

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С. П. КОРОЛЁВА
(национальный исследовательский университет)»**

**РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Методические указания к лабораторной работе

САМАРА 2012

УДК 658.3.043

Составители: Вякин В.Н., Варфоломеева В.В., Терентьев А.В., Морозов В.В.

Радиологический контроль окружающей среды: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В.Н. Вякин, В.В. Варфоломеева, А.В. Терентьев, В.В. Морозов. Самара, 2012. 16 с.

В настоящей работе дается понятие об экологическом контроле окружающей среды помощью бытовых приборов радиометрического контроля. Описываются общие вопросы радиометрического контроля, единицы измерения радиационной обстановки окружающей среды. Работа предназначена для закрепления знания студентов вузов в части практического измерения радиационного фона и оценки его влияния на человека и природу.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Безопасность жизнедеятельности».

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С. П. Королёва

Рецензент: к.т.н., доцент Ф. В. Паровой

1. Радиация. Величины, единицы измерения соотношения

Радиоактивность – самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер-радионуклидов, сопровождающийся испусканием корпускулярного или жесткого рентгеновского (γ -кванты) электромагнитного излучения. Обычно в результате радиоактивного распада из ядер атомов одного химического элемента образуются ядра другого элемента. Основной закон радиоактивности (в интегральной форме)

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t},$$

где N_0 – исходное число ядер, N_t – число ядер, не распавшихся к моменту времени t .

Значение связано с периодом полураспада $T_{1/2}$ (время, в течение которого число ядер уменьшается в результате распада вдвое) соотношением:

$$\lambda \cdot T_{1/2} = \ln 2 = 0,692.$$

Закон радиоактивности имеет статический характер. Для отдельного ядра предсказать момент его распада невозможно.

Активность радиоактивного источника A называется число радиоактивных распадов в единицу времени:

$$A = \frac{dN}{dt}.$$

Единицей активности является беккерель (Бк) – 1 расп/с. На практике широко применяется внесистемная единица – кюри (Ки). Соотношение между этими единицами: 1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк. На практике часто используются кратные единицы: милликюри (мКи) и микрокюри (мкКи).

В практической дозиметрии используют производные величины. Удельная активность источника A_m – соотношение активности источника к его массе m :

$$A_m = A / m. \quad (1)$$

A_m обычно измеряется в Ки/кг, Бк/кг.

Объемная активность источника A_V – соотношение активности источника к его объему V :

$$A_V = A / V. \quad (2)$$

A_V измеряется в Ки/м³, Бк/м³.

Поверхностная активность источника (A_S) – отношение активности источника к площади его излучающей поверхности S :

$$A_S = A / S. \quad (3)$$

A_S измеряется в Ки/м², Бк/м².

Допускаются кратные этим величинам единицы, например, килобеккерель/литр (кБк/л), милликюри/кг (мКи/кг) и т.д.

Поражающее воздействие радиации на живое вещество происходит в результате упругих и неупругих (нейтроны) взаимодействий излучений с атомами и молекулами мишени. Упругие взаимодействия вызывают ионизацию, неупругие сопровождаются ядерными реакциями, и то и другое воздействие убивает живые клетки, лишая их возможности осуществлять обмен веществ с внешней средой.

Альфа-излучение – поток ядер гелия, испускаемых веществом при радиоактивном распаде ядер или ядерных реакциях. Их энергия не превышает нескольких МэВ. Чем больше энергия частицы, тем больше полная ионизация, вызываемая ею в веществе. Пробег альфа-частиц, испускаемых радиоактивными веществами, достигает 8–9 см в воздухе, а в живой ткани – нескольких десятков микрометров. Обладая сравнительно большой массой, альфа-частицы быстро теряют свою энергию при взаимодействии с веществом, что обуславливает их низкую проникающую способность и высокую удельную ионизацию, составляющую в воздухе на 1 см пути несколько десятков тысяч пар ионов.

Бета-излучение – поток электронов или позитронов, возникающих при радиоактивном распаде. Энергия бета-частиц не превышает нескольких МэВ¹. Максимальный пробег в воздухе составляет 1800 см, а в живых тканях 2,5 см. Ионизирующая способность бета-частиц ниже (несколько десятков пар на 1 см пробега), а проникающая способность выше, чем у альфа-частиц, т.к. они обладают значительно

¹ МэВ – мегаэлектронвольт. 1 МэВ = 1,6 · 10⁻¹² Дж.

меньшей массой и при одинаковой с альфа-частицами энергии имеют меньший заряд.

Нейтроны, поток которых образует нейтронное излучение, преобразуют свою энергию в упругих и неупругих взаимодействиях с ядрами атома; при неупругих взаимодействиях возникает вторичное излучение, которое может состоять как из заряженных частиц, так и из гамма-квантов (гамма-излучение). При упругих взаимодействиях возможна обычная ионизация вещества. Проникающая способность нейтронов существенно зависит от их энергии и состава атомов вещества, с которыми они взаимодействуют.

Гамма-излучение – электромагнитное (фотонное) излучение, испускаемое при ядерных превращениях или взаимодействии частиц. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и малым ионизирующим действием. Энергия его находится в пределах 0,01 – 3 МэВ.

Степень радиационных воздействий ионизирующего излучения на живой организм зависит в первую очередь от величины поглощенной энергии излучения. Для характеристики этого показателя введено понятие поглощенной дозы D ионизирующего излучения, поглощенного облучаемым веществом. Единицей поглощенной дозы служит Грей (Гр): 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 рад. Рад – внесистемная единица.

Мощностью поглощенной дозы P называется приращение поглощенной дозы dD за интервал времени dt :

$$P = \frac{dD}{dt}. \quad (4)$$

Измеряется P в рад/с, Гр/с, рад/ч, Гр/ч и в производных от них мрад/ч (миллиард в час).

Основной дозиметрической величиной в области радиационной безопасности является эквивалентная доза H , введенная для оценки возможного ущерба здоровью человека от хронического воздействия малых доз ионизирующего излучения произвольного состава (радиобиологического эффекта):

$$H = D \cdot K, \quad (5)$$

где K – коэффициент качества, учитывающий биологическую активность разных видов ионизирующего излучения.

Радиобиологический эффект наибольший у тяжелых ядер и альфа-частиц $K = 20$. Для нейтронов с энергией: < 10 кэВ – $K = 5$; $10-100$ кэВ – $K = 10$; от 100 кэВ до 2 МэВ – $K = 20$; $2-20$ МэВ – $K = 10$; > 20 МэВ – $K = 5$. Для рентгеновского, гамма- и бета-излучений, электронов и позитронов $K = 1$. Измеряется эквивалентная доза в зивертах (Зв) и внесистемных единицах бэр (биологический эквивалент рентгена). Зиверт – эквивалентная доза любого вида излучения, поглощенная в 1 кг биологической ткани, создающая такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 грей фотонного излучения. 1 Зв = 100 бэр. Производные величины миллибэр (мбэр), микрозиверт (мкЗв) и т. п.

Соответствующая величина мощности эквивалентной дозы

$$\bar{H} = \frac{dH}{dt}. \quad (6)$$

измеряется в бэр/с, Зв/с. Используются мкбэр/ч и мбэр/ч, микро- и миллибэр в час, соответственно.

Широко употребляемая прежде величина экспозиционная доза рентгеновского и гамма-излучения измеряется в рентгенах (Р), а её мощность в Р/с, Р/ч и производных мкР/ч, мР/ч. Опыт развития дозиметрии показывает нецелесообразность использования этой величины для оценки радиационного воздействия ионизирующего излучения на человека.

Соотношения между величинами экспозиционной, поглощенной и эквивалентной дозами сложная задача и в каждом конкретном случае решается отдельно. Однако для широкого круга практических задач дозиметрии рентгеновского и гамма-излучения можно удовлетвориться следящими соотношениями, представленными в таблице 1.

Таблица 1. Доза радиации. Соотношение между величинами

Эквивалентная доза	Поглощенная доза (при $K = 1$)	Экспозиционная доза
1 бэр	1 рад	1 Р
0,01 Зв	0,01 Гр	1 Р

2. Источники ионизирующего излучения. Внешнее и внутреннее облучение

Биосфера во все времена была подвержена воздействию радиации за счет радиоактивности почвы и космических лучей. Естественная (природная) радиоактивность почвы связана с наличием продуктов распада радиоактивных семейств: урана-238, (ряд урана-радия), урана-235 (ряд актиноурана) и тория-230.

В результате векового равновесия между продуктами последовательных превращений элементов каждого семейства в окружающей среде содержится некоторое количество природных радионуклидов. Например, в ряду семейства урана-238 присутствует радиоактивный газ радон-222 ($T_{1/2} = 3,8$ дня). Живые организмы эволюционно приспособились к природным радионуклидам, в том числе к их аномалиям в ряде мест земного шара (Индия, Китай, Бразилия). Даже вынос радионуклидов на поверхность Земли в результате обычной вулканической деятельности не отражается в целом на биосферу. К наиболее активным природным радионуклидам относятся: изотоп калия (K-40) – 35% эффективной коллективной дозы²; уран (U-238) – 25%; торий (Th-232) – 40%.

Различают два вида облучения: внешнее, когда радионуклиды попадают на кожу человека, и внутреннее, которое происходит за счёт радиоактивных частиц, проникших внутрь организма. Внутреннее облучение от природных радионуклидов составляет 2/3 эффективной эквивалентной дозы. Для предотвращения внутреннего облучения при проникновении радиоактивных веществ в организме человека используются эволюционно созданные системы защиты органов животных и человека от ксенобиотиков.

Особенно опасен для человека радон – тяжелый невидимый газ. Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха, даёт 3/4 годовой индивидуальной эквивалентной дозы облучения. Основная часть поступает в легкие человека в закрытом непрветриваемом помещении. Здесь его концентрация может в 8 раз превышать содержание его на открытом

² Эффективная коллективная доза – эффективная доза, полученная группой людей от какого-либо источника излучения; она равна сумме индивидуальных эффективных доз. Измеряется в человеко-зивергах.

воздухе. Большую опасность представляет попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие человека.

Годовая эффективная эквивалентная доза $H_{\text{Год}}$, обусловленная гамма-излучением естественных радионуклидов в почве рассчитывается по формуле:

$$H_{\text{Год}} = P \cdot T \cdot K_{\text{ГП}} \cdot K, \quad (7)$$

где P – мощность поглощенной дозы в данной местности; T – количество часов в году (8760 часов); $K_{\text{ГП}} = 0,2$ – коэффициент, учитывающий время пребывания человека на открытой местности; $K = 0,7$ – отношение мощности эквивалентной дозы для биологической ткани к поглощенной дозе в воздухе для средних энергий гамма-излучений.

Так при $P = 100$ мкГр/ч $H_{\text{Год}} = 120$ мЗв. Внутри помещения $H_{\text{Год}} = 500$ мЗв.

Научный комитет ООН по действию атомной радиации рекомендует в качестве среднего значения суммарный годовой дозы от внешних естественных источников принимать 0,3–0,6 мЗв (30–60 мбэр) Доза, обусловленная бета-частицами естественных радионуклидов, в среднем не превышает 10 мкЗв за год. Поэтому при контроле радиационной обстановки на практике чаще всего контролируется мощность дозы (экспозиционной, поглощенной или эквивалентной) гамма-излучения.

Для оценки безопасных доз радиации следует учитывать:

- внешнее облучение, обусловленное естественными радионуклидами, примерно равно космическим излучениям (30 мбэр);
- облучение при поступлении естественных радионуклидов в человеческий организм составляет 130 мбэр;
- среднегодовая эффективная эквивалентная доза от естественных источников радиоактивности составляет 200–300 мбэр (2–3 мЗв);
- учитывая рассеянность природных радионуклидов и наличие защитных механизмов от естественной радиации у человека, можно заключить, что человек достаточно стоек к радиационному воздействию на уровне 1–10 мЗв (0,1–1,0 бэр) в год. При этом не наблюдается каких-либо изменений в состоянии здоровья человека.

3. Техногенный радиационный фон

Техногенный радиационный фон обусловлен:

- концентрированием естественных радионуклидов. Наиболее богатые руды урана содержат менее 2%, этого элемента. Получение чистого урана (концентрирование) и обогащение его изотопом ^{235}U связано с утечкой урана в окружающую среду на всех этапах ядерной промышленности;
- ядерная промышленность, ядерные взрывы, аварии на ядерных объектах и др. «наработали» огромное количество радионуклидов – «осколков» деления ядер урана, которых ранее не знала природа. Среди них стронций-90 ($T_{1/2} = 28$ лет), цезий-137 ($T_{1/2} = 33$ года) и др. Эти изотопы усваиваются живыми организмами, создавая в их теле стационарные источники радиации.

Реальный радиационный фон, таким образом, создается за счет естественных и искусственных радионуклидов.

Техногенные источники повышают уровень радиационного фона по сравнению с его естественными значениями и, следовательно, увеличивают опасность его воздействия на человека и природу.

4. Контроль радиационной обстановки с помощью бытового дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна»

Для замера радиационного излучения создан широкий спектр приборов, которые позволяют получить надежные данные, необходимые при оценке опасности его воздействия на человека. Бытовой дозиметр-радиометр «Сосна» относится к одному из них.

Дозиметр-радиометр «Сосна» (далее прибор) предназначен для индивидуального использования населением с целью контроля радиационной обстановки на местности, в жилых помещениях и рабочих помещениях в том числе для:

- измерения мощности экспозиционной (полевой эквивалентной) дозы гаммы излучения;
- измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей;
- оценки объемной активности радионуклидов в веществах.

К недостаткам подобных бытовых приборов можно отнести:

- результаты измерений не могут быть использованы для официальных заключений государственными органами;
- многие приборы, в том числе «Сосна», не дают возможности изучить спектральный состав излучения фона и определить радионуклиды, его породившие.

4.1. Технические данные и характеристики

I. Диапазон измерения мощности:

- экспозиционной дозы гамма-излучения – 0,010–9,999 мР/ч;
- полевой эквивалентной дозы гамма-излучения – 0,1–99,99 мкЗв/ч (её значение определяют путем умножения показаний прибора на 10).

II. Диапазон измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей: 10–5000 част/см²мин или $1,66 \cdot 10^3$ – $8,33 \cdot 10^5$ 1/м²с.

III. Диапазон оценки объемной активности растворов (по изотопу ¹³⁷Cs): 10^{-7} – 10^{-6} Ки/л или $3,7 \cdot 10^3$ – $3,7 \cdot 10^4$ Бк/л.

IV. Диапазон энергии:

- гамма-излучения – 0,06–1,25 мэВ или 9,6–200 Дж;
- бета-излучения – 0,5–3 мэВ или 80–560 Дж.

Примечание: При оценке объемной активности радионуклидов в веществах время измерения задается потребителем.

4.2. Устройство прибора

Расположение элементов конструкции и органов управления и индикации приведены на рисунке 1.

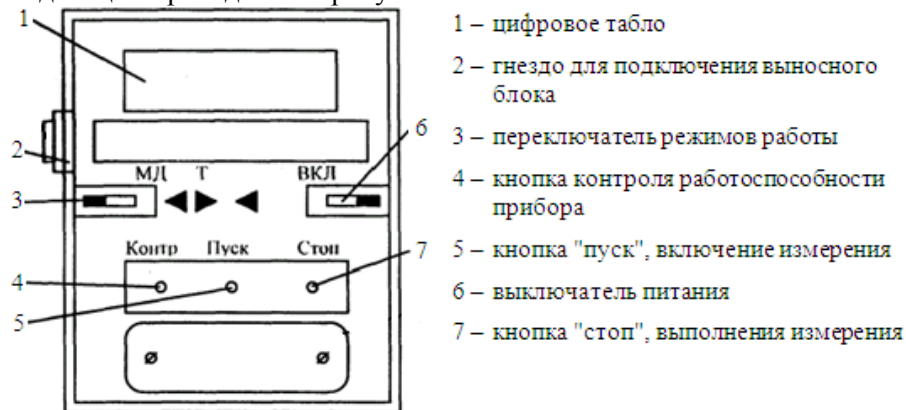


Рис. 1. Схематичное изображение дозиметра-радиометра «Сосна».

При работе прибора преобразователь напряжения подает через токоограничивающие R–C (сопротивление–ёмкость) цепочки на аноды газоразрядных счётчиков напряжение ~400 В. При попадании в рабочие объёмы счётчиков ионизирующих частиц на нагрузке счётчиков появляются импульсы. Эти импульсы подаются на табло жидкокристаллического индикатора.

Прибор обеспечивает прямой отсчет величины мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в мР/ч на цифровом табло.

Время замера устанавливается либо в автоматическом режиме (в течение 20 ± 5 с), либо в "ручном".

В режиме измерения плотности потока бета-излучения с загрязненных поверхностей необходимо проведение 2-х измерений: с закрытой и открытой задней крышкой прибора.

В режиме оценки объемной активности радионуклидов в пробах необходимо также проведение двух измерений. Оба измерения с открытой задней крышкой. Прибор устанавливается на кювету. Первое измерение проводится с кюветой, заполненной чистой питьевой водой, второе измерение с кюветой, заполненной исследуемым веществом. Время измерения контролируется по часам.

Внимание! При замерах с открытой задней крышкой необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить тонкую защитную пленку, закрывающую счетчики прибора.

5. Выполнение работы.

5.1. Подготовка к работе

1. Ознакомиться с теоретической частью.
2. Подготовить протокол к работе (табл. 2).
3. Получить задание у преподавателя.
4. Выключатель питания перевести в положение «ВКЛ». На табло индицируется: «0.000», если переключатель режимов работы 3 (см. рис. 1) в положении «МД»; «0000», если переключатель 3 в положении «Т».

5. Проверить исправность прибора. Для этого переключатель 3 поставить в положение «МД» и удерживать кнопку 4 «контр». На табло должны появиться три точки между цифрами. Кратковременно нажать кнопку 5 «пуск» и через 20 ± 5 с, одновременно со звуковым

сигналом высветиться число 1,024. Отпустить кнопку 4 «контр». Если число отличается от указанного, то прибор неисправен.

Установить переключатель 3 в положение «МД» и нажать кнопку 5 «пуск». Если на табло число менее 0,005, то прибор неисправен.

В случае неисправности прибора, следует сообщить об этом преподавателю.

Таблица 2. Протокол к работе.

Определяемая величина	Значение
Мощность экспозиционной дозы \bar{H} , мР/ч	
Число импульсов гамма-излучения N_γ	
Число импульсов гамма- и бета-излучения $N_{\gamma+\beta}$	
Плотность потока бета-излучения с загрязненных поверхностей q , част/см ² мин	
Число импульсов при замере воды $N_{\text{вода}}$	
Число импульсов при замере пробы $N_{\text{проба}}$	
Объемная активность радионуклидов в пробах A_V , Ки/л	

5.2. Порядок работы

Работа в режиме поиск. Поставить переключатель 3 в положение «Т» и кратковременно нажать кнопку 5 «пуск». Через каждые 10 импульсов подается звуковой сигнал, и число импульсов индицируется на цифровом табло 4. При естественном фоне обычно бывает 1–6 импульсов в минуту.

Работа в режиме измерения потока гамма-излучения. Перевести переключатель 3 в положение «МД» и нажать кратковременно кнопку 5 «пуск». Через 20 ± 5 с одновременно с кратковременным сигналом на цифровом табло высветится мощность экспозиционной дозы гамма-излучения \bar{H} , мР/ч. Для увеличения точности измерения провести 3 замера, найти среднеарифметическое значение дозы и занести в протокол к работе.

Примечание: при переполнении всех четырех разрядов табло индикатора 4 (число 9999) повторите измерение и, если опять произошло переполнение, сообщите об этом руководителю и немедленно покиньте помещение!!!

Работа в режиме измерения потока бета-излучения с загрязненных поверхностей. Перевести переключатель 3 в режим работы «МД». Поднести прибор задней плоскостью к исследуемой поверхности на расстояние 0,5–1 см и кратковременно нажать кнопку 5 «пуск». Выполнить 3 замера и найти их среднеарифметическое числа импульсов N_γ .

Открыть заднюю крышку прибора. Аналогично выполнить 3 измерения и вычислить среднеарифметическое числа импульсов $N_{\gamma+\beta}$.

Закрыть заднюю крышку, выключить прибор.

Величину плотности потока бета-излучений с поверхности q (част/см² мин³) вычислить по формуле:

$$q = K_S (N_{\gamma+\beta} - N_\gamma),$$

где K_S – коэффициент счета прибора = 0,5 (част/см² мин·импульс).

Занести результаты в протокол.

Работа в режиме оценки объемной (удельной) активности радионуклидов в пробах веществ. Взять чисто вымытую, сухую кювету и заполнить ее до отметки «Уровень» чистой питьевой водой. Открыть заднюю крышку прибора и установить его на кювету и установить переключатель 3 в положение «Т», нажать кнопку 5 «пуск». Через 10 мин нажать кнопку 7 «стоп» и определить число импульсов $N_{\text{вода}}$.

Примечание: Если показания $N_{\text{вода}} > 1500$ импульсов, то кювету следует промыть в растворе стирального порошка, вытереть насухо (деактивация) и повторить измерения.

Исследуемое вещество засыпать или залить в кювету по отметке «Уровень». Установить прибор на кювету и провести замер числа импульсов $N_{\text{проба}}$. Оценка величины объемной активности A_V (Ки/л) радионуклидов проводится по формуле:

$$A_V = K_{\text{приб}} (N_{\text{проба}}/t_2 - N_{\text{вода}}/t_1),$$

где $t_1 = t_2 = 10$ мин; $K_{\text{приб}} = 3 \cdot 10^2$ Бк·мин/л·импульс – коэффициент прибора.

Если $A_V < 2 \cdot 10^{-7}$ Ки/л ($N_{\text{проба}} - N_{\text{вода}} < 250$ импульсов), необходимо повторить измерение. Если в результате повторных измерений и расчетов $A_V < 10^{-7}$ Ки/л, то оценить объемную радиоактивность невозможно.

5.3. Оценка результатов

На территории России считается безопасной мощность экспозиционной дозы около 15 мР/ч. Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) рекомендует считать предельно допустимую дозу: разового аварийного облучения – 25 бэр; профессионального хронического облучения — до 5 бэр в год; для ограниченных групп населения — 0,5 бэр в год.

При измерениях загрязненности поверхностей нательного и постельного белья, полотенец, лицевых: средств индивидуальной защиты допустимый уровень загрязненности бета-активными радионуклидами считается равным 100 част/см² мин; для верхней одежды и других средств индивидуальной защиты – 200 част/см² мин; для внутренних поверхностей жилых помещений, только 200 част/см² мин. При обнаружении загрязнений выше нормы необходима тщательная стирка и дезактивация одежды и белья и дезактивация помещений с применением синтетических моющих средств, затем новый контроль загрязненности и т.д. до её уменьшения ниже указанных уровней.

При оценке результатов измерения удельной (объемной) активности радионуклидов следует руководствоваться следующими нормативами: радиоактивное загрязнение продуктов питания и кормов составляет $1 \cdot 10^{-7}$ Ки/кг (Ки/л) по изотопу цезий-137. При обнаружении загрязнения продуктов питания рекомендуется обратиться к представителям санитарно-эпидемиологической службы (СЭС) и отказаться от потребления этих продуктов до выдачи заключения компетентными органами.

Контрольные вопросы к работе

1. Что такое радиоактивность?
2. Какие виды радиоактивного излучения Вы знаете?
3. Как воздействует радиационное излучение на живые организмы?
4. Какими физическими параметрами характеризуется излучение?
5. Какие источники ионизирующего излучения Вы знаете?
6. В чем состоит различие в воздействии на биосферу естественной и техногенной радиации?
7. В каких единицах измеряется радиационное излучение?
8. Какие меры обеспечения радиационной безопасности Вы знаете?

Содержание

1. Радиация. Величины, единицы измерения соотношения	3
2. Источники ионизирующего излучения. Внешнее и внутреннее облучение	7
3. Техногенный радиационный фон.....	9
4. Контроль радиационной обстановки с помощью бытового дозиметра-радиометра АНРИ-01-02 «Сосна».....	9
4.1. <i>Технические данные и характеристики</i>	10
4.2. <i>Устройство прибора</i>	10
5. Выполнение работы.....	11
5.1. <i>Подготовка к работе</i>	11
5.2. <i>Порядок работы</i>	12
5.3. <i>Оценка результатов</i>	14
Контрольные вопросы к работе.....	14

Учебное издание

**РАДИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Методические указания

Составители: Вякин Вениамин Николаевич,
Варфоломеева Вера Васильевна,
Терентьев Алексей Владимирович,
Морозов Владимир Васильевич.

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С. П. Королёва
443086, Самара, Московское шоссе, 34