

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания
к лабораторной работе*

689285

САМАРА
Издательство СГАУ
2006

Составитель *А.М. Фомичев*

УДК 502

Радиационная безопасность: метод. указания к лабораторной работе по экологии / сост. *А.М. Фомичёв*. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2006.-14 с.

Методические указания являются руководством к лабораторной работе "Радиационная безопасность" по курсу экологии. В теоретической части рассмотрены основы радиационной дозиметрии, нормы радиационной безопасности и способы защиты от облучения. Указания по выполнению экспериментальной части дополнены контрольными задачами.

Предназначены для студентов 4-го курса 4-го факультета дневного и вечернего отделений, 3-го курса 5-го факультета дневного отделения. Подготовлены на кафедре "Химия".

Печатаются по решению Редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета

Рецензент канд. техн. наук, доц. С.С. Козий

* * *

Радиационная опасность заключается во взаимодействии ионизирующего радиоактивного излучения с веществом живого организма. Результатом такого взаимодействия является образование ионов и свободных радикалов, нарушающих нормальное протекание биохимических реакций в живом организме по механизму цепных реакций.

Различают следующие виды ионизирующих излучений:

рентгеновское - коротковолновое электромагнитное излучение

(длины волн до 20 \AA);

γ -излучение - жёсткое рентгеновское излучение с очень короткими длинами волн (менее 1 \AA);

β -излучение - поток электронов или позитронов;

α -лучи - поток ядер атомов гелия ${}^4_2\text{He}$;

n -лучи - поток нейтронов, по энергии их различают: до 0,5 МэВ - холодные и тепловые, до 10 МэВ - быстрые, свыше 10 МэВ - сверхбыстрые.

1. ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Первая единица измерения радиоактивности в честь французских ученых Пьера и Марии Кюри была названа "кюри" - 1 Ки. Радиоактивность в 1 Ки создаёт 1 г радия. В системе единиц СИ за единицу активности принято одно ядерное превращение в

секунду (1 распад/с). Эта единица получила название "Беккерель" (1 Бк) в честь первооткрывателя явления радиоактивности французского физика А. Беккереля. Связь между этими единицами:

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

Для количественной оценки действия ионизирующего излучения на облучаемый объект в радиационной дозиметрии введено понятие "доза". Различают поглощённую, экспозиционную и эквивалентную дозы.

Изменения, происходящие в облучаемом объекте под воздействием различного рода излучений, зависят от величины поглощённой энергии. Поэтому величина поглощённой энергии излучения и определяет в основном степень его воздействия на организм.

Поглощённая доза $D_{\text{п}}$ - это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенной единицей массы облучаемого вещества. В СИ за единицу измерения $D_{\text{п}}$ принимают 1 грей, причем

$$1 \text{ грей (Гр)} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Часто применяется и внесистемная единица измерения поглощённой дозы - 1 рад, это доза, при которой количество поглощенной энергии в 1 г любого вещества составляет 100 эрг независимо от вида излучения, следовательно,

$$1 \text{ рад} = \frac{100 \text{ эрг}}{1 \text{ г}} = \frac{10^2 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}}{10^{-3} \text{ кг}} = 10^{-2} \text{ Гр},$$

тогда 1 Гр = 100 рад.

Для характеристики доз поглощения по эффекту ионизации, вызываемому в воздухе, используется **экспозиционная доза** $D_{\text{экс}}$. В СИ в качестве единицы измерения $D_{\text{экс}}$ берется 1 Кл/кг. Это доза, при которой за счет ионизации молекул воздуха массой 1 кг возникают ионы, несущие электрический заряд 1 Кл каждого знака. При этом процессе ионизации происходит в сухом атмосферном воздухе при нормальных условиях. На практике используется и внесистемная единица экспозиционной дозы - 1 рентген (Р).

1 Р - это доза фотонного излучения, при которой в 1 см³ воздуха в процессе ионизации образуется $2,079 \cdot 10^9$ пар ионов каждого знака. Можно показать, что $1 \text{ Р} = 2,576 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Между экспозиционной и поглощённой дозами ионизирующего излучения существует линейная зависимость

$$D_{\text{п}} = K_{\text{экс}} \cdot D_{\text{экс}},$$

где коэффициент пропорциональности $K_{\text{экс}} = 0,877 \text{ рад/Р}$.

Различные виды радиации при одинаковых значениях $D_{\text{п}}$ производят неодинаковое биологическое действие на живые организмы. Более тяжелая частица (например, протон) производит на единице пути в биологической ткани больше ионов, чем лёгкая (например, электрон). Поэтому при одной и той же $D_{\text{п}}$ радиобиологический разрушительный эффект в первом случае выше. Чтобы учесть этот эффект, введено понятие **эквивалентной дозы** $D_{\text{эkv}}$. Она определяется соотношением

$$D_{\text{эkv}} = K_{\text{обэ}} \cdot D_{\text{п}},$$

где $K_{\text{обэ}}$ - коэффициент относительной биологической эффективности, значения которого для различных видов излучения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Виды излучения	$K_{\text{обэ}}$, Зв/Гр
Рентгеновское и γ -излучения	1
Электроны, позитроны, β -излучение	1
Нейтроны с энергией меньше 20 кэВ	3
Нейтроны с энергией 0,1–10 МэВ	10
Протоны с энергией меньше 10 МэВ	10
α -излучение с энергией меньше 10 МэВ	20
Тяжелые ядра отдачи	20

Единицей измерений эквивалентной дозы в СИ является зиверт (Зв). Величина 1 Зв равна эквивалентной дозе любого вида излучения, поглощённой в 1 кг биологической ткани и создающей такой же биологический эффект, как и поглощённая доза в 1 Гр фотонного излучения.

Внесистемной единицей измерения эквивалентной дозы является "биологический эквивалент рада", то есть бэр. 1 бэр - это энергия любого вида излучения, поглощённая в 1 г биологической ткани, при которой наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощённой дозе в 1 рад фотонного излучения (т.е. 100 эрг поглощённой фотонной энергии).

Очевидно, что $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$, а коэффициенты $K_{обэ}$ при пересчёте рад в бэры имеют те же численные значения, что и в табл. 1, но с размерностью бэр/рад.

В табл. 2 приведена взаимосвязь единиц измерения радиационной дозиметрии.

Таблица 2

Облучение	Характеристики	Обозначения	Единицы измерения в СИ	Внесистемная единица измерения	Взаимосвязь
	Активность	A_p	1 Бк = 1 расп/с	1 Ки	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Воздуха или среды	Экспозиционная доза	$D_{\text{эксп}}$	1 Кл/кг	1 Р	$1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ р}$
Неживых объектов	Поглощённая доза	D_n	1 Гр = 1 Дж/кг	1 рад	1 Гр = 100 рад
Живых организмов	Эквивалентная доза	$D_{\text{экв}}$	1 Зв	1 бэр	1 Зв = 100 бэр

Одни органы или ткани человека более чувствительны к действию радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в лёгких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез

особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей человека следует учитывать с разными **коэффициентами радиационного риска** $K_{\text{рр}}$. Умножив эквивалентную дозу на соответствующий коэффициент радиационного риска и просуммировав по всем тканям и органам, получим **эффективную эквивалентную дозу** $D_{\text{эфф.экв}}$, отражающую суммарный эффект облучения организма. Эффективная эквивалентная доза облучения также измеряется в зивертах.

2. ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ И МОЩНОСТЬ РАДИАЦИИ

Естественный фон радиации образуют космические лучи, падающие на Землю из космоса, и радиоактивные элементы, содержащиеся в земных породах и строительных материалах, из которых сооружены наши дома, а также в пище, которую мы едим. Эти естественные источники радиации действовали на человека всю историю его существования. И в настоящее время уже экспериментально доказано стимулирующее влияние малых доз радиации на живой организм, т.е. их необходимость для жизни. В связи с этим введено понятие **индивидуальной предельно допустимой дозы** (ИПДД).

Так как от естественных источников радиации человек в среднем получает в год около 2,4 мЗв, то за 70 лет жизни накапливается доза

$$2,4 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}} \cdot 70 \text{ лет} = 168 \text{ мЗв}.$$

Согласно нормативным документам, утверждённым Минздравом России в 1989 году, ИПДД, которую человек может получить за весь период жизни, не должна более чем вдвое превышать естественную дозу

$$168 \text{ мЗв} \cdot 2 = 336 \text{ мЗв} \approx 350 \text{ мЗв}.$$

А так как $1 \text{ бэр} = 0,013 \text{ Зв} = 10 \text{ мЗв}$, то полученное значение соответствует положению, утверждённому многими международными организациями, о том, что за среднестатистическую

жизнь 70 лет допустима суммарная доза 35 бэр (концепция "35 бэр за жизнь").

Таким образом, максимальное годовое облучение с учётом естественных источников не должно превышать $350\text{мЗв}/70=5\text{мЗв}$. Отсюда легко рассчитать предельно допустимую мощность (ПДМ) радиации:

$$\text{ПДМ} = 5 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}} = \frac{5 \cdot 10^3}{365 \cdot 24} = 0,57 \frac{\text{мкЗв}}{\text{ч}}$$

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Всемирного Общества Здравоохранения (ВОЗ) радиационный уровень, соответствующий естественному фону 0,1-0,2 мкЗв/ч (10-20 мкР/ч), признано считать **нормальным**, уровень 0,2-0,6 мкЗв/ч (20-60 мкР/ч) считается **допустимым**, а уровень свыше 0,6-1,2 мкЗв/ч (60-120 мкР/ч) с учётом эффекта экранирования считается **повышенным**. Коэффициент ослабления (экранирования) для каменных зданий равен 10, а для деревянных - 2.

Во всех случаях обнаружения участков местности с мощностью эквивалентной дозы γ -излучения или β -частиц выше 0,6 мкЗв/ч нужно немедленно ставить в известность районную и республиканскую службы санитарного надзора.

3. НОРМЫ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Основным документом, регламентирующим уровни воздействия ионизирующих излучений в России, являются "Нормы радиационной безопасности" НРБ-99. Нормы устанавливают следующие категории облучаемых лиц.

Категория А - профессиональные работники - лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками ионизирующих излучений.

Категория Б - лица, которые не работают непосредственно с источниками ионизирующего излучения, но по условиям проживания или размещения рабочих мест могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ.

В соответствии с НРБ-99 основные дозовые пределы облучения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Нормируемая величина	Дозовые пределы	
	Категория А	Категория Б
Эффективная эквивалентная 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

Повышенное облучение персонала (категория А) при ликвидации аварии выше установленных дозовых пределов может быть разрешено только в тех случаях, когда нет возможности принять меры, исключаящие их превышение, и может быть оправдано лишь спасением жизни людей, предотвращением дальнейшего развития аварии и облучения большого числа людей. Планируемое повышенное облучение допускается только для мужчин старше 30 лет лишь при добровольном письменном согласии, после информирования о возможных дозах облучения при ликвидации аварии и риске для здоровья.

Планируемое повышенное облучение в дозе не более 100 мЗв/год допускается с разрешения территориальных органов государственного санитарного надзора, а облучение в дозе не более 200 мЗв/год - только с разрешения Государственного санитарного надзора России.

Лица, подвергшиеся однократному облучению в дозе, превышающей 100 мЗв, в дальнейшей работе не должны подвергаться облучению в дозе свыше 20 мЗв/год.

Однократное облучение в дозе свыше 200 мЗв должно рассматриваться как потенциально опасное. Лица, подвергшиеся такому облучению, должны немедленно выводиться из зоны облучения и направляться на медицинское обследование.

Для студентов и учащихся в возрасте до 21 года, проходящих обучение с использованием источников радиации, годовые накопления дозы не должны превышать значений, установленных для лиц из населения (категория Б).

При проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований практически здоровых лиц, не имеющих медицинских противопоказаний, годовая эффективная доза облучения не должна превышать 1 мЗв.

4. ЗАЩИТА ОТ ОБЛУЧЕНИЯ

Характер и результат взаимодействия ионизирующего излучения со средой определяется проникающей способностью излучения и энергией частиц излучения.

Так как проникающая способность β -излучения невелика, то обычно не возникает задачи защиты от β -излучения, например при нормальной работе на АЭС. Такая задача возникает только в аварийных ситуациях, когда выброс радионуклидов из облученного топлива приводит к загрязнению здания АЭС высокоэнергетичными β -излучателями. Для работы в таких условиях критичным органом является хрусталик глаза. Для защиты глаз используют в такой ситуации прозрачные плексигласовые щитки или очки из обычного стекла. Однако даже в этих экстремальных условиях главным фактором радиационной опасности является γ -излучение. Рассмотрим способы защиты от него.

Различают три возможных принципа защиты - временем, расстоянием и экранировкой.

Защита временем - это ограничение продолжительности работы в поле излучения. Принцип защиты расстоянием основан на том, что излучение точечного локализованного источника распространяется во все стороны равномерно, т.е. является изотропным. Отсюда следует, что интенсивность излучения уменьшается с увеличением расстояния от источника по закону обратных квадратов, т.е. при увеличении расстояния до источника излучения в 2 раза интенсивность его уменьшается в 4 раза и т.д. Поэтому при регистрации γ -излучения с очень высокой мощностью дозы это делают с максимальным удалением от такого участка.

Третий принцип - защита экранированием или поглощением - основан на использовании процессов взаимодействия фотонов с

веществом. Защитные свойства материалов определяются коэффициентом ослабления излучения для узкого пучка γ -излучения. Обычно указывают толщину слоя материала, ослабляющую γ -излучение в 2 или 10 раз. Например, толщина слоя половинного ослабления фотонов с энергией 1 МэВ составляет 1,3 см свинца или 13 см бетона. Защитная способность других веществ больше или меньше защитной способности свинца и бетона материалов в такой же степени, во сколько раз отличаются их плотности от плотности свинца или бетона.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Изучить порядок работы на дозиметре - радиометре МКС - АТ 6130.

2. Измерить мощность дозы γ -излучения естественного радиационного фона.

3. Измерить мощность дозы γ -излучения исследуемого образца N_0 . Повторить измерения величины N этого же образца, применяя экраны из алюминия, стекла, стали и других материалов разной толщины.

4. Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблицы.

Измеряемая величина	Единица измерения	Объект	Значение	Коэффициент ослабления излучения K , мм^{-1} .

Значение K для различных экранов рассчитать по формуле $K=N_0/(N \cdot h)$, где h - толщина экрана (мм).

5. Измерить плотность потока β -излучения естественного радиационного фона. Полученное обратное значение фона (S^{-1}) ввести в память прибора, а истинное значение плотности потока для фона рассчитать по формуле $1/S^{-1}$ и внести в таблицу.

6. Установить пороговый уровень для плотности потока β -излучения в 2200 частиц/(мин·см²).

7. Измерить значение плотности потока β -излучения для исследуемого образца (Φ_0) при достижении статической погрешности $\pm 3\%$. Повторить измерение величины Φ этого же образца, применяя экраны из алюминия, стекла, стали и других материалов. Чем ниже значение Φ , тем больше должно быть значение требуемой статистической погрешности (от ± 3 до $\pm 20\%$). Результаты измерений занести в приведенную выше таблицу. Значение K для различных экранов рассчитать по формуле $K = \Phi_0 / (\Phi \cdot h)$.

8. С учетом полученных значений K сделать вывод об эффективности экранирования γ - и β -излучений различными материалами. Какой вид излучения (γ или β) является более проникающим?

9. Используя измеренное значение мощности дозы γ -излучения исследуемого образца H_0 , значение предельно допустимой дозы облучения за 1 год из табл. 3, принимая время работы с исследуемым образцом равным 20 мин за 1 цикл измерений (без экрана и с экраном), а также принимая, что число рабочих дней в году равно 250, рассчитать число допустимых измерений за год и рабочий день, а также допустимое время работы с этим образцом за 1 рабочий день.

6. ЗАДАЧИ

1. Вывести общую формулу, связывающую эквивалентную дозу излучения в бэрах с эквивалентной дозой излучения в Зивертах, с поглощенной дозой излучения в рад и Гр, с экспозиционной дозой излучения в Р.

2. Рассчитать эквивалентную дозу излучения в бэрах и мЗв для рентгеновского излучения с экспозиционной дозой 3 Р.

3. Рассчитать мощность экспозиционной дозы (в мкР/ч) нейтронного излучения с энергией 8 МэВ и мощностью эквивалентной дозы 15 мкЗв/ч.

4. Студент для образца UO_2 измерил значение $H_0 = 5,5$ мкЗв/ч. Рассчитать допустимое время работы с этим образцом за 1

рабочий день и допустимое число измерений в день, принимая время одного измерения равным 10 мин.

5. Профессиональный работник для изучаемого образца измерил значение $H_0 = 0,25$ мЗв/ч. Принимая время одного измерения равным 5 мин, рассчитать допустимое число измерений за 1 рабочий день.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Усманов С.М. Радиация: Справочные материалы. - М.: ВЛАДОС, 2001. - 176с.
2. Нормы радиационной безопасности НРБ-99. - М.: НПК "Апрохим", 2000. - 109с.
3. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. - М.: ЮНИТИ, 1997. С. 451-453.

Учебное издание

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Методические указания
к лабораторной работе по экологии*

Составитель *Фомичев Анатолий Матвеевич*

Редактор Л. Я. Че го да е в а
Компьютерная верстка О. А. А н а н ь е в

Подписано в печать 18.09.2006 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл.печ.л. 0,9. Усл.кр.- отт. 1,0. Уч. – издл. 1,0.

Тираж 300 экз. Заказ *95*. Арт. С-12(Д1)/2006.

Самарский государственный аэрокосмический
университет. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического
университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.