0,01	<0,04		115	<0,26
Прямая кишка	<0,004	0,74	<0,9	<0,03	<0,03	0,54	<0,01	<0,07		140	<0,24
Зобная железа	0,002	0,23	<1,2	<0,04	<0,04	0,9	<0,01	<0,02		63	<0,28
Кожа	0,013	2,8	<1,2	<0,05	<0,12	0,161	<0,01	<0,03		150	<0,28
Кость	<0,1	<0,4	0,01	<2,5	<3,0	1,63			0,3	148000	
Кровь		0,16								50	
Легкие	<0,008	24,0	0,09	<0,08	<0,09	0,183	<0,02	<0,04	5,0	130	0,7
Матка	<0,005	0,44	<2,6	<0,09	<0,09	0,05	<0,03	<0,04		185	<0,61
Мозг	0,045	0,29	<4,0	<0,13	<0,14	<0,01	<0,04	<0,05		110	<0,9
Мочевой пузырь	0,003	0,61	<1,4	<0,1	<0,11	0,03	<0,01	<0,02		130	<0,38
Мышцы:											
Диафрагмы	<0,004	0,35	<1,8	<0,06	<0,06	<0,03	<0,01	<0,05		74	<0,43

Ткани и органы	Элементы										
	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Ca	Cd
Грудные	<0,005	0,20	<2,7	<0,09	<0,09	<0,011	<0,03	<0,04		37	<0,6
Поясничные	<0,007	0,34	<3,0	<0,10	<0,10	<0,014	<0,03	<0,05		49	<0,7
Надпочечник и	0,016	0,62	<1,4	<0,16	<0,11	0,025	<0,01	<0,05		44	<0,4
Печень	0,018	0,71	0,1	<0,12	<0,14	<0,013	<0,03	<0,07	2,4	70	2,44
Поджелуд. жел.	<0,007	0,47	<2,4	<0,11	<0,11	0,026	<0,02	<0,06		120	1,2
Почки	<0,01	0,41	0,03	<0,12	<0,12	0,027	<0,03	<0,02	0,4	115	32,0
Простата	0,021	0,89	<2,9	<0,2	<0,15	0,05	<0,03	<0,04		320	<0,76
Сальник	0,002	1,26	<0,2	<0,01	<0,01	<0,026	<0,003	<0,12		40	<0,09
Селезенка	<0,006	1,1	0,02	<0,1	<0,12	<0,022	<0,03	<0,052	4,2	84	<0,74
Сердце	<0,006	0,3	<2,6	<0,09	<0,09	0,01	<0,03	<0,04	1,8	53	<0,6
Трахея	<0,02	1,85	<3,4	<0,47	<0,13	0,113	<0,03	<,19		950	<0,8
Щитовидная железа	<0,04	1,2	<3,1	<0,1	<0,1	0,26	<0,03	<0,1		260	<0,8
Язык	<0,005	0,62	<3,2	<0,11	<0,11	0,04	<0,03	<4,4		175	<0,75
Яички	<0,005	0,5	0,04	<0,11	<0,09	0,011	<0,03	<0,08	0,33	100	<0,6
Яичник	<0,005	0,7	0,01	<0,07	<0,09	0,04	<0,03	<0,4	0,33	220	<0,6

Ткани и органы	Элементы										
	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ga	I	K	La
Аорта	600	<0,07	0,06	<1,4	1,3		46	<0,009		1370	<0,9
Влагалище		0,14	0,7		<0,90		32	<0,009		150	<0,9
Гортань		0,05	0,07	<0,03	1,1		28	<0,013		1530	<1,3
Грудные железы		0,02	0,03		<0,36		4,4	<0,003		310	<0,3
Желудочно-кишечный тракт:											
Пищевод	<0,03	0,005	<0,01	1,3		34	<0,007			1510	<0,7
Желудок	<,04	0,03	<0,01	1,7		29	<0,006			1520	<0,6
Двенадцатиперстная кишка	<0,04	0,03		2,3		39	<0,006			1520	<0,6

Ткани и органы	Элементы										
	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ga	I	K	La
Тонкая кишка	<0,04	0,03	<0,02	2,0		33	<0,007			1600	<0,7
Подвздошная кишка	<0,04	0,04		1,9		28	<0,003			1230	<0,3
Слепая кишка	<0,26	0,047		1,4		23	<0,004			1060	<0,4
Сигмовидная кишка	<0,1	0,05	<0,01	1,5		21	<0,003			1320	<0,3
Прямая кишка	<0,06	0,04		1,2		28	<0,003			1580	<0,3
Зобная железа		<0,02	0,01		0,42		19	<0,004		540	<0,4
Кожа	2600	<0,02	0,33	<0,01	0,90		16	<0,005	1,0	800	<0,4
Кость	1700	0,6	<0,49	6,0	0,6	200	115		0,3	880	
Кровь	320				1,0	0,3	0,5		390	11	
Легкие	2550	0,06	0,2	0,4	1,3	0,6	300	0,011		2120	0,8
Матка		0,07	0,24	0,02	0,95		27	<0,009		1730	<0,9
Мозг	1300	<0,05	<0,01	<0,03	5,8	0,5	48	<0,01	0,1	3300	<1,3
Мочевой пузырь		<0,02	0,04	<0,01	0,95		25	<0,005		1730	<0,5
Мышцы:											
Диафрагмы		<0,13	0,04	<0,3	1,35		44	<0,006		2600	<0,6
Грудные		<0,04	0,03		0,71		28	<0,003		2830	<0,9
Поясничные		<0,10	0,03		0,9		36	<0,01		3330	<1,0
Надпочечники		<0,01	0,07	<0,7	1,1		43	<0,005		1100	<0,4
Печень	1250	0,3	0,02	0,6	8,6		185	<0,011	1,1	3100	<1,1
Поджелуд. жел.	1600	<0,05	0,04	0,04	1,7		39	<0,008	0,5	2800	<0,8
Почки	2100	0,2	0,03	0,34	2,9	0,8	76	<0,01	0,2	2030	<1,0
Простата		<0,07	0,05	<0,02	1,4		30	<0,01		2200	<1,0
Сальник		<0,01	0,04	<0,002	0,34		28	<0,001		400	<0,09
Селезенка	1550	0,1	0,02	0,6	1,22	0,3	330	<0,01		3500	<1,1
Сердце	1250	<0,04	0,02	<0,02	3,51	0,5	50	<0,009	0,9	2500	<0,1
Трахея		<0,05	0,07	<0,02	1,2		47	<0,011		2200	<1,1
Щитовидная	1700	<0,08	0,03	<0,02	1,1		66	<0,01	350	1100	<1,0

Ткани и органы	Элементы										
	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ga	I	K	La
железа											
Язык		<0,04	0,06		1,43		33	<0,011		2800	<1,1
Яички	2330	0,05	0,03	0,3	1,0		27	<0,009		2100	<0,9
Яичник		0,02	0,14	0,13	1,06		35	<0,009	0,9	1350	<0,9
Ткани и органы	Элементы										
	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Ni	P	Pb	Ra	Rb
Аорта	0,02	230	0,12	<0,09	2400	<0,9	<0,15	1100	2,51		9,9
Влагалище		85	0,09	<0,09		<0,9	<0,13	6100	0,16		
Гортань	0,03	300	0,19	<0,13	2700	<1,3	<0,17	1700	2,2		12,6
Грудные железы		20	0,03	<0,03		<0,3	<0,07	140	0,04		
Желудочно-кишечный тракт:											
Пищевод		120	0,12	<0,08	1900	<0,7	<0,09	850	0,16		7,2
Желудок	0,013	100	0,31	<0,06	1300	<0,6	<0,06	1150	0,19		8,6
Двенадцатиперстная кишка	0,009	100	0,47	<0,06		<0,6	<0,08	1230	0,4		8,6
Тонкая кишка		120	0,61	<0,07	1600	<0,7	<0,06	1400	0,32		23,0
Подвздошная кишка	0,009	150	0,63	<0,05		<0,3	<0,13	1000	0,28		
Слепая кишка	0,009	200	0,94	<0,04		<0,4	0,24	680	0,28		
Сигмовидная кишка		175	0,45	<0,03	1600	<0,3	0,15	800	0,18		5,9
Прямая кишка	0,01	180	0,43	<0,03		<0,3	0,14	760	0,49		
Зобная железа		27	0,04	<0,04		<0,4	<0,04	370	0,07		
Кожа	0,021	73	0,2	<0,05	920	<0,4	0,44	310	0,55		2,0
Кость	0,003	980	<0,1	1,5	5000		<2,0	80000	6,6	$1,7 \cdot 10^{-8}$	10,0
Кровь	0,02	43	0,14		1750			380	0,3		
Легкие	<0,03	95	0,18	<0,08	1900	<0,8	<0,27	1110	0,68		7,3
Матка	0,004	110	0,10	<0,09	2000	<0,9	<0,23	1000	0,19		5,6

Ткани и органы	Элементы										
	Cl	Co	Cr	Cs	Cu	F	Fe	Ga	I	K	La
Мозг	0,007	140	0,26	0,1	1700	<1,3	<0,1	3300	<0,4		28,0
Мочевой пузырь	0,014	130	0,14	<0,05	1600	<0,5	<0,08	740	0,17		6,6
Мышцы:											
Диафрагмы	<0,005	140	0,13	<0,06	1600	<0,6	<0,08	1200	0,17		
Грудные		145	0,05	<0,09	1900	<0,9	<0,11	1440	0,19		
Поясничные		190	0,05	<0,1		<1,0	<0,11	1700	0,14		31,0
Надпочечник и		50	0,19	0,57		<0,45	0,28	1000	0,13		
Печень	<0,006	165	1,3	1,13	1400	<1,1	<0,11	2700	2,0		63,0
Поджелуд. жел.	<0,005	165	1,16	<0,08	1400	<0,8	<0,09	2500	0,72		62,0
Почки	0,008	130	0,85	0,40	2200	<1,0	<0,09	1700	1,24		10,7
Простата	0,013	175	0,22	<0,1	2000	<1,0	<0,1	1100	0,91		6,9
Сальник	0,005	22	0,05	<0,01	350	<0,09	0,04	170	0,14		2,0
Селезенка	<0,006	130	0,11	<0,11	1200	<1,1	<0,1	2200	0,67		43,0
Сердце	0,008	160	0,19	<0,09	1300	<0,9	<0,12	1601	<0,2		15,1
Трахея	0,044	260	0,18	<0,11	3000	<1,1	0,18	850	1,1		21,0
Щитовидная железа	0,023	73	0,23	<0,1	2200	<1,0	<0,11	520	0,14		4,2
Язык		175	0,23	<0,11		<1,1	0,24	1300	<0,06		
Яички	0,009	115	0,14	<0,09	2100	<0,9	<0,09	1400	0,15		12,0
Яичник	0,011	86	0,17	<0,09		<0,9	<0,1	940	0,13		4,5

Ткани и органы	Элементы										
	Ru	Sb	Si	Sn	Sr	Fe	Ti	Tl	V	Zn	Zr
Аорта	<0,09	<2,8		0,41	0,43		<0,17	<0,09	<0,01	26	<0,9
Влагалище	<0,09	2,6		0,2	0,17		<0,1	<0,09	<0,009	16	<0,9
Гортань	<0,1	<4,0		0,18	1,0		<0,17	<0,13	<0,013	29	1,3
Грудные железы	<0,04	<2,5		0,26	0,06		<0,05	<0,04	<0,004	2,8	<0,4
Желудочно-кишечный тракт:											
Пищевод	<0,07	<2,1		0,8	0,1		<0,12	<0,07	<0,007	22	<0,7
Желудок	<0,06	<1,7		0,35	0,12		<0,07	<0,06	<0,012	18	<0,6

Ткани и органы	Элементы										
	Ru	Sb	Si	Sn	Sr	Fe	Ti	Tl	V	Zn	Zr
Двенадцатиперстная кишка	<0,07	<1,7		0,54	0,12		<0,08	<0,06	<0,007	20	<0,6
Тонкая кишка	<0,06	<2,1		0,52	0,15		<0,08	<0,07	<0,008	20	<0,7
Подвздошная кишка	<0,03	<0,9		1,13	0,22		<0,06	<0,03	<0,018	21	<0,3
Слепая кишка	<0,04	<1,2		2,2	0,31		<0,06	<0,04	<0,015	22	<0,4
Сигмовидная кишка	<0,03	<0,9		0,6	0,25		<0,1	<0,03	<0,047	18	<0,3
Прямая кишка	<0,03	<0,9		0,94	0,19		<0,08	<0,03	<0,037	26	<0,3
Зобная железа	<0,04	<1,2	260	0,05	0,05		<0,06	<0,04	<0,004	4,2	<0,4
Кожа	<0,04	<1,2	55	0,28	0,1		0,61	<0,04	<0,008	6	0,4
Кость		0,2		<1,3	15,0	321	<1,0		<1,5	66	
Кровь			2,5	0,23						9,3	
Легкие	<0,08	0,1	130	0,74	0,12	13	2,8	<0,08	<0,071	14	<0,8
Матка	<0,09	<2,6		0,1	0,15		<0,1	<0,09	<0,009	20	<0,9
Мозг	<0,13	<4,0	26	<0,1	0,4		<0,13	3300	0,01	13	<1,3
Мочевой пузырь	<0,05	<1,4	19	0,25	0,15		<0,05	<0,05	0,006	22	<0,5
Мышцы:											
Диафрагмы	<0,006	<1,8		<0,09	0,06		<0,07	<0,06	<0,006	43	<0,6
Грудные	<0,09	<2,7		<0,21	0,02		<0,10	<0,09	<0,009	46	<0,9
Поясничные	<0,1	<3,0		<0,11	0,03		<0,10	<0,1	<0,01	51	<1,0
Надпочечники	<0,05	<0,9	125	0,19	0,02		<0,13	<0,05	<0,005	8,4	<0,5
Печень	<0,1	<0,2	24	0,4	0,03	1075	<0,14	<0,11	<0,014	46	<1,0
Поджелуд. жел.	<0,08	<2,4	34	<0,27	0,07		<0,11	<0,08	<0,008	27	<0,8
Почки	<0,1	<0,3	21	0,28	0,08	62	<0,14	<0,1	<0,011	48	<1,0
Простата	<0,1	<2,9	70	0,31	0,24	<1,0	<0,16	<0,1	<0,01	87	<1,0
Сальник	<0,01	<0,26		0,03	0,04		0,07	<0,01	<0,002	3,3	<0,08
Селезенка	<0,11	<0,1	34	0,24	0,05	260	<0,18	<0,11	<0,013	19	<1,1

Ткани и органы	Элементы										
	Ru	Sb	Si	Sn	Sr	Fe	Ti	Tl	V	Zn	Zr
Сердце	<0,09	<2,6	25	<0,15	0,05		<0,09	<0,09	<0,009	27	<0,9
Трахея	<0,11	<3,4		0,51	0,48		<0,26	<0,11	<0,01	15	<1,1
Щитовидная железа	<0,1	<3,1	45	0,28	0,13		<0,49	<0,1	<0,01	27	<1,0
Язык	<0,11	<3,2		0,14	0,07		<0,11	<0,11	<0,011	29	<1,1
Яички	<0,09	<0,05	31	0,21	0,06	42	<0,1	<0,08	<0,009	15	<0,8
Яичник	<0,09	<0,03	18	1,15	0,25	14	<0,1	<0,09	<0,009	13	<0,9

ЗАДАЧИ

1. В состав тела человека входит 46 химических элементов, содержание каждого из них в теле представлено в таблице 6. Часть из этих химических элементов имеют природные радиоактивные изотопы, которые и создают радиоактивность человеческого тела. Содержание этих радионуклидов в природной смеси элемента представлено в таблице 2. Эти природные радионуклиды и создают внутреннюю активность тела человека: ^3_1H ($T_{0,5} = 12,25$ лет), $^{14}_6\text{C}$ ($T_{0,5} = 5570$ лет), $^{40}_{19}\text{K}$ ($T_{0,5} = 1,3 \cdot 10^9$ лет), $^{48}_{20}\text{Ca}$ ($T_{0,5} = 6,4 \cdot 10^{19}$ лет), $^{64}_{30}\text{Zn}$ ($T_{0,5} = 8 \cdot 10^{15}$ лет), $^{70}_{30}\text{Zn}$ ($T_{0,5} = 10^{15}$ лет), $^{87}_{37}\text{Rb}$ ($T_{0,5} = 4,88 \cdot 10^{10}$ лет), $^{96}_{40}\text{Zr}$ ($T_{0,5} = 3,56 \cdot 10^{17}$ лет), $^{100}_{42}\text{Mo}$ ($T_{0,5} = 3 \cdot 10^{17}$ лет), $^{113}_{48}\text{Cd}$ ($T_{0,5} = 9,3 \cdot 10^{15}$ лет), $^{116}_{48}\text{Cd}$ ($T_{0,5} = 10^{17}$ лет), $^{124}_{50}\text{Sn}$ ($T_{0,5} = 4 \cdot 10^{17}$ лет), $^{138}_{57}\text{La}$ ($T_{0,5} = 1,35 \cdot 10^{11}$ лет), $^{204}_{82}\text{Pb}$ ($T_{0,5} = 1,4 \cdot 10^{17}$ лет), $^{209}_{83}\text{Bi}$ ($T_{0,5} = 3 \cdot 10^{17}$ лет), $^{223}_{88}\text{Ra}$ ($T_{0,5} = 11,43$ сут), $^{224}_{88}\text{Ra}$ ($T_{0,5} = 3,67$ сут), $^{226}_{88}\text{Ra}$ ($T_{0,5} = 1600$ лет), $^{228}_{88}\text{Ra}$ ($T_{0,5} = 5,57$ лет), $^{234}_{92}\text{U}$ ($T_{0,5} = 2,45 \cdot 10^5$ лет), $^{235}_{92}\text{U}$ ($T_{0,5} = 6,85 \cdot 10^8$ лет), $^{238}_{92}\text{U}$ ($T_{0,5} = 4,5 \cdot 10^9$ лет). Оценить активность каждого радионуклида внутри своего тела, суммарную активность своего тела, выделить радионуклиды, определяющие активность тела, если содержание ^3_1H в водороде составляет 18 ТЕ (1 ТЕ составляет: 1 атом трития приходится на 10^{18} атомов водорода).

2. Оценить мощность эквивалентной дозы в Зв/ч и бэр/ч, которой постоянно облучается Ваше тело за счет радионуклидов, находящихся в нем (смотри задачу № 1). Какую дозу Вы сможете получить за счет этого к 30-, 40-, 50- и 60-летнему возрасту, используя значения эффективных энергий каждого радионуклида, находящегося внутри тела. Значения эффективных энергий представлены в таблице 3. Под эффективной энергией понимают величину полной энергии в МэВ, поглощаемой в ткани от всех видов ионизирующего излучения данного радионуклида (рентгеновское, альфа, позитронное, электронное, гамма и ядра отдачи) на один распад, включая относительную биологическую эффективность каждого вида излучения.

3. Оценить активность костной ткани своего тела, наводимую ^3_1H , $^{48}_{20}\text{Ca}$, $^{40}_{19}\text{K}$, $^{87}_{37}\text{Rb}$, $^{226}_{88}\text{Ra}$, $^{238}_{92}\text{U}$, и $^{14}_6\text{C}$, если костная ткань женщины составляет 12 %, а мужчины 15% от массы тела, а содержание перечисленных элементов, в костной ткани составляет Ca – $1,48 \cdot 10^5$ мкг $\cdot$ г $^{-1}$, K – 880 мкг $\cdot$ г $^{-1}$, Rb – 10 мкг $\cdot$ г $^{-1}$, Ra – $1,7 \cdot 10^{-8}$ мкг $\cdot$ г $^{-1}$, содержание C – 10% от массы костной ткани, содержание H $_2$ O – 22% от массы костной ткани и содержание U составляет 85% от массы U во всем теле (задача № 1).

4. Оценить активность своего головного мозга, масса которого составляет 2,1% от массы тела, если известно, что мозговая ткань на 85 % состоит из H $_2$ O (содержание трития взять из задачи №1). Кроме этого, в мозговой ткани присутствует Ca (110 мкг $\cdot$ г $^{-1}$), K (3300 мкг $\cdot$ г $^{-1}$), La ($1,3$ мкг $\cdot$ г $^{-1}$), Rb ($5,6$ мкг $\cdot$ г $^{-1}$) и сухой белок в количестве 45 % от общей сухой массы, в котором C составляет 55 % и H составляет 7,3 %.

5. Оценить активность мышечной ткани своего тела, если эта ткань составляет 45 % массы тела у мужчин и 35 % массы тела у женщин. H_2O в мышечной ткани составляет 76 %, $K - 3330 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 31 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Ca - 54 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $La - 0,9 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$. Белок составляет 80 % от сухой массы этой ткани и состоит на 53 % из C и на 7% из H .

6. Оценить активность жировой ткани своего тела, если эта ткань составляет 15 % массы тела у мужчин и 27 % массы тела у женщин. Кроме этого, известно, что в жировой ткани находится 29 % H_2O , а остальная ткань на 79 % состоит из C и на 13 % из H . Ca составляет $40 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 400 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $La - 0.09 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 2 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ всей массы жировой ткани.

7. Оценить активность своего сердца, если масса сердца составляет 0,43% массы тела, H_2O составляет 75 % массы сердца. Белок составляет 60 % сухой массы сердца и состоит на 55 % из C и 7% из H . Кроме этого, в сердце содержится $Ca - 53 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 2500 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 15,1 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы сердца.

8. Оценить активность своей селезенки, если масса селезенки составляет 0,21 % массы тела. H_2O составляет 65 % массы селезенки. Белок составляет 84 % сухой массы селезенки и состоит на 55 % из C и 7,3 % из H . Кроме этого, в селезенке содержится $Ca - 84 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 3500 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $La - 1,1 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 43 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$.

9. Оценить активность печени своего тела, если ее масса составляет 25 % массы тела. H_2O в печени составляет 70 % массы органа. Белок составляет 57 % сухой массы печени и состоит на 55 % из C и 7.3 % из H . Кроме этого, в печени содержится $Ca - 70 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 3100 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 63 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы печени.

10. Оценить активность своих легких, если их масса составляет 1,4 % массы тела. H_2O в них составляет 88 % массы органа. Белок составляет 82,5 % сухой массы легких. Он состоит на 56 % из C и 7 % из H . Также, в легких содержится $Ca - 130 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 2120 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 7.3 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы легких.

11. Оценить активность своих почек, если масса почек составляет 0,43 % массы тела, а H_2O составляет 95 % массы почек. Белок составляет 72 % сухой массы почек и состоит на 56 % из C и на 7,5 % из H . Кроме этого, в сырой массе почек содержится $Ca - 115 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 2030 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $La - 1,0 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 11 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$.

12. Оценить активность поджелудочной железы своего тела, если ее масса составляет 0,1 % массы тела. Вода в ней составляет 98 % массы органа. Белок составляет 70 % сухой массы железы, он состоит на 54 % из C и 6,8 % из H . Также, в сырой массе поджелудочной железы содержится $Ca - 120 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $K - 2800 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, $Rb - 62 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$.

13. Оценить активность желудочно-кишечного тракта (ЖКТ), связанную с природными радионуклидами, если его масса составляет 2,9 %

от массы тела, а сам ЖКТ состоит на 60 % из воды и на 35 % из сухого белка. Состав белка примерно такой же как и в задаче 9. Кроме того, в состав ЖКТ входит Ca ($122 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$ сырой массы ЖКТ), Bi ($0,4 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), La ($0,7 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Rb ($15 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), K ($1580 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Mo ($0,06 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Pb ($0,4 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Sn ($1,5 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Zn ($20 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$), Zr ($0,6 \text{ мкг} \cdot \text{г}^{-1}$).

14. На базе решённых задач и видов активных природных радионуклидов проанализировать: у кого, женской или мужской персоны внешнее γ -поле более высокой мощности дозы и почему?

15. Сравнить результат задачи №1 с суммой результатов задач 4-15. Дать анализ.

16. Оценить объемную активность крови в своем теле, создаваемую тритием и радиоуглеродом, если ее масса составляет 7,7 % от массы тела. Кровь на 52 % состоит из плазмы. Плазма состоит на 90 % из воды и на 8,5 % из белка. Белок состоит на 55 % из углерода и на 8 % из водорода.

17. В соответствии в НРБ-99/2009:

- оценить риск злокачественных заболеваний для тела согласно выполненным оценкам к 40-ка, 50-ти, 60-ти и 70-ти годам, если коэффициент риска составляет $4,1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$. Дать анализ;

- оценить риск наследственных эффектов согласно выполненным оценкам к 30-ти, 40-ка и 50-ти годам, если коэффициент риска составляет $0,1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв}^{-1}$. Дать анализ.

18. Оценить активность и массу постоянного (стабильного) количества космогенного радионуклида _____ в условиях Земли, скорость образования которого на Земле составляет _____ атом $\cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ поверхности Земли. Значения брать по номеру варианта в таблице 1.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Определение массы органа

В задаче даны процент содержания органов или тканей, следовательно, определение массы органа или ткани определяется как:

$$m_{\text{органа}} = \frac{m_{\text{тела/органа}} \cdot \%}{100\%},$$

где $m_{\text{органа}}$ – масса органа или ткани, г; $m_{\text{тела/органа}}$ – масса тела или органа, г; % - процент содержания органа или ткани в теле.

Определение массы химического элемента

В задаче даны процентные содержания химических элементов, следовательно, определение массы элемента в теле или в органе определяется как:

$$m_{\text{хэ}} = \frac{m_{\text{тела/органа}} \cdot \%}{100\%},$$

где $m_{\text{хэ}}$ – масса химического элемента, г; $m_{\text{тела/органа}}$ – масса тела или органа, г; % - процент содержания химического элемента в теле или в органе.

Если в задаче дано содержание химического элемента $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$, тогда массу органа, выраженную в г, в котором определяется содержание химического элемента необходимо умножить на удельное содержание химического элемента:

$$m_{\text{хэ}} = m_{\text{органа}}(г) \cdot m_m\left(\frac{\text{мг}}{\text{г}}\right),$$

где $m_{\text{хэ}}$ – масса химического элемента, мкг; $m_{\text{органа}}$ – масса органа, г; m_m – удельная масса химического элемента в теле или в органе, $\text{мкг} \cdot \text{г}^{-1}$.

Определение массы радионуклида химического элемента

В задаче и в таблице 2 даны процентные содержания радионуклидов в природной смеси химических элементов, следовательно, определение массы радионуклида в теле или в органе определяется как:

$$m_{\text{рн}} = \frac{m_{\text{хэ}} \cdot \%}{100\%},$$

где $m_{\text{рн}}$ – масса радионуклида, г; $m_{\text{хэ}}$ – масса химического элемента, г; % – процент содержания радионуклида в химическом элементе.

Определение массы трития

Так как тритий – изотоп водорода, а водород – часть молекулы воды, необходимо для начала определить массу воды в органе, ткани или теле, после оценить число молекул воды в органе, ткани или теле:

$$N_{\text{молекул}}^{H_2O} = \frac{N_a}{M} \cdot m,$$

где N_a – число Авогадро (физическая величина, численно равная количеству специфицированных структурных единиц (атомов, молекул, ионов, электронов или любых других частиц) в 1 моле вещества. Определяется как количество атомов в 12 граммах (точно) чистого изотопа углерода-12), $N_a = 6,022\,141\,29(27) \cdot 10^{23}$ моль⁻¹; M – молярная масса молекулы воды (Молярная масса — характеристика вещества, отношение массы вещества к количеству молей этого вещества, то есть масса одного моля вещества), г · моль⁻¹; m – масса органа, г.

После, этого определяется число атомов химического элемента в массе m :

$$N_{\text{атомов}}^H = 2 \cdot N_{\text{молекул}}^{H_2O},$$
$$N_{\text{атомов}}^O = N_{\text{молекул}}^{H_2O}$$

Естественное содержание трития в воде мизерное и не представляет существенной опасности для человека. За стандарт фонового содержания трития принята т.н. тритиевая единица (1 ТЕ), которая соответствует содержанию трития $3,2 \cdot 10^{-10}$ г · л⁻¹ (0,12 Бк · л⁻¹), или это соответствует 1 ядро трития на 10^{18} ядер протия. Таким образом:

$$N_{\text{атомов}}^3H = \frac{N_{\text{атомов}}^H}{10^{18}}, \text{ ядер.}$$

Определение мощности дозы через эффективную энергию

Под эффективной энергией понимают величину полной энергии, поглощаемой в ткани от всех видов ионизирующего излучения данного радионуклида (рентгеновское, α , β^- , β^+ , γ и ядра отдачи) на один распад, включая относительную биологическую эффективность каждого вида излучения.

Определяем суммарное значение эффективных энергий по всем радионуклидам, создающим наведенную активность в теле человека (задача 1):

$$\sum E_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^n \left(A_i \frac{\text{распад}}{c} \cdot E_{\text{эф}i} \frac{\text{МэВ}}{\text{распад}} \right) \cdot \frac{\text{МэВ}}{c}$$

где A_i – активность i -го химического элемента, распад · с⁻¹; $\sum E_{\text{эф}}$ – суммарная эффективная энергия всех радионуклидов химических элементов

в теле человека, создающих наведенную активность, $\text{МэВ} \cdot \text{с}^{-1}$; $E_{\text{эфи}}$ – эффективная энергия i -го химического элемента, $\text{МэВ} \cdot \text{распад}^{-1}$.

Переводим полученное значение в $\text{Дж} \cdot \text{с}^{-1}$, учитывая, что $1 \text{ Дж} = 6,242 \cdot 10^{18} \text{ эВ}$.

Так как поглощённая доза — величина энергии ионизирующего излучения, переданная веществу. Она выражается как отношение энергии излучения, поглощённой в данном объёме, к массе вещества в этом объёме. В Международной системе единиц (СИ) поглощенная доза измеряется в джоулях, деленных на килограмм ($\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$), и имеет специальное название — грей (Гр), то:

$$\frac{\sum E_{\text{эф}} \frac{\text{МэВ}}{\text{с}}}{m_{\text{тела}}} = P \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{с}} \left(\frac{3\text{в}}{\text{с}} \right)$$

где $m_{\text{тела}}$ – масса тела, кг; $\sum E_{\text{эф}}$ – суммарная эффективная энергия всех радионуклидов химических элементов в теле человека, создающих наведенную активность, $\text{МэВ} \cdot \text{с}^{-1}$.

Для определения дозы, получаемой к 50-летнему возрасту, необходимо:

$$P \left(\frac{3\text{в}}{\text{с}} \right) \cdot (50 \text{ лет} - t) = D, 3\text{в}$$

где P – мощность дозы, $3\text{в} \cdot \text{с}^{-1}$; t – возраст на данный момент.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гордеев, И.В.* и др. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов / И.В. Гордеев, Д. А. Кардашев, А.В. Малышев. – М.: Изд-во государственного комитета Совета министров СССР по использованию атомной энергии, 1960, стр. 225.
2. *Закутинский Д.И.* Справочник по токсикологии радиоактивных изотопов / Д.И. Закутинский, Ю.Д. Парфенов, Л.Н. Селиванова. – М.: Госиздат Мед.лит., 1962. – 116 с.
3. *Козлов В.Ф.* Справочник по радиационной безопасности / В.Ф. Козлов, 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1991 – 352 с.
4. *Гусев Н.Г.* Радиоактивные цепочки. Справочник [Текст] / Н. Г. Гусев, П. П. Дмитриев. - М.: Атомиздат, 1978. - 88 с.
5. *Меднис И.В.* Справочные таблицы для нейтронно-активационного анализа [Текст] / И. В. Меднис. - Рига: Зинатне, 1969. - 206 с.
6. *Гусев, Н.Г.* Радиоактивные изотопы как гамма-излучатели [Текст] / Н.Г. Гусев, В. П. Машкович, Б.В. Вербицкий. - М.: Атомиздат, 1964. - 277 с.
7. Справочник по ядерной физике: пер. с англ. под ред. академика Л.А.Арцимовича - М.: Госиздат физ., 1963. – 632 с.
8. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества [Текст] : справочник / [В. А. Баженов и др.] ; под общ. ред. Л.А. Ильина, В.А. Филова. - Ленинград: Химия: Ленинградское отделение, 1990. - 463 с.
9. Конспект лекций.

Учебное издание

**Пономаренко Павел Афиногенович
Фролова Мария Александровна**

**СБОРНИК ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ
для оценки активности тела человека и его органов,
а также рисков злокачественных заболеваний
в связи с наличием природных радионуклидов в окружающей среде**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Изд. № 14/19. Объем 1,75 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»