

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

Радиационный контроль и радиационная безопасность

Методические указания к лабораторным работам

Составители Л. И. Хорзова, О. А. Быкадорова



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград
ВолгГАСУ
2014

УДК 539.16.08:614.876(076.5)
ББК 22.381.5я73
Р153

- Р 153 **Радиационный** контроль и радиационная безопасность [Электронный ресурс]: методические указания к лабораторным работам / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. Л. И. Хорзова, О. А. Быкадорова. — Электронные текстовые и графические данные (816 Кбайт). — Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-98276-622-9

Рассмотрены методики использования дозиметрического, радиометрического и спектрометрического оборудования для определения радиационных характеристик объектов окружающей среды, строительного комплекса и помещений.

Для студентов специальности 280705 «Пожарная безопасность» профиля обучения «Защита в чрезвычайных ситуациях».

УДК 539.16.08:614.876(076.5)
ББК 22.381.5я73

Нелегальное использование данного продукта запрещено

Лабораторная работа №1

ОСНОВЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Цель работы - изучение основных понятий, закономерностей, единиц измерения, используемых в курсе «Радиационный контроль и радиационная безопасность».

Практические задания

Для выполнения заданий 1 и 3 можно пользоваться периодической таблицей химических элементов Менделеева.

Задание 1. Ядро содержит Z протонов и N нейтронов. Атом, содержащий ядро с указанным числом протонов и нейтронов имеет массу $m_{ат}$.

Определите, какому химическому элементу принадлежит данное ядро, запишите его символ с указанием массового и зарядового чисел.

Ядром называется центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся масса атома и его положительный электрический заряд.

Определите приблизительный радиус ядра химического элемента по формуле:

$$R = R_0 \cdot A^{1/3}, \quad (1.1)$$

где $R_0 = (1,3 \sim 1,7) \cdot 10^{-15}$ м; A – массовое число.

Однако при употреблении этого понятия необходимо соблюдать осторожность (из-за неоднородности, например из-за размытости границы ядра.)

Определите дефект массы ядра в а.е.м.

Массы атомов, ядер, нуклонов и частиц, достаточно малые величины, из соображений удобства вводится новая единица массы международная атомная единица массы (а.е.м.), равная $1/12$ массы атома углерода ${}^6\text{C}^{12}$.

Масса любого атома, выраженная в атомных единицах массы, оказывается близкой к целому числу (к массовому числу A). Массы покоя электрона, протона и нейтрона в атомных единицах массы таковы:

$m_e = 0,0005486$ а.е.м.; $m_p = 1,007277$ а.е.м.; $m_n = 1,008665$ а.е.м.

Итак,

$$\Delta m = Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_n - m_{ат}, \quad (1.2)$$

где m_H – масса атома водорода, $m_H = 1,007825$ а.е.м.; m_n – масса нейтрона, $m_n = 1,008665$ а.е.м.; $m_{ат}$ – масса атома определённого химического элемента.

Дефект массы характеризует уменьшение суммарной массы при образовании ядра.

Найденное значение дефекта массы переведите в килограммы, используя следующее соотношение:

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,66056 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Рассчитайте энергию связи данного химического элемента.

Дефект массы служит мерой энергии связи ядра:

$$E_{cв} = \Delta m \cdot c^2, \quad (1.3)$$

где Δm – дефект массы, выраженный в килограммах; c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Рассчитайте удельную энергию связи, используя формулу:

$$\varepsilon = \frac{E_{cв}}{A}, \quad (1.4)$$

Удельная энергия связи характеризует устойчивость (прочность) атомных ядер, т.е чем больше ε , тем устойчивее ядро.

Задание 2. В радиоактивном веществе с постоянной распада λ и периодом полураспада $T_{1/2}$ за время t распалась доля ядер k от их первоначального количества. Среднее время жизни радиоактивного ядра равно τ .

Найдите неизвестные величины, согласно номеру Вашего варианта в таблице 2.

Самопроизвольный распад атомных ядер подчиняется закону радиоактивного распада:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (1.5)$$

где N_0 – количество ядер в данном объёме вещества в начальный момент времени $t=0$; N – число ядер в том же объёме к моменту времени t ; λ – постоянная распада, имеющая смысл вероятности распада ядра за 1 секунду и равная доле ядер, распадающихся за единицу времени.

Тогда количество распавшихся ядер определяется выражением $N_p = N_0 - N$, а доля распавшихся ядер k соответственно $k = N_p/N_0$. После несложных математических преобразований можно получить связь величин k , λ и t .

Для характеристики радиоактивных элементов вводится понятие периода полураспада $T_{1/2}$. Периодом полураспада называется время, в течение которого распадается половина первоначального количества ядер.

Связь между периодом полураспада $T_{1/2}$ и постоянной радиоактивного распада λ определяется выражением:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}, \quad (1.6)$$

Величина обратная постоянной распада называется средним временем жизни радиоактивного ядра τ :

$$\tau = \frac{1}{\lambda}, \quad (1.7)$$

Задание 3. Ядро радиоактивного элемента, подвергнувшись ряду преобразований, потеряло α -частицы и β -частицы и превратилось в ядро другого элемента. Согласно номеру варианта в таблице 3:

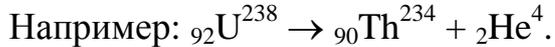
Напишите цепочку α -распадов и найдите образовавшийся элемент, если известен исходный, либо наоборот.

Альфа-распад

В процессах α -распада испускаемой частицей является ядро атома гелия (${}^4_2\text{He}$). Превращение одного элемента в другой происходит по следующей схеме:



Альфа-распады наблюдаются только у тяжелых ядер, у которых зарядовое число Z больше магического числа, равного 82.



Напишите цепочку β -распадов и определите неизвестный изотоп (исходный или образовавшийся).

Бета-распад

Бета-распадами называют такие радиоактивные превращения ядер, в которых протон переходит в нейтрон (или наоборот) и участвуют электроны (или позитроны) и нейтроны (или антинейтроны). К основным видам бета – распада относятся:

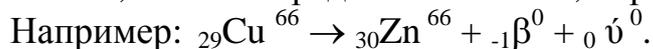
Электронный β^- распад ${}_Z\text{X}^A \rightarrow {}_{Z+1}\text{Y}^A + {}_{-1}\beta^0 + {}_0\nu^0$ образуется ядро с тем же массовым числом, но с увеличенным на единицу атомным номером. Чтобы подчеркнуть сохранение заряда и числа нуклонов, мы приписали β^- частице (электрону) зарядовое число $Z = -1$ и массовое число $A = 0$.

Позитронный β^+ - распад ${}_Z\text{X}^A \rightarrow {}_{Z-1}\text{Y}^A + {}_{+1}\beta^0 + {}_0\nu^0$ новое ядро имеет атомный номер на единицу меньше.

Электронный захват. Электронный захват сопровождается характеристическим рентгеновским излучением.

В зависимости от схемы β -распада возможно испускание нейтрино (ν) или антинейтрино ($\bar{\nu}$). Нейтрино представляет собой нейтральную частицу с ничтожно малой массой. Чтобы отметить её отличие от нейтрона и отсутствие электрического заряда, нейтрино принято обозначать ${}_0\nu^0$. Обозначение антинейтрино $-{}_0\bar{\nu}^0$.

Таким образом, зная схему реакции и используя данные таблицы изотопов, можно определить элемент, образовавшийся после распада.



Контрольные вопросы

1. Из каких частиц состоит атом и ядро?
2. Дайте определение изотопов, изобаров, изотонов, изомеров.
3. Что представляет собой атомная единица массы (а.е.м.)?
4. Что такое дефект массы ядра? Что понимают под энергией связи ядра?
5. Приведите примеры α -превращений атомных ядер.
6. Что такое β -распад? Назовите основные виды β -частиц?
7. Что называют периодом полураспада радиоактивного элемента?
8. Что показывает постоянная радиоактивного распада λ ?
9. Как среднее время жизни τ радиоактивного ядра связано с постоянной распада и периодом полураспада?

Таблица 1 Исходные данные к заданию 1

№ варианта	Число протонов Z	Число нейтронов N	Масса атома $m_{ат}$ (а.е.м.)
1	6	6	12,0000
2	16	20	35,9671
3	18	18	35,9675
4	10	10	19,9924
5	14	14	27,9769
6	18	22	39,9624
7	7	8	15,0001
8	19	21	39,9640
9	20	20	39,9626
10	6	7	13,0034
11	10	11	20,9938
12	18	20	37,9627
13	20	23	42,9588
14	14	15	28,9765
15	8	9	16,9991
16	14	16	29,9738
17	20	26	45,9537
18	7	7	14,0031
19	22	24	45,9526
20	10	12	21,9914
21	23	27	49,9472
22	24	26	49,9461
23	22	28	49,9448
24	8	8	15,9949
25	22	26	47,9479
26	8	10	17,9992
27	20	28	47,9525
28	24	28	51,9405

Таблица 2 Исходные данные к заданию 2

№ варианта	λ	$T_{1/2}$	t	k	τ
1	$0,0546 \text{ с}^{-1}$	- сек	10 сек	- %	- сек
2	- год ⁻¹	- сут	- сут	26,20 %	65,8 сут
3	$0,0565 \text{ с}^{-1}$	- сек	- сек	36,36 %	- сек
4	- год ⁻¹	5,26 лет	4 года	- %	- лет
5	- год ⁻¹	86 лет	- лет	43,12 %	- лет
6	- год ⁻¹	- лет	16 лет	- %	25,4 лет
7	- год ⁻¹	- сут	1 год	64,46 %	- сут
8	$0,3466 \text{ с}^{-1}$	- сек	2,5 сек	- %	- сек
9	- год ⁻¹	- сут	- сут	43,73 %	43,3 сут
10	$0,0433 \text{ с}^{-1}$	- сек	- сек	47,77 %	- сек
11	- год ⁻¹	5730 лет	3000 лет	- %	- лет
12	- год ⁻¹	17,6 лет	- лет	44,62 %	- лет
13	- год ⁻¹	- лет	10^4 лет	- %	34625 лет
14	- год ⁻¹	- сут	100 сут	43,75 %	- сут
15	$0,1318 \text{ с}^{-1}$	- сек	5 сек	- %	- сек
16	- год ⁻¹	- лет	- лет	51,71 %	5,5 лет
17	$8,06 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$	- мксек	- мксек	53,50 %	- мксек
18	- год ⁻¹	30 лет	25 лет	- %	- лет
19	- год ⁻¹	12,7 лет	- лет	58,26 %	- лет
20	- год ⁻¹	- сут	100 сут	- %	105,3 сут
21	- год ⁻¹	- сут	200 сут	38,63 %	- лет
22	$0,2666 \text{ с}^{-1}$	- сек	3 сек	- %	- сек
23	- год ⁻¹	- лет	- лет	51,32 %	8266,6 лет
24	$0,025 \text{ с}^{-1}$	- сек	- сек	52,76 %	- сек
25	- год ⁻¹	16 лет	20 лет	- %	- лет
26	- год ⁻¹	2,6 лет	- лет	60,67 %	- лет
27	- год ⁻¹	- сут	200 сут	- %	238 сут
28	- год ⁻¹	- сут	300 сут	49,66 %	- лет

Таблица 3 Исходные данные к заданию 3

№ варианта	Исходный элемент	Кол-во α -частиц n	Кол-во β -частиц m	Образовавшийся элемент
1	${}_{92}\text{U}^{238}$	1	2	-
2		3	2	-
3		5	2	-
4		6	3	-
5	-	5	4	${}_{82}\text{Pb}^{206}$
6	-	2	4	
7	-	2	3	
8	-	1	2	
9	${}_{90}\text{Th}^{232}$	1	2	-
10		3	2	-
11		5	2	-
12		5	3	-
13	-	6	3	${}_{83}\text{Bi}^{209}$
14	-	4	3	
15	-	3	2	
16	-	1	2	
17	${}_{92}\text{U}^{235}$	2	2	-
18		5	2	-
19		6	3	-
20		7	4	-
21	-	5	3	${}_{82}\text{Pb}^{208}$
22	-	4	2	
23	-	3	2	
24	-	1	2	
25	${}_{93}\text{Np}^{237}$	3	1	-
26		3	2	-
27		6	2	-
28		7	3	-

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ДОЗЫ ВНЕШНЕГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ И ТЕРРИТОРИЙ

Цель работы - ознакомиться и изучить устройство и принцип работы дозиметра РД 1503, освоить методику определения мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в помещениях и на территориях.

Теоретическая часть

Гамма-излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение высокой энергии.

Рентгеновское и γ -излучение, потоки α -частиц, электронов, позитронов, протонов и нейтронов называют ионизирующими, т.к. при прохождении через вещество они производят ионизацию его атомов и молекул.

Количественной мерой воздействия любого вида излучения на объект является доза. Различают экспозиционную X , поглощенную D , эквивалентную H и другие дозы, отражающие особенности влияния излучения на вещество.

Радиационный фон в помещениях вносит основной вклад в дозу облучения населения природными источниками ионизирующего излучения. Основными факторами, влияющими на γ -фон помещений являются: вид материала, используемого для производства строительно-монтажных работ, и концентрация естественных радионуклидов в нём; геометрия зданий (архитектурно-планировочное решение); плотность застройки улиц зданиями из различных материалов, гамма-фон близлежащих территорий и зданий.

Экспозиционная доза определяет ионизирующую способность рентгеновских и гамма-лучей и выражает энергию излучения, преобразованную в кинетическую энергию заряженных частиц в единице массы атмосферного воздуха.

К другим видам ионизирующего излучения и другим облучаемым объектам это понятие не применяется. В воздухе под действием фотонного излучения образуются положительно и отрицательно заряженные ионы.

Экспозиционная доза X -отношение суммарного электрического заряда dQ ионов одного знака к массе dm воздуха в этом объёме:

$$X=dQ/dm, \quad (2.1)$$

Единица измерения X в системе «СИ» - Кл/кг. При экспозиционной дозе 1 Кл/кг в 1 кг воздуха образуется суммарный заряд ионов одного

знака, равный 1 Кл. Внесистемная единица экспозиционной дозы - рентген (Р). Рентген - экспозиционная доза, при которой в 1 кг облучаемого воздуха образуется суммарный заряд ионов одного знака $Q=2,59 \cdot 10^{-4}$ Кл; Кл/кг=3876Р.

Мощность экспозиционной дозы - X' определяют, как отношение приращения экспозиционной дозы dX за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$X'=dX/dt, \quad (2.2)$$

Единица мощности экспозиционной дозы (МЭД) является в системе «СИ» ампер на килограмм А/кг = Кл/(кг·с). Внесистемными единицами МЭД являются - Р/ч, Р/с.

Для характеристики величины энергии излучения используется понятие поглощенной дозы.

Поглощённая доза (D) равна отношению средней энергии ионизирующего излучения (dE), поглощённой элементарным объёмом облучаемого вещества, к массе (dm) вещества в этом объёме:

$$D=dE/dm=dE/\rho dV, \quad (2.3)$$

В системе «СИ» поглощённая доза измеряется в Грехах (Гр.) 1 Гр - поглощённая доза излучения, при которой в 1 кг облучаемого вещества поглощается 1 Дж. 1 Гр = 1 Дж/кг. Внесистемная единица поглощённой дозы - рад; 1 рад=0,01 Гр.

Мощность поглощённой дозы - D' определяют, как отношение приращения поглощённой дозы dD за малый промежуток времени к его длительности dt :

$$D'=dD/dt, \quad (2.4)$$

Единица мощности поглощённой дозы в системе «СИ» - грей в секунду (Гр/с). Внесистемные единицы: рад/с, рад/ч, Гр/сут, мкГр/ч (1 Гр/с = $1 \cdot 10^2$ рад/с).

Поглощённая доза для гамма-излучения связана с экспозиционной дозой соотношением: 1 Гр= $2,58 \cdot 10^{-2}$ Кл/кг.

Поглощённая энергия идёт на нагрев вещества, возбуждение и ионизацию его атомов, другие физические, а также химические и биологические процессы, происходящие в веществе при облучении. В отличие от экспозиционной дозы понятие поглощённой дозы применимо при описании воздействия любых видов ионизирующего излучения на любое вещество.

Эквивалентная доза является количественной мерой опасности ионизирующих излучений для животных организмов. При одной и той же поглощённой дозе неблагоприятные биологические последствия оказываются разными для различных видов излучений. Эквивалентная доза (H) пропорциональна поглощённой дозе (D):

$$H=WR \cdot D, \quad (2.5)$$

где W_R - взвешивающий коэффициент для излучения R.

Единица эквивалентной дозы в системе «СИ» - зиверт (Зв). Внесистемная единица эквивалентной дозы - бэр (биологический эквивалент рентгена),
 $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$.

Мощность эквивалентной дозы - H' определяют, как отношение приращения эквивалентной дозы dH за малый промежуток времени к его длительности dt .

$$H' = dH/dt, \quad (2.6)$$

Единица мощности эквивалентной дозы в системе «СИ» - Зиверт в секунду (Зв/с). Внесистемные единицы, бэр/ч, бэр/с.

Предельно допустимые дозы (ПДД) — наибольшие значения индивидуальной эквивалентной дозы за календарный год, при которой равномерное облучение в течение 50 лет не может вызвать в состоянии здоровья неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами (НРБ-99/2009).

В соответствии с Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в помещении не должна превышать мощность эквивалентной дозы на открытой местности более чем на $0,2 \text{ мкЗв/ч}$.

Технические данные, принцип работы дозиметра РД 1503

Устройство и принцип работы

Дозиметр РД1503 предназначен для обнаружения и оценки уровня радиации на местности и в помещениях, а также для оценки радиоактивного загрязнения материалов и продуктов.

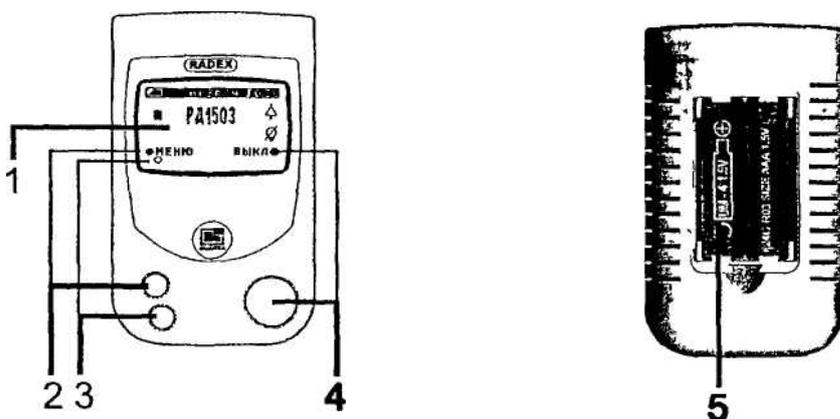


Рис.1 Внешний вид изделия 1- ЖК-дисплей, 2- Кнопка «Меню», имеет функции «Меню», «Выбор», «Измен», 3- Кнопка «Курсор», используется в меню для перемещения курсора, 4- Кнопка «Выкл», имеет четыре функции включение изделия, включение подсветки дисплея, возврат в меню, выключение изделия, 5- Батарейный отсек.



Рис.2 Внешний вид ЖК-Дисплея 1- пиктограмма состояния элемента питания, 2- размерность (мкЗв/ч – микроЗиверт в час; мкР/ч – микрорентген в час), 3- пиктограмма порога звукового сигнала размерности мкЗв/ч (0,30 мкЗв/ч, 0,60 мкЗв/ч ,1,20 мкЗв/ч), размерности мкР/ч (30 мкР/ч, 60 мкР/ч,120 мкР/ч) ТКЛ – при отключенном пороге.,4- пиктограмма настройки звонка,5- пиктограмма настройки подсветки, 6- функция кнопки «Выкл»,7- результат наблюдений (в мкЗв/ч или мкР/ч),8- функция кнопки «Курсор»,9- функция кнопки «Меню», 10- пиктограмма отображает количество выполненных циклов наблюдения,11- индикация зарегистрированной частицы

Диапазон показаний мощности эквивалентной дозы мкЗв/ч
от 0.05 до 9.99

Диапазон показаний мощности экспозиционной дозы мкР/ч
от 5 до 999

Диапазон энергий гамма-излучения МэВ
от 0,1 до 1,25

Корпус изделия не является водонепроницаемым, поэтому изделие нельзя использовать под дождем или помещать его в воду. Если на изделие попала вода необходимо выключить его, протереть мягкой тканью, просушить до полного удаления влаги из внутреннего объема изделия.

Оценка радиационной обстановки начинается после включения изделия.

Прибор подсчитывает количество гамма и бета — частиц с помощью счетчика Гейгера — Мюллера в течение 40 с и индицирует показания в мкЗв/час или мкР/час на жидкокристаллическом дисплее.

Через 10 сек. после включения изделия на дисплее выводится первый результат короткого цикла. Короткий цикл наблюдений равен 10 сек. и предназначен для быстрого получения предварительных результатов. Наиболее достоверный результат выводится на дисплей после первого 40 сек. цикла наблюдения. Второй и третий короткие циклы наблюдения автоматически усредняются.

Первый результат наблюдения выводится на дисплей как среднее значение четырех коротких циклов, второй – как среднее значение двух циклов наблюдения, третий – как среднее значение трех циклов наблюдения и т.д. При усреднении результата изделие анализирует отклонение текущего значения относительно результата предыдущего наблюдения. Если разница превышает определенное значение, то на дисплей выдается текущий результат, а не средний. Это позволяет определить резкое изменение мощности дозы.

Методика выполнения работы

Подготовка дозиметра РД1503 к работе

По умолчанию установлены следующие настройки:

размерность - мкЗв/ч,

порог - 0,30 мкЗв/ч,

звук – тихо,

подсветка – выключена

Включение дозиметра РД 1503 осуществляется нажатием на кнопку «Выкл», после чего на дисплее разворачивается «экран РД 1503», начинается оценка радиационной обстановки.

Порядок работы

Оценка возможного облучения проводится путем измерения мощности дозы.

Измерение в помещениях обследуемого здания проводят в 3-5 точках.

В каждой контрольной точке производится не менее 5 измерений. Значение мощности дозы гамма-излучения в точке вычисляется по формуле:

$$N_i = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n N_{ik}, \quad (2.7)$$

где $k=1,2,\dots,n$ – номер точки; $i=1,2, \dots,5$ – номер измерения; N_{ik} – результат i -го измерения в k -й точке, мкЗв/ч.

Превышение мощности дозы внешнего гамма-излучения в контролируемом помещении над мощностью дозы гамма-фона на открытой местности вычисляют по формуле:

$$N_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 N_{ik} - N_{\phi}, \quad (2.8)$$

где N_{ϕ} – мощность дозы гамма-излучения на открытой местности, мкЗв/ч.

Мощность дозы внешнего излучения, присущей данной местности на открытом воздухе, определяют вблизи контролируемого здания. Для измерения выбирается не менее трех контрольных точек, расположенных на ровном участке местности на расстоянии не менее 30 м от близлежащих зданий. Выбираются участки с естественным покрытием без значительных техногенных воздействий.

В каждой точке проводится не менее 5 измерений на высоте 1 м над поверхностью земли. Значение мощности дозы гамма-излучения в точке вычисляется по формуле:

$$N_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^5 N_{ij}, \quad (2.9)$$

где $j=1,2,\dots,n$ – номер точки; $i=1,2, \dots,5$ – номер измерения; N_{ij} – результат i -го измерения в j -й точке, мкЗв/ч.

Мощность дозы гамма-излучения на открытой местности вычисляется как среднее значение:

$$N_{\phi} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^5 N_j, \quad (2.10)$$

Результаты измерений мощности дозы внешнего излучения в помещении заносят в таблицу 4 по нижеприведенному образцу.

Таблица 4 Результаты измерений

№ точки	Мощность дозы внешнего γ -излучения в помещении, мкЗв/ч					Средняя МД помещения, мкЗв/ч	Средняя МД на открытой местности (N_{ϕ}), мкЗв/ч	Превышение МД, мкЗв/ч	
	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5				N_{cp}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) определения экспозиционной, поглощенной, эквивалентной, эффективной доз; 3) структурную схему и принцип работы дозиметра РД 1503; 4) обработку результатов измерений; 5) вывод о мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения в помещении.

Техника безопасности

1. Перед проведением измерений убедитесь в исправности дозиметров.
2. Проверку работоспособности дозиметров проводить в присутствии преподавателя.
3. Запрещается вскрывать дозиметры и проводить измерения во влажных условиях.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение экспозиционной, поглощенной, эквивалентной доз?
2. Что такое мощность экспозиционной, поглощенной, эквивалентной, доз?
3. Единицы измерений экспозиционной, поглощенной, эквивалентной доз?
4. Расскажите об устройстве и принципе работы дозиметра РД 1503?
5. От чего зависит гамма-излучение помещений и территорий?
6. Объясните методику измерений мощности эквивалентной дозы в помещений и на территории?
7. Каким образом нормируется мощность дозы внешнего гамма-излучения в помещениях?
8. Каким образом влияет радиационный фон на человека?

Лабораторная работа № 3

ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ДОЗЫ, ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОЙ И ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗ РАДИОАКТИВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ.

Цель работы - изучение методики измерения мощности экспозиционной дозы при помощи дозиметра РД1503. Оценка эффективной и поглощенной доз радиоактивного облучения.

Теоретическая часть

Загрязнение радиоактивное – присутствие радиоактивных веществ на поверхности, внутри материала, в воздухе, в теле человека или в другом месте, в количестве, превышающем уровни, установленные НРБ.

Доза эффективная – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты. Допустимое значение эффективной дозы не устанавливаются. Снижение облучения населения достигается путем установления системы ограничений на облучение населения от отдельных природных источников.

Доза эффективная (эквивалентная) годовая - сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением в организм радионуклидов за этот же год. Единица годовой эффективной дозы - зиверт (Зв).

Доза эффективная коллективная - мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Единица эффективной коллективной дозы - человеко-зиверт (чел.-Зв).

Таблица 5 Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Описание экспериментальной установки

Дозиметр РД1503 предназначен для обнаружения и оценки уровня радиации на местности и в помещениях, а также для оценки радиоактивного загрязнения материалов и продуктов. Устройство и принцип работы см. лабораторную работу №2.

Подготовка прибора, к работе

Оценка радиационной обстановки начинается после включения изделия.

Прибор подсчитывает количество гамма и бета — частиц с помощью счетчика Гейгера — Мюллера в течение 40 с и индицирует показания в мкР/час на жидкокристаллическом дисплее.

Перед началом проведения измерения необходимо настроить дозиметр. Для входа в меню и изменения настроек нажмите кнопку «Меню». Появляется содержание меню, устанавливаем следующие настройки:

- Размерность – мкР/ч,
- Порог – 0,30мкР/ч,
- Звук – тихо,
- Подсветка – выключена.

Методика проведения измерений

Измерение в помещениях обследуемого здания проводят в 3-5 точках (метод конверта).

При помощи дозиметра 5–10 раз измерьте мощность экспозиционной дозы гамма излучения X_i ,

Определите среднее значение мощности экспозиционной дозы $X_{ЭК}$ по формуле:

$$X_{ЭК} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (3.1)$$

где n – число измерений.

Рассчитайте экспозиционную дозу X за календарный год, используя формулу:

$$X = X_{ЭК} \cdot dt, \quad (3.2)$$

При этом время dt (год) необходимо перевести в часы. Полученное значение X напишите во внесистемных единицах измерения экспозиционной дозы (микрорентгенах).

Рассчитайте поглощенную дозу D внешнего облучения для усредненной ткани человека за календарный год, используя следующие соотношения:

$$1 \text{ мкР} = 96,5 \cdot 10^{-10} \text{ Гр.}$$

Рассчитайте эквивалентную дозу H внешнего облучения в Зивертах для усредненной ткани человека за календарный год, используя формулу:

$$H = D \cdot w_R, \quad (3.3)$$

где D – поглощенная доза внешнего облучения; w_R – взвешивающий коэффициент соответствующего излучения или частицы, для которых определена поглощённая доза.

Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы (W_R) - используемые в радиационной защите множители поглощенной дозы, учитывающие относительную эффективность различных видов излучения в индуцировании биологических эффектов.

Таблица 6 Взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения

1	Фотоны любых энергий	1
2	Электроны и мюоны любых энергий	1
3	Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
4	от 10 кэВ до 100 кэВ	10
5	от 100 кэВ до 2 МэВ	20
6	от 2 МэВ до 20 МэВ	10
7	более 20 МэВ	5
8	Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
9	Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Определите эффективную дозу E внешнего облучения, в соответствии с вариантами, указанными в таблице.

Эффективная доза определяется по формуле:

$$E = H \cdot W_T, \quad (3.4)$$

где H – эквивалентная доза внешнего облучения, полученная организмом в целом за календарный год; W_T – тканевые весовые множители.

Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов при расчете эффективной дозы (W_T) - множители эквивалентной дозы в органах и тканях, используемые в радиационной защите для учета различной чувствительности разных органов и тканей в возникновении стохастических эффектов радиации:

Таблица 7 Взвешивающие коэффициенты для тканей и органов

1	Гонады	0,20
2	Костный мозг (красный)	0,12
3	Толстый кишечник	0,12
4	Легкие	0,12
5	Желудок	0,12
6	Мочевой пузырь	0,05

7	Грудная железа	0,05
8	Печень	0,05
9	Пищевод	0,05
10	Щитовидная железа	0,05
11	Кожа	0,01
12	Клетки костных поверхностей	0,01
13	Остальное	0,05*

Оцените эквивалентную дозу внутреннего облучения, полученную за счёт Cs-137.

Для расчётов используем формулу, приведённую ниже, где $H^{внутр}$ будет определена в мЗв при подстановке значения мощности экспозиционной дозы $X_{ЭК}$ в мкР/ч.

$$H^{внутр} = A_0 + A_1 \cdot X_{ЭК} + A_2 \cdot X_{ЭК}^2, \quad (3.5)$$

где $X_{ЭК}$ – среднее значение мощности экспозиционной дозы в мкР/ч; A_0 , A_1 и A_2 – коэффициенты, равные: $A_0 = 5,46 \cdot 10^{-2}$ мЗв; $A_1 = 4,41 \cdot 10^{-2}$ мЗв·ч/мкР; $A_2 = 3,15 \cdot 10^{-7}$ мЗв·ч²/мкР². Постоянные A_0 , A_1 и A_2 определяются исходя из среднеевропейских коэффициентов перехода радионуклидов Cs-137 в цепочке почва → растения → животные и средних норм питания в год (молоко – 332 кг, хлеб и крупы – 133 кг, овощи – 37 кг, корнеплоды и фрукты – 118 кг, мясо – 63 кг).

Вследствие малости последнего слагаемого в выражении (3.5) по порядку величины им можно пренебречь.

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) определения экспозиционной, поглощенной, эквивалентной, эффективной доз; 3) обработку результатов измерений; 5) вывод о мощности экспозиционной, поглощенной и эффективной доз.

Техника безопасности

1. Перед проведением измерений убедитесь в исправности дозиметров.
2. Проверку работоспособности дозиметров проводить в присутствии преподавателя.
3. Запрещается вскрывать дозиметры и проводить измерения во влажных условиях.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение и укажите единицы измерения следующих величин:
 - а) экспозиционная доза;
 - б) поглощённая доза;
 - в) эквивалентная доза;
 - г) эффективная доза;
 - д) мощности доз.
2. Какие виды доз можно измерить приборами, какие могут быть только рассчитаны?
3. Что определяют взвешивающие коэффициенты w_R ионизирующих излучений?
4. Для чего вводятся тканевые весовые множители W_T ?
5. Какие нормы радиационной безопасности Вы знаете? Определите понятие предела дозы.

6. Что такое внешнее и внутреннее облучение? Доля какого облучения больше в суммарной эквивалентной дозе, получаемой человеком за год?

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТЕЙ ПОТОКОВ РАДОНА С ЭМАНИРУЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Цель работы - изучение методики пробоотбора, проведение анализов измерений протоков радона с эманлирующих поверхностей.

Теоретическая часть

Наибольший вклад в дозу облучения населения из всех естественных источников ионизирующего излучения вносит радон-222 (^{222}Rn) и его дочерние продукты распада (ДПР). Радиоактивный газ ^{222}Rn образуется при α -распаде радия-226, входящего в семейство урана-238. Благодаря значительному периоду полураспада ($T_{1/2} = 3,82$ сут), ^{222}Rn может распространяться по порам и трещинам почв, земных пород, строительных конструкций. Он может эманлировать в воздух помещений и в атмосферу. Концентрация радона и его ДПР в воздухе помещений определяется эксхалацией (радоновыделением) из стен и перекрытий, а также эманлированием из подстилающего грунта под зданием. При распаде ^{222}Rn образуются его короткоживущие дочерние продукты ^{218}Po , ^{214}Pb и ^{214}Bi .

Средняя концентрация радона в почвенном воздухе в 1000 раз выше, чем в воздухе на уровне земли. Поэтому переход значительного количества радона из грунта под зданием в воздух помещений может привести к высокой концентрации его внутри помещений.

Возможными механизмами переноса почвенного радона являются молекулярная диффузия и образование конвекционного потока. Наиболее важным является последний процесс, обусловленный различием парциального давления в почве и воздухе помещения. Это различие возникает из-за эффекта скопления тепла, вызванного разностью температур вне и внутри помещения.

Результирующая скорость поступления радона из почвы зависит от проницаемости грунта и от структуры фундамента здания, с учетом имеющихся в нем трещин и отверстий. Поэтому она может меняться в каждом отдельном здании.

При выборе участков территорий под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения предпочтительны участки с плотностью потоков радона с поверхности грунта не более $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2\text{с})$. При отводе для строительства зданий участков с плотностью потоков радона более $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2\text{с})$ в проекте здания должна быть предусмотрена система защиты от радона. Необходимость радонозащитных мероприятий при плотности потоков радона с поверхности грунта менее $80 \text{ мБк}/(\text{м}^2\text{с})$

определяется в каждом отдельном случае. Строительство дошкольных, общеобразовательных и лечебных учреждений рекомендуется производить на участках, где плотность потоков радона не превышает 40 мБк/(м²с). Для строительства зданий производственного назначения следует выбирать участки территории, где плотность потоков радона с поверхности грунта не превышает 250 мБк/(м²с). При более высоких значениях в проекте здания должна быть представлена система защиты от радона.

Данная методика позволяет определить, средние потоки радона с эманлирующих поверхностей в диапазоне от 2 мБк/(м²с) до 100 мБк/(м²с). Допускается использование от 1 до 5 накопительных камер. При этом наиболее высокая точность измерений достигается при использовании 5 накопительных камер методом «конверта».

Измерения потоков радона с эманлирующих поверхностей следует проводить при температуре воздуха от +5 до +30 °С и влажности не более 95 %.

Лабораторные приборы адсорберы СК-13, активированный уголь СКТ-3С, накопительные камеры НК-32, измерительный контейнер ИК-63, сушильный шкаф или электроплита, гамма-спектрометр.

Методика выполнения работы

Проводится подготовительная работа: активированный уголь регенерируется в сушильном шкафу или электроплите при температуре нагрева 160-180 °С в течение 1 ч. При этом толщина слоя угля не должна превышать 5 мм. По окончании десорбции уголь пересыпается в герметично закрывающуюся термостойкую емкость (объемом до 1 л) для остывания и хранения. После остывания уголь пересыпается в адсорберы (высота слоя угля в адсорбере составляет 4,5±0,2 см), которые плотно закрываются крышками.

Измерения плотностей потоков радона проводят в контрольных точках методом «конверта» в зависимости от категории потенциальной радоноопасности участка.

Исследуемый участок поверхности очищается от предметов, препятствующих установке накопительных камер.

На каждую накопительную камеру требуется по два адсорбера с активированным углем. Из одного адсорбера «основного» активированный уголь пересыпают в накопительную камеру, так чтобы он был равномерно распределен по всей поверхности сетки, а другой адсорбер «защитный» с предохранительной крышкой устанавливается сверху накопительной камеры. «Защитный» адсорбер предназначен для предотвращения попадания радона, содержащегося в атмосферном воздухе в накопительную камеру.

Накопительные камеры вдавливают до упора в исследуемую поверхность (в случаях твердых поверхностей нижний край необходимо загерметизировать с исследуемой поверхностью).

Время экспонирования составляет от 2 до 10 ч. По окончании экспонирования от накопительной камеры отсоединяют «защитный» адсорбер, а на его место устанавливают «основной» адсорбер. Снимают камеру с исследуемой поверхности и пересыпают уголь обратно в адсорбер, который затем плотно закрывают крышками.

Интервал времени между окончанием пробоотбора и началом измерений составляет от 3 до 24 ч. По истечении этого времени из «основного» адсорбера активированный уголь пересыпается в измерительный контейнер. После этого проводятся измерения средних за время экспонирования потоков радона с исследуемой поверхности на гамма-спектрометре осуществляется по гамма-излучению его дочернего продукта распада ^{214}Bi .

Величина средних за время экспонирования потоков радона q , с исследуемой поверхности определяется по формуле:

$$q = \frac{A \exp(\lambda t)}{kn \{1 - \exp(-\lambda t_{\text{экс}})\}}, \quad (4.1)$$

где A - активность сорбента ^{214}Bi , Бк; t - интервал между временем окончания экспонирования и началом измерений, ч; λ - постоянная распада радона, ($\lambda = 0,00755$ 1/ч), $t_{\text{экс}}$ - продолжительность экспонирования накопительной камеры (определяется с точностью до минуты), ч; n - число накопительных камер; k - поправочный множитель, для накопительной камеры НК-32, м²-с определяемый по соотношению:

$$k = 1.38 - 0.025t_{\text{экс}} + 0,141 \exp(-0,774t_{\text{экс}})$$

Таблица 8 Результаты измерений оформляются в виде таблицы по приведенной ниже форме.

Место отбора	№ «основных» адсорберов	Дата и время			Активность сорбента ^{214}Bi , Бк	Значение среднего потока радона с эманлирующих поверхностей.
		Начала экспони-	Окончания экспониро-	Начала измере-		
1	2	3	4	5	6	7

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) допустимые уровни плотностей потоков радона на участках, предназначенных под застройку; 3) обработку результатов испытаний; 4) вывод о плотности потоков радона с эманлирующих поверхностей.

Техника безопасности

1. Соблюдать температурный режим при регенерации активирующего угля.

2. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
3. Запрещается открывать крышку спектрометра во время проведения измерений.
4. Запрещается отключать питание компьютера при работающем спектрометре.

Контрольные вопросы

1. От чего зависит поступление радона из подстилающих пород в воздух помещений?
2. На каких участках рекомендуется проводить строительство жилых, социально-бытовых и производственных зданий?
3. Каким образом и с какой целью проводится подготовительная работа?
4. Назовите основные этапы определения плотностей потоков радона с эманлирующих поверхностей?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ВОЗДУХЕ ПОМЕЩЕНИЙ

Цель работы - изучение методик пробоотбора и измерений объемной активности радона в воздухе помещений.

Теоретическая часть

Радон и дочерние продукты его распада (ДПР) являются одними из основных источников уровней облучения населения. Для оценки опасности «загрязнения» помещений радоном-222 и его ДПР введено понятие эквивалентной равновесной объемной активности радона и равновесия с ДПР, которые имели бы такую же потенциальную альфа-энергию на единицу объема, как и существующая смесь:

$$A_{Rn}^{экв} = F_{Rn} A_{Rn} = 0.104A_{RaA} + 0.514A_{RaB} + 0.38A_{RaC}, \quad (5.1)$$

где A_{Rn} , A_{RaA} , A_{RaB} , A_{RaC} - объемные активности радона и его ДПР, Бк/м³; $A_{Rn} = 0,5$.

ЭРОА радона выражается в единицах Бк/м³ в системе СИ, а также в единицах «скрытой энергии» - Дж/л. Эта величина представляет собой сумму объемных активностей короткоживущих ДПР, причем каждая берется с коэффициентом, пропорциональным суммарной энергии продукта. Для радона $A_{Ra}^{экв} = 1$ Бк/м соответствует уровню скрытой энергии, равной 5,34 пДж/л.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) устанавливают ограничения на содержание радона и ДПР в воздухе помещений. При проектировании новых зданий жилищного и общественного назначения должно быть предусмотрено, чтобы среднегодовая ЭРОА радона и ДПР в воздухе помещений не превышала 100 Бк/м³. В эксплуатируемых зданиях среднегодовая ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений не должна превышать 200 Бк/м³. При больших значениях объемной активности радона должны проводиться защитные мероприятия, направленные на снижение поступления радона в воздух помещений и улучшение вентиляции помещений.

Для измерения ЭРОА радона в воздухе помещений применяют метод сорбции радона активированным углем с последующим исследованием его активности на установке «Гамма Плюс Р». При использовании данного метода существует пассивный и активный пробоотбор воздуха.

Данный метод позволяет определить ЭРОА радона в воздухе помещений в диапазоне от 7,5 до 50000 Бк/м³. Допускается использование от 1 до 5 адсорберов, при использовании пассивного пробоотбора и от 1 до 3 адсорберов, при использовании активного пробоотбора.

Измерения ЭРОА радона в воздухе помещений рекомендуется проводить при температуре воздуха $+22\pm 4^\circ\text{C}$ и влажности воздуха не более 85 %.

Лабораторные приборы: адсорберы СК-13, активированный уголь СКТ-3С, измерительный контейнер ИК-63, сушильный шкаф или электроплита, гамма-спектрометр, весы лабораторные (не ниже третьего класса точности), пробоотборное устройство АЭН-3.

Методика выполнения работы

Предварительно проводится подготовительная работа по регенерации активированного угля (см. лабораторную работу № 4).

Определение ЭРОА радона в воздухе помещений пассивным пробоотбором.

На лабораторных весах определяют начальную массу (m_n , г), закрытых адсорберов с регенерированным углем.

В обследуемом помещении необходимое число адсорберов (от 1 до 5) без верхних крышек размещают в вертикальном положении на высоте 1 -2 м от пола, вдали от источников тепла, влаги, сквозняков (*наибольшая точность измерений достигается при использовании 5 адсорберов методом «конверта»*). Время экспонирования составляет от 2 до 7 суток.

По окончании экспонирования адсорберы плотно закрывают крышками. На лабораторных весах определяют конечную массу (m_p , г), закрытого адсорбера. Рассчитывают привес (M , г), за время экспонирования по формуле:

$$M = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} (m_{kj} - m_{nj})}{n}, \quad (5.2)$$

где m_{kj} - масса j -го адсорбера после экспонирования; m_{nj} - масса j -го адсорбера перед экспонированием; n - число адсорберов (от 1 до 5).

Из исследуемых адсорберов активированный уголь пересыпают в измерительный контейнер и на гамма-спектрометре проводят измерения средней объемной активности радона в воздухе помещений. Измерения на гамма-спектрометре можно проводить сразу после окончания экспонирования. Временной интервал между окончанием экспонирования и началом измерений не должен превышать 24 ч. Измерения активности радона на гамма-спектрометре осуществляется по гамма-излучению его дочернего продукта распада ^{214}Bi .

Средняя за время экспонирования объемная активность радона в исследуемом помещении определяется по формуле:

$$C = \frac{10^3 A \exp(\lambda t)}{n \exp\{1.58 + 0.0307 \ln(t_{\text{экв}}) - 0,923\sqrt{M} - 2,04\sqrt{M} \exp(-0.0438 t_{\text{экв}})\}}, \quad (5.3)$$

где A - активность сорбента ^{214}Bi , Бк; λ - постоянная распада радона, ($\lambda=0,00755$ 1/ч); t - интервал между временем окончания экспонирования и начала измерений на гамма-спектрометре, ч; $t_{\text{экв}}$ — продолжительность экспонирования адсорбера, ч; M - привес к массе адсорбера за время экспонирования, г; n - число адсорберов, одновременно экспонировавшихся в одном помещении.

Для расчета ЭРОА радона значение объемной активности радона умножается на 0,5.

Таблица 9 Результаты измерений оформляются в виде таблицы по нижеприведенной форме:

Адрес помещения	№ сорбентов	Дата и время			m_n г	m_k г	M, г	A, Бк	Объемная активность радона, Бк/м ³	ЭРОА радона, Бк/м ³
		Начала экспонирования	Окончания экспонирования	Начала измерений						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Определение ЭРОА радона в воздухе помещений активным пробоотбором.

Необходимое число адсорберов (от 1 до 3) собираются в сорбционную колонку, последовательно соединив адсорберы между собой переходными трубками. Сорбционную колонку соединяют с пробоотборным устройством и ротаметром, для контроля скорости прокачки воздуха. Пробоотборное устройство включают в сеть. Время экспонирования составляет: 2,5 мин - при использовании 1 адсорбера; 15 мин - при использовании 2 адсорберов; 25 мин - при использовании 3 адсорберов.

В течение отбора контролируют расход воздуха по ротаметру. Поплавок ротаметра должен находиться в пределах отметок на шкале индикатора. При несоответствии показателей ручкой регулятора производительности пробоотборного устройства поплавки устанавливают в нужное положение.

По истечении времени отбора выключают пробоотборное устройство, разбирают сорбционную колонку и плотно закрывают адсорберы крышками.

Интервал времени между окончанием пробоотбора и началом измерений составляет от 3 до 24 ч. По истечении этого времени из адсорберов активированный уголь пересыпается в измерительный контейнер. После этого происходит определение объемной активности радона на гамма-спектрометре по гамма-излучению его дочернего продукта распада ^{214}Bi .

Объемная активность радона в исследуемом воздухе определяется по формуле:

$$C = \frac{A \exp(\lambda t)}{vt_{отб}}, \quad (5.4)$$

где A - активность сорбента ^{214}Bi , Бк; λ - постоянная распада радона, ($\lambda=0,00755$ 1/ч); t - интервал между временем экспонирования и временем начала измерений на гамма-спектрометре, ч.; $t_{отб}$ - продолжительность отбора пробы воздуха, мин; v -эффективная скорость адсорбции радона, м³/мин ($v=1,75 \cdot 10^{-3}$ м³/мин).

Для расчета ЭРОА радона значение объемной активности радона умножается на 0,5.

Таблица 10 Результаты измерений оформляются в виде таблицы по нижеследующей форме:

Адрес помещения	№ сорбентов	Дата и время		Продолжительность отбора, мин	А, Бк	Объемная активность радона, Бк/м ³	ЭРОА радона, Бк/м ³
		Окончания	Начало измерений				
1	2	3	4	5	6	7	8

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) допустимые уровни ЭРОА радона в воздухе помещений; 3) обработку результатов испытаний; 4) вывод о концентрации радона в воздухе помещений.

Техника безопасности

1. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
2. Соблюдать скорость прокачки воздуха при активном пробоотборе.
3. Запрещается открывать крышку спектрометра во время проведения измерений.
4. Запрещается отключать питание компьютера при работающем спектрометре.

Контрольные вопросы

1. Основные источники поступления радона в помещения?
2. Что такое ЭРОА радона? Какова формула определения ЭРОА радона?
3. Основные этапы и отличия пассивного и активного пробоотбора при определении ЭРОА радона?
4. Каковы допустимые уровни концентрации радона в воздухе помещений?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА И РАДИЯ В ВОДЕ

Цель работы - изучение методики пробоотбора и измерений содержания радона в воде.

Теоретическая часть

На каждый источник централизованного питьевого водоснабжения населения необходимо проводить исследования на соответствие требованиям радиационной безопасности. При содержании природных и искусственных радионуклидов в питьевой воде, создающих эффективную дозу меньше 0,1 мЗв/год, не требуется проведение мероприятий по снижению ее радиоактивности. При совместном присутствии в воде нескольких радионуклидов должно выполняться условие:

$$\sum(A_i / UB_i) \leq 1$$

где A_i - удельная активность какого-либо радионуклида в воде; UB_i - соответствующий уровень вмешательства.

Уровень вмешательства (УВ) - уровень радиационного фактора, при превышении которого следует проводить определенные защитные мероприятия.

Предварительная оценка допустимости использования воды для питьевых целей может быть дана по удельной суммарной альфа- и бета-активности, которая не должна превышать 0,2 и 1,0 Бк/кг. Уровень вмешательства для Рп в питьевой воде составляет 60 Бк/кг. Критическим путем облучения людей за счет радона, содержащегося в питьевой воде, является переход радона в воздух помещений и последующее ингаляционное поступление его ДПР в организм человека. При содержании радионуклидов в воде действующих источников водоснабжения выше уровней вмешательства и невозможности добиться необходимого снижения следует принимать меры по изысканию альтернативных источников.

Для измерения содержания радона и радия в воде применяют метод сорбции радона активированным углем с последующим исследованием его активности на спектрометрической установке «Гамма Плюс Р».

Данный метод позволяет определять содержание радона в воде в диапазоне от 0,5 до 10000 Бк/л.

Лабораторные приборы: адсорберы СК-13, активированный уголь СКТ-ЗС, пробоотборное устройство для прокачки воздуха АЭН-3, емкость с водой (1,5 л), гамма-спектрометр.

Методика выполнения работы

Отбор проб воды производится в специальный сосуд (барботер), объемом 1,5л. При отборе сосуд должен быть закрыт пробкой для отбора с двумя наружными трубками. Вода должна поступать в сосуд, не образуя пузырьков воздуха через трубку, которая расположена в торцевой части пробки. При отборе пробы сосуд следует заполнять водой так, чтобы в его объеме не оставалось воздуха.

Для проведения измерений необходимо подготовить два адсорбера: «защитный» и «основной» с регенерированным активированным углем. «Основной» адсорбер используется для адсорбции радона, который вытесняется из пробы в результате барботажа, и в дальнейшем подлежит измерению. «Защитный» препятствует попаданию радона в систему для барботажа из окружающего воздуха.

С целью установки требуемого расхода воздуха производится настройка пробоотборного устройства. Расход воздуха контролируется по ротаметру. Поплавок ротаметра должен находиться в пределах отметок на шкале индикатора. При несоответствии показателей ручкой регулятора производительности пробоотборного устройства поплавки устанавливают в нужное положение.

С помощью соединительных трубок соединяют установку для барботажа «основной» адсорбер устанавливается сверху емкости с водой и соединяется с пробкой для барботажа. «Защитный» адсорбер устанавливается сверху пробоотборного устройства и присоединяется к пробке для барботажа через соединительную трубку. Распылитель располагается на самом дне сосуда с водой.

Включают микрокомпрессор и проводят барботажа в течение 10 мин. По окончании барботажа «основной» адсорбер отсоединяют и плотно закрывают крышками.

Не ранее чем через 3 ч после окончания барботажа (но не позднее чем через 24 ч после отбора пробы воды из источника водоснабжения) из «основного» адсорбера активированный уголь пересыпается в измерительный контейнер. После этого происходит определение объемной активности радона на гамма-спектрометре по гамма-излучению его дочернего продукта распада ^{214}Bi .

Содержание радона в отобранной пробе воды Q_{Rn} , Бк/л определяется по формуле:

$$Q_{Rn} = \frac{A \exp(\lambda t)}{1.5k}, \quad (6.1)$$

где A - активность сорбента ^{214}Bi , Бк; λ - постоянная распада радона, ($\lambda=0,00755$ 1/ч); t - интервал между временем отбора пробы и временем начала измерений на гамма-спектрометре, ч; k - эффективность деэманирования радона ($k = 0,85$).

Содержание радия в воде определяется аналогичным образом, но при этом: производить деэманирование радона из воды следует не ранее чем

через 3 недели после отбора пробы из источников водоснабжения (время, когда устанавливается радиоактивное равновесие в пробе между радоном и радием); интервал между временем окончания барботажа и временем начала измерений на гамма-спектрометре составляет от 3 до 12 ч.

Таблица 11 Результаты измерений оформляются в виде таблицы по нижеследующей форме:

№ адсорбера	Дата и время			Время хранения воды, ч	Активность сорбента ^{214}Bi , Бк	Содержание радона (радия) в воде, Бк/л	Место отбора пробы воды
	Окончание отбора	Окончание барботажа	Начало измерений				
1	2	3	4	5	6	7	8

Техника безопасности

1. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
2. Соблюдать скорость прокачки воздуха при барботаже.
3. Запрещается проводить измерения с активированным углем, если в него попала вода.
4. Запрещается открывать крышку спектрометра во время проведения измерений.
5. Запрещается открывать питание компьютера при работающем спектрометре.

Контрольные вопросы

1. Назовите допустимые уровни радиоактивности питьевой воды?
2. Каковы правила отбора пробы воды?
3. Назовите этапы определения содержания радона в воде?
4. Каковы отличия определения содержания радона и радия в воде?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы - освоить методику определения содержания естественных радионуклидов в строительных материалах.

Теоретическая часть

Ионизирующее излучение естественных радионуклидов (ЕНР), присутствующих практически во всех объектах окружающей среды, создает радиационный фон. Наиболее существенное значение имеют ЕНР уранового, ториевого ряда (материнские радионуклиды уран-238 и торий-232) и калий-40.

Облучение человека в здании зависит от удельной активности ЕНР в строительных материалах.

Удельная активность — активность, приходящаяся на единицу массы (массовая активность A_m), Бк/кг:

$$A_m = A/m, \quad (7.1)$$

Согласно действующим в России нормативам, удельная эффективная активность ЕРН в строительных материалах рассчитывается по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_k, \quad (7.2)$$

где 1,3 и 0,09 - взвешивающие коэффициенты для тория-232 и калия-40, соответственно по отношению к радио-226.

Удельная эффективная активность ЕРН в строительных материалах, добываемых на месторождениях или являющихся побочным продуктом промышленности, а также отходов промышленного производства, используемых для изготовления строительных материалов не должна превышать, Бк/кг: для материалов, используемых в жилых и общественных зданиях (1 класс):

$$A_{эфф} \leq 370,$$

для материалов, используемых в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (2 класс):

$$A_{эфф} \leq 740,$$

для материалов, используемых в дорожном строительстве вне населенных пунктов (3 класс):

$$A_{эфф} \leq 1500.$$

При $1500 \text{ Бк/кг} < A_{\text{эфф}} < 4000 \text{ Бк/кг}$ (4 класс) вопрос об использовании материалов решается в каждом конкретном случае по согласованию с Федеральным органом Госсанэпиднадзором. Строительные материалы с $A_{\text{эфф}} > 4000$ не должны применяться в строительстве.

Лабораторные приборы гамма-спектрометр, калибровочный источник ^{40}K ^{137}Cs ; сосуд Маринелли, лабораторные весы, дробилка, сито с отверстиями диаметром 5 мм.

Принцип работы гамма-спектрометра

Использование гамма-спектрометрического метода для определения радиоактивности строительных материалов обусловлено малой трудоёмкостью, высокой чувствительностью и точность. Энергия гамма-кванта, попавшего на кристалл детектора (размерами 63х63 мм) идет на возбуждение атомов кристалла, которое снимается путем испускания атомами квантов света определенной длины волн. Сцинтиллятор - вещество, в котором ионизирующая частица вызывает появление вспышек света. Её интенсивность пропорциональна энергии, потерянной частицей на сцинтилляторе. Для регистрации и определения интенсивности вспышки используют фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Световые кванты выбивают из фотокатода электроны, количество которых умножается на ФЭУ. В результате на аноде ФЭУ возникает импульс напряжения, амплитуда которого пропорциональна энергии, потерянной гамма-квантом в кристалле.

Импульсы напряжения после предусилителя поступают на многоканальный анализатор импульсов (АИ), где происходит его обработка: преобразование амплитуды в цифровой код и запись его в память АИ. Накопленный в течение определенного времени спектр может быть выведен на внешние устройства хранения и отображения информации, такие как центральный пульт управления (компьютер).



Рис.3 Блок-схема сцинтилляционного гамма-спектрометра

При использовании сплошных кристаллов измеряемая проба помещается в контейнер, охватывающий кристалл (геометрия Маринелли). Сосуд Маринелли обеспечивает высокую чувствительность детектора при заданной массе пробы.

Методика выполнения работы

Пробоотбор является начальным этапом анализа. Отбор проб в карьере производится в пяти точках (методом конверта). Пробы должны быть представительными по отношению к обследуемой партии строительных материалов. Представительную пробу получают путем перемешивания и квантования не менее 10 точечных проб, отобранных из контрольных точек. Представительная проба, при необходимости, измельчается до размеров зерен менее 5 мм. Каждую пробу (всего 5 проб) массой 1,5 кг упаковывают в двойной полиэтиленовый пакет, между стенками которого помещают паспорт проб с наименованием материала, адреса предприятия, направившего пробу, места и даты отбора проб. Полученные пробы высушивают до постоянной массы, затем заполняют пять сосудов Маринелли и взвешивают. Насыпную массу определяют путем вычитания массы сосуда от массы сосуда от массы сосуда с навеской.

Определение удельных активностей ЕРН. Для выполнения измерений применяют программную оболочку ПРОГРЕСС 3.00.

Перед началом каждого измерения производится градуировка гамма-спектрометра. Для этого на детектор устанавливается калибровочный источник. При помощи программы производится изменение градуировочного спектра в течение 2,5 мин. Определяется пик ^{40}K и ^{137}Cs и рассматриваются границы измерительных каналов (в соответствии с программой). По окончании градуировки производится определение контрольного значения гамма-фона помещения, где проводятся измерения (не реже 1 раза в сутки). После чего на детектор устанавливается сосуд Маринелли с измеряемой пробой.

Программа по команде оператора осуществляет очистку анализатора импульсов и запускает набор спектра. Набор спектра осуществляется в течение 30 минут. По окончании набора спектра оператор вводит параметры пробы (масса, геометрия измерения и др.) в программу.

Результаты измерений удельных активностей Ra, Th, K и оценочные значения погрешностей будут выведены на экран в таблицу результатов.

По команде оператора осуществляется печать результатов и информации о пробе в виде протокола (сертификата).

В дальнейшем проводят измерения оставшихся четырех проб исследуемого образца, предварительно осуществляя градуировку спектрометра.

Обработка результатов и оценка погрешности измерений. В качестве результатов измерений удельных активностей ЕРН в представительной

пробе принимают средние арифметические значения удельных активностей каждого радионуклида.

Абсолютную погрешность определения величины A_j вычисляют по формуле:

$$\Delta_j = 1.7 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n A_{ij}^2 - nA_j^2}{n-1}} + a_j, \quad (7.3)$$

где a_j - абсолютная погрешность определения удельной активности j -го радионуклида в навесках пробы, оцениваемая в соответствии с методикой выполнения измерений на радиометрической установке.

Значение удельной эффективной активности ЕРН ($A_{эфф}$) для представительной пробы вычисляются с использованием средних значений A_j для каждого радионуклида по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_k, \quad (7.4)$$

За абсолютную погрешность определения $A_{эфф}$ в контролируемом материале принимают значение, определяемое по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{Ra}^2 + 1,7\Delta_{Th}^2 + 0,007\Delta_k^2}, \quad (7.5)$$

За результат определения удельной эффективной активности ЕРН в контролируемом материале с целью установления его класса принимают значение, определяемое по формуле:

$$A_{эфф.м} = A_{эфф} + \Delta, \quad (7.6)$$

Результаты измерений удельной эффективной активности ЕРН в контролируемом материале оформляют в виде протокола по нижеприведенному образцу.

Протокол испытаний по определению удельной эффективной активности ЕРН в строительных материалах (изделиях).

1. Наименование организации проводившей измерения.
2. Дата проведения измерения.
3. Метод измерения.
4. Наименование материала (ГОСТ, ТУ).
5. Наименование предприятия-изготовителя (потребителя).
6. Результаты измерений представительной пробы.

Таблица 12 Результаты измерений

Номер навески	Удельная активность ЕРН, Бк/кг			Погрешность измерений, Бк/кг				A _{эфф} , Бк/кг	A _{эфф} , мкБк/кг
	⁴⁰ K	²²⁶ Ra	²³² Th	Δк	ΔRA	Δth	Δ		
1									
2									
3									
4									
5									
среднее									

7. Заключение о классе материала.

8. Должность и подпись лица, ответственного за проведение измерений.

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) классификацию строительных материалов по удельной эффективной активности; 3) блок-схему сцинтилляционного гамма-спектрометра; 4) протокол испытаний по определению удельной эффективности ЕРН в строительных материалах (изделиях); 5) заключение о классе материала.

Техника безопасности

1. Перед проведением измерений убедитесь в исправности спектрометра.
2. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
3. Запрещается открывать крышку спектрометра во время проведения измерений.
4. Запрещается отключать питание компьютера при работающем спектрометре.

Контрольные вопросы

1. Какие ЕРН строительных материалов нормируются в соответствии с НРБ-99/2009?
2. Назовите классы строительных материалов по радиационному признаку?
3. Что такое удельная активность ЕРН? Как определяется эффективная удельная активность ЕРН строительных материалов?
4. Какие основные характеристики ЕРН Вы знаете?
5. Как производится пробоотбор и пробоподготовка образцов строительных материалов?
6. На каком принципе регистрации основана работа гамма-спектрометра?
7. Из каких элементов состоит сцинтилляционный гамма-спектрометр? Их назначение?

Лабораторная работа № 8

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ПЫЛЕВЫХ ВЫБРОСОВ

Цель работы - оценить величину техногенного радиационного загрязнения от пылевых выбросов

Теоретическая часть

Серьёзную опасность для окружающей среды и человека представляют выбросы пылевидных, веществ. Например, при переработке сыпучих материалов (производство строительных материалов, стекла, цемента, металлических процессах и т.д.) выделяются твёрдые пылевидные частицы. Предприятия промышленности строительных материалов ежегодно выбрасывают в атмосферный воздух около 2,4 млн. т твёрдой неорганической пыли. Выбросы пыли ухудшают экологические условия регионов, вызывают преждевременный износ промышленного оборудования и объектов жилищно-коммунального хозяйства, наносят вред здоровью людей.

Процесс миграции пылевых выбросов в атмосфере происходит за счет переноса их воздушными массами и диффузии, обусловленной турбулентными пульсациями воздуха. Выбросы предприятий строительной индустрии содержат в основном пассивные выбросы, не претерпевающие каких-либо значительных изменений до выпадения на поверхность земли. В целях охраны окружающей среды на предприятиях должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие содержание вредных веществ (в т.ч. радиоактивных), выделяющихся в процессе производства материалов и изделий, не выше предельно допустимых концентраций.

Методика выполнения работы

Для сбора пыли используют никелированные кюветы площадью $5,4 \times 10^{-3} \text{ м}^2$. На дно кюветы наливают небольшое количество дистиллированной воды. Кювету устанавливают в месте отбора пробы, на высоте не менее 1 м от поверхности земли. После недельной экспозиции содержимое кюветы (твёрдый осадок) взвешивается на аналитических весах. Содержимое кюветы переливается в сосуд Маринелли и разбавляется дистиллированной водой до объёма 1 л. В дальнейшем производится определение удельных активностей естественных и искусственных радионуклидов на гамма-спектрометре.

После определения удельных активностей радионуклидов содержимое сосуда Маринелли помещается на противень (поддон) и устанавливается в сушильный шкаф для сушки. Сушку ведут при температуре не более $60 \text{ }^\circ\text{C}$

до полного испарения воды. Противень (поддон) с твёрдым остатком взвешивают. По разнице масс поддона с осадком и без него определяют массу осадка. Зная массу осадка производят пересчет удельных активностей радионуклидов. С целью определения бета-активности радионуклидов, содержащихся в пылевых выбросах, полученный твердый остаток размещается в кювете для бета-спектрометра, определяется его масса и устанавливается на бета-спектрометр.

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) схему проведения исследования; 3) вывод о радиоактивности пыли.

Техника безопасности

1. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
2. Не допускать попадания воды на детектор спектрометра.
3. Запрещается устанавливать сосуд Маринелли и проводить другие действия во влажных условиях.

Контрольные вопросы.

1. Что такое пыль?
2. Что такое аэрозоль?
3. Чем обусловлена радиоактивность пыли?
4. Расскажите порядок проведения работы по определению радиоактивности пылевых выбросов?

Лабораторная работа №9

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ФОНА МЕСТНОСТИ

Цель работы - Изучение методики оценки радиационного фона местности, определение суммарной эквивалентной дозы облучения (внешнего и внутреннего) с учетом фактора экранирования.

Теоретическая часть.

Персонал – профессиональные работники – лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Приведенные дозовые пределы не включают дозу, полученную при медицинском обследовании и лечении, а также дозу, обусловленную естественным фоном.

Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) - 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) - 70 мЗв. Началом периодов считается 1 января 2000 года.

Методика проведения оценки радиационного фона местности.

Рассмотрим методику проведения оценки радиационного фона местности на примере Республики Беларусь. Выберите, населённый пункт на карте Республики Беларусь. Определите радиационную обстановку (загрязненность местности по Cs-137) в данном пункте. Все величины на карте радиационной обстановке указаны в Ки/км². Переведите данное значение загрязнённости местности в единицы системы СИ для поверхностной активности A_S (Бк/м²).

При пересчёте используйте следующие соотношения:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}, 1 \text{ км}^2 = 10^6 \text{ м}^2.$$

Оцените вклад радионуклида Cs-137 в эквивалентную дозу за год, получаемую человеком, который проживает на загрязнённой территории по формуле:

$$H^{Cs} = A_S \cdot R \cdot K_{\text{Э}}, \quad (9.1)$$

где H^{Cs} – вклад в эквивалентную дозу Cs-137 за год (в Зв); A_S – поверхностная активность Cs-137 в соответствующей местности (в Бк/м²); R – коэффициент пересчета, равный для Cs-137 $8,9 \cdot 10^{-9}$ Зв·м²/Бк; $K_{\text{Э}}$ – поправочный коэффициент, который учитывает различие в поглощении излучения воздухом и тканями, рассеяние излучения и защиту от него другими тканями организма (принимается равным 0,8).

Сравните полученное значение H^{Cs} с пределом дозы (ПД), который установлен Нормами радиационной безопасности (НРБ 99/2009) для различных категорий облучаемых лиц.

Как отмечалось выше, различные органы и ткани тела человека обладают разной радиочувствительностью.

Основные дозовые пределы установленные для эффективной дозы, получаемой всем организмом, и эквивалентной дозы в некоторых критических органах, приведены в следующей таблице, согласно НРБ 99/2009.

Таблица 13 Основные дозовые пределы согласно НРБ-99/2009

Нормируемая величина	Дозовые пределы	
	Персонал	Население
Эффективная доза для всего организма	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год: в хрусталике глаза коже, кистях и стопах	150 мЗв 500 мЗв	15 мЗв 50 мЗв

Рассчитайте суммарную эквивалентную дозу облучения (внешнего и внутреннего) с учетом фактора экранирования и сравните её с величиной средней дозы от естественных и искусственных источников излучения. Сделайте вывод о радиационном фоне в выбранной местности.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение и укажите единицы измерения следующих величин:
 - а) экспозиционная доза;
 - б) поглощённая доза;
 - в) эквивалентная доза;
 - г) эффективная доза;
 - д) мощности доз.
2. Что определяют взвешивающие коэффициенты w_R ионизирующих излучений?
3. Для чего вводятся тканевые весовые множители W_T ?
4. Какие нормы радиационной безопасности Вы знаете? Определите понятие предела дозы.
5. Как оценить дозу ионизирующих излучений, которую получает человек, проживающий на загрязнённой территории?
6. Что такое внешнее и внутреннее облучение? Доля какого облучения больше в суммарной эквивалентной дозе, получаемой человеком за год?

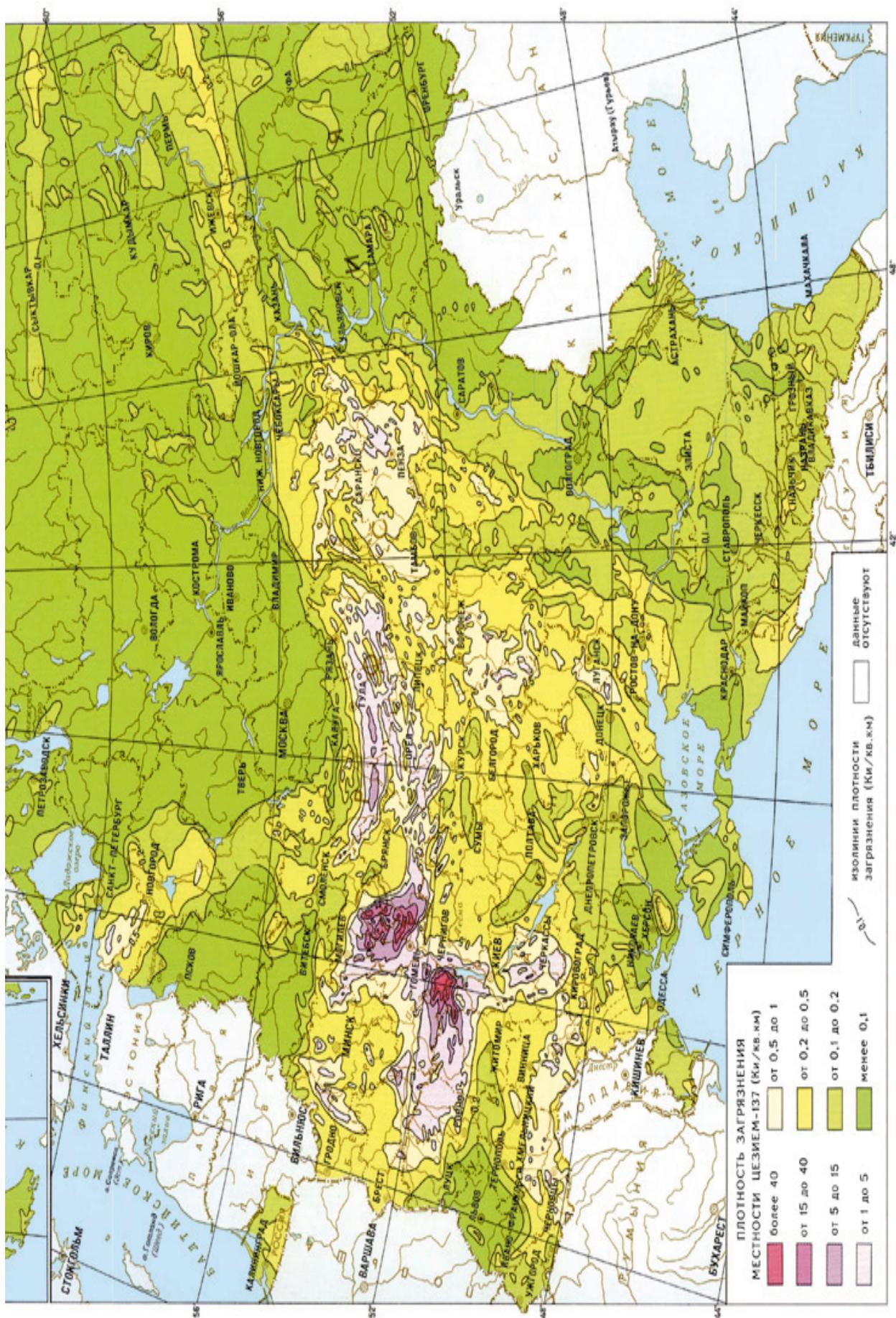


Рис.4 Плотность загрязнения местности цезием -137

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ В ДРЕВЕСНОМ СЫРЬЕ И МАТЕРИАЛАХ

Цель работы - освоить методику определения содержания радионуклидов в древесном сырье и материалах.

Теоретическая часть

При использовании атомной энергии происходит поступление радионуклидов в окружающую среду. Данные процессы происходят при испытании ядерного оружия, при добыче и переработке уранового сырья, а также при различного рода аварийных ситуациях. Из всех радионуклидов, поступающих в окружающую среду, наиболее высокий вклад в уровень облучения населения вносят ^{137}Cs и ^{90}Sr , во-первых, из-за сравнительно больших количеств, образующихся в процессе деления, а во-вторых, из-за относительно больших периодов полураспада (30,2 и 29,1 года соответственно). Поэтому ^{137}Cs и ^{90}Sr могут накапливаться в значительных количествах и в различных биологических объектах, в том числе и в древесине. Использование такой древесины может привести к повышению уровня облучения населения и, соответственно, к негативным последствиям для здоровья людей.

Допустимая удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесном сырье и материалах, в зависимости от вида и области применения приведены в таблице 14

Таблица 14 Допустимая удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесном сырье и материалах

Наименование продукции и области применения	Допустимая удельная активность, Бк/кг	
	^{90}Sr	^{137}Cs
1. Древесина деловая (лесоматериалы круглы неокоренные для выработки пиломатериалов и заготовок для различных отраслей промышленности), б т.ч.: лесоматериалы для выработки материалов и заготовок; лесоматериалы для распиловки; лесоматериалы для использования в круглом виде; древесина деловая прочая; лесоматериалы поставляемые на экспорт.	$5,2 \cdot 10^3$	$1,1 \cdot 10^3$
2. Древесина деловая (лесоматериалы круглые окоренные для выработки пиломатериалов и заготовок для различных отраслей промышленности), в	$5,2 \cdot 10^3$	$3,7 \cdot 10^2$

т.ч.: лесоматериалы для выработки материалов и заготовок; лесоматериалы для распиловки; лесоматериалы для использования в круглом виде; древесина деловая прочая; лесоматериалы поставляемые на экспорт.		
3. Дрова для отопления.	$7,0 \cdot 10^2$	$0,74 \cdot 10^2$
4. Древесное технологическое сырье для переработки, древесные полуфабрикаты различного назначения, в т.ч.: лесоматериалы для лущения и строгания; лесоматериалы для выработки целлюлозы и древесной массы, щепы технологическая; лесоматериалы и сырье древесное для химической переработки; древесина дровяная для технологических нужд.	$2,3 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$
5. Пиломатериалы, заготовки и изделия деревянные для различных отраслей промышленности, в т.ч.: пиломатериалы; продукция шпалопиления; заготовки деревянные; изделия деревянные и материалы древесные для машиностроения и прочих отраслей.	$5,2 \cdot 10^3$	$1,9 \cdot 10^2$
6. Изделия из древесины и древесных материалов, в т.ч.: тара деревянная и детали для нее; продукция целлюлозно-бумажной промышленности; продукция фанерного производства, плиты; спички; мебель.	$2,3 \cdot 10^2$	$1,9 \cdot 10^2$

Определение активности ^{137}Cs проходит на гамма-спектрометре, активности ^{90}Sr на бета-спектрометре.

Лабораторные приборы: гамма-спектрометр, бета-спектрометр, калибровочный источник $^{40}\text{K} + ^{137}\text{Cs}$, калибровочный источник ^{90}Sr , сосуд Маринелли, измерительная кювета для бета-спектрометра, лабораторные весы, сушильный шкаф.

Методика проведения работы

Пробоотбор является начальным этапом анализа лесопромышленной продукции (ЛПП). Проба берется в виде опилок или измельчается до частиц не более 5 мм. Отбор точечных проб для всех типов круглых лесоматериалов и необрезных пиломатериалов проба берется отдельно для коры и древесины. В случае расслоения партии на однородные группы количество проб отбирается пропорционально объему каждой части. Представительную пробу получают перемешиванием и квартованием не менее 10 точечных проб. Представительную пробу высушивают до постоянной массы (до воздушно-сухого состояния пробы).

Измерение активности ^{137}Cs проводится на гамма-спектрометре. Перед началом каждого измерения производится градуировка гамма-спектрометра. Представительная проба (до 1 кг) помещивается в сосуд Маринелли и устанавливается на гамма-спектрометр. Программа по команде оператора осуществляет очистку анализатора импульсов и запускает набор спектра. Набор спектра осуществляется в течение 30

минут. По окончании набора спектра оператор вводит параметров пробы (масса, геометрия измерения и др.) в программу. Результаты измерений удельной активности ^{137}Cs и оценочные значения погрешности будут выведены на экран. В качестве результата измерений принимается суммарное значение активности ^{137}Cs и полученной погрешности.

Препарат для измерения удельной активности ^{90}Sr получают озолением всего вещества счетного образца, прошедшего измерения удельной активности ^{137}Cs в сушильном шкафу. При этом определяется коэффициент концентрации вещества при озолении (отношение массы исходного вещества к массе изготовленного при озолении препарата). Коэффициент концентрации вещества при озолении должен составлять не менее 5.

Измерение активности ^{90}Sr проводится на бета-спектрометре. Перед началом измерения производится градуировка бета-спектрометра. В измерительную кювету бета-спектрометра помещается прошедший озолению образец. Масса образца определяется путем вычитания массы кюветы из массы кюветы с образцом. Набор спектра осуществляется в течение 30 минут. По окончании набора спектра оператор вводит параметры пробы (масса, геометрия измерения и др.) в программу. Результаты измерений удельной активности ^{90}Sr и оценочные значения погрешности будут выведены на экран. В качестве результата измерений принимается суммарное значение активности ^{90}Sr и полученной погрешности.

За результат определения удельной активности радионуклида в представительной пробе принимается величина:

$$A = \Pi / (m - k), \quad (10.1)$$

где Π - суммарное значение активности радионуклида и полученной погрешности измерений, Бк; m - масса вещества в счетном образце, кг; k - коэффициент концентрации вещества (при измерении активности ^{90}Sr).

В качестве обобщающего параметра для принятия решения о радиационном качестве древесины принимается величина:

$$B = A_{Cs} / A'_{Cs} + A_{Sr} / A'_{Sr}, \quad (10.2)$$

где A_{Cs} , A_{Sr} - содержание радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в образце; A'_{Cs} , A'_{Sr} - предельно допустимые уровни для ^{137}Cs и ^{90}Sr в испытываемой продукции.

При значениях B не более 0,7 заключение о радиационной безопасности испытываемой партии может быть принято по результатам измерения 1 образца. При значениях B более 0,7 для принятия решения о радиационной безопасности необходимо провести исследования всей представительной пробы. Значения параметра для принятия решения в этом случае определяется по соотношению:

$$B = B_{cp} + AB, \quad (10.3)$$

где B_{cp} - усредненное значение из всех результатов измерений; AB - погрешность результатов измерений.

$$\Delta B = 1.7 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n B_i^2 - nB_{cp}^2}{n-1}}, \quad (10.4)$$

где: n - общее число образцов, прошедших испытание; B_i - результат, полученный для i -го образца.

Партия продукции считается радиационно-безопасной, если B составляет не более 1.

Результаты измерений оформляются в виде таблицы по приведенной ниже форме.

Таблица 15 Результаты измерений

Наименование продукции	Дата изготовления (измерения)	Кол-во (масса) проб для испытания	$A_{Cs}, Bк/кг$	$A_{Sr}, Bк/кг$	$A'_{Cs}, Bк/кг$	$A'_{Sr}, Bк/кг$	B
1	2	3	4	5	6	7	8

Отчет о работе должен содержать: 1) описание работы; 2) допустимые уровни удельных активностей радионуклидов в древесине; 3) обработку результатов испытаний; 4) вывод об удельных активностях радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесине.

Техника безопасности

1. Перед проведением измерений убедитесь в исправности спектрометров.
2. Запрещается открывать крышку калибровочного источника.
3. Запрещается открывать крышку спектрометра во время проведения измерений.
4. Запрещается отключать питание компьютера при работающих спектрометрах.

Контрольные вопросы

1. Какие радионуклиды контролируются в древесном сырье и материалах?
2. Какие основные характеристики радионуклидов Вы знаете?
3. Как производится пробоотбор и пробоподготовка образцов?

Публикуется в авторской редакции

План выпуска учеб.-метод. документ. 2014, поз. 50

Подписано в свет 12.02.2014.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,8. Объем данных 816 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru