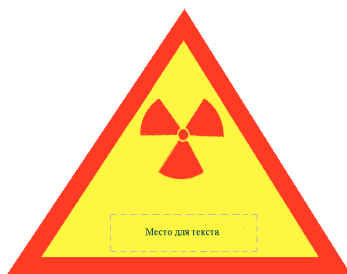


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА»

Г.А. Копунова, В.А. Беляков, А.Н. Иванкин

## **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**



Москва  
Издательство Московского государственного университета леса  
2013

УДК 546  
К18

*Разработано в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом ВО 2015 года по направлению «Стандартизация и метрология» на основе примерной программы дисциплины "Радиационная безопасность "*

Рецензент: профессор кафедры химии и биотехнологии  
лесного комплекса Евдокимов Ю.М.

Работа подготовлена на кафедре стандартизации и сертификации и  
кафедре химии и биотехнологии

**Копунова, Г.А.**

К18 Радиационная безопасность промышленной продукции: учеб.-методич. пособие / Г.А. Копунова, В.А.Беляков, А.Н.Иванкин. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2016. – 36 с.

В учебно-методическом пособии представлены краткое теоретическое описание и варианты лабораторных работ, предназначенные для студентов по направлению «Стандартизация и метрология» при изучении курсов «Аналитическая химия», «Радиационная безопасность» и «Физико-химические методы исследований».

УДК 546

© Г.А. Копунова, В.А.Беляков, А.Н.Иванкин, 2016  
© ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2016

## Предисловие

Программа по учебной дисциплине «Радиационная безопасность промышленной продукции» включает следующие основные разделы.

*Основные физические законы в области ядерной и химической физики.* Размер, состав и заряд атомного ядра, массовое и зарядовое числа, дефект массы и энергии связи ядра; естественная радиоактивность, закон радиоактивного распада, правило смещения, период полураспада, активность радионуклида, альфа-распад, бета-распад, гамма-распад, дозы ионизирующего излучения, техногенные радионуклиды, физические величины в области ядерной физики в системе СИ.

*Биологическое воздействие ионизирующих излучений на человека.* Биологическая доза, электрическое воздействие, физико-химические изменения, химические изменения, биологические эффекты, радиоактивное поражение, критические органы, генетические последствия облучения.

*Закономерности радиоактивного загрязнения* промышленной продукции и природных объектов. Зоны радиоактивного загрязнения почвы, радиоактивное загрязнение леса, экологическая роль леса в защите окружающей среды, методики отбора проб почвы, древесины и воды. Коэффициент перехода радиоактивного загрязнения древесины от степени загрязнения почвы, меры безопасности при работе на загрязненных территориях.

*Безопасность и защита от ионизирующего излучения.* Безопасное использование радиоактивных материалов. Консервация и захоронение радиоактивных отходов. Мероприятия по дезактивации.

*Нормативная документация,* применяемая при радиационных испытаниях продукции. Нормы радиоактивной безопасности. Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96, ГОСТ 50801-95 «Древесное сырье, лесоматериалы, полуфабрикаты и изделия из древесины и древесных материалов. Допустимая удельная активность радионуклидов, отбор проб и методы измерения удельной активности радионуклидов». Допустимая удельная активность радионуклидов, отбор проб, методы измерения и классификация удельной активности радионуклидов, лесопромышленной продукции по назначению и установление допустимых проб радиоактивного загрязнения, критерий принятия решения о годности лесопромышленной продукции по радиоактивному признаку, методика отбора проб образцов.

*Приборы и измерительные комплексы,* применяемые при испытаниях продукции по радиационному признаку. Дозиметрия, принцип работы, профессиональные дозиметры, основные погрешности, радиометрия, радиохимические методы. Спектрометрия, спектрометры с полупроводниковыми и сцинтилляционными чувствительными элементами, принцип действия, программное обеспечение.

*Дозиметрия. Метрологические аспекты сертификации.* Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Виды измерений. Погрешности:

абсолютные, относительные. Класс точности, поверка средств измерений.

*Лабораторные работы по дозиметрии* включают использование типовых дозиметрических приборов:

работа с дозиметром ДРГ по обследованию территорий;

работа с прибором СРП-68 по обследованию помещений;

пробоподготовка почвы для исследования на гамма, бета-спектрометрическом комплексе «Прогресс»;

пробоподготовка для исследования почвы на бета-спектрометре;

проведение испытаний продукции на сцинтилляционном гамма-спектрометре с различной геометрией 2п и 4п;

измерение плотности потока радона на РРА 01.

*Предусматривается выполнение трех контрольных работ:*

закономерности радиоактивного загрязнения промышленной продукции и природных объектов;

нормативная документация, применяемая при радиационных испытаниях промышленной продукции и природных объектов;

метрологические аспекты радиационных испытаний.

*Темы рефератов.*

Основные физические законы в области ядерной физики.

Биологическое воздействие ионизирующих излучений на человека.

Изотопы. Дозиметрия.

Безопасность проведения дозиметрических испытаний.

Защита от ионизирующих видов излучения.

## Явление радиоактивности

*Строение атома.* Атом состоит из положительно заряженного ядра и движущихся вокруг него отрицательно заряженных электронов ( $\bar{e}$ ); атом в целом электрически нейтрален. Ядро состоит из протонов и нейтронов. Диаметр ядра  $\sim 10^{-12}$  см.

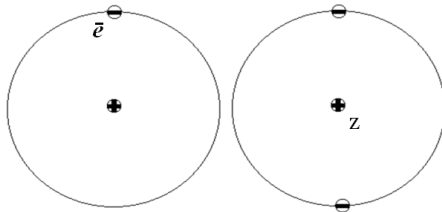


Рис. 1. Атом Н, атом He

Химическая природа атома определяется положительным зарядом ядра, т.е. его *атомным номером* (номер ячейки в таблице Д.И.Менделеева).

Атомный номер – число протонов в ядре, или заряд ядра; обозначается символом  $Z$ .

*Массовое число* – общее число протонов и нейтронов в ядре; обозначается символом  $A$ . Число нейтронов в ядре равно  $A-Z$ .

*Протон* – элементарная частица с положительным зарядом, равным заряду электрона, массой 1,0076 а.е.м. ( $1,67 \cdot 10^{-24}$  г).

*Нейтрон* – незаряженная элементарная частица массой 1,0089 а.е.м.

*Изотопы* – разновидности одного и того же химического элемента, обладающими одинаковыми  $Z$ , но разными  $A$ .

*Теория радиоактивных превращений* (1903 г. Резерфорд, Содди).

1. Испускание ионизирующего излучения свидетельствует о превращении атомов одного химического элемента в атомы другого.

2. В начальном состоянии радиоактивный атом неустойчив, и, испуская частицы, переходит в более устойчивое состояние.

3. Активность радиоактивного вещества характеризуется числом атомов, распадающихся в единицу времени. Радиоактивный распад подчиняется закону:  $N_t = N_0 e^{-\lambda t}$ , где  $N_t$  – число атомов в образце на момент времени  $t$ ;  $N_0$  – число атомов в образце в начальный момент времени;  $\lambda$  – коэффициент пропорциональности (постоянная распада).

Постоянная распада  $\lambda$  имеет определенное значение для каждого активного изотопа. В единицу времени распадается известная часть общего числа радиоактивных атомов, но нельзя указать момент, в который испытывает радиоактивное превращение данный атом. Существует только некоторая, постоянная во времени вероятность того, что данный атом распадется. Длительность жизни атома может иметь любую величину, от нуля до бесконечности. Среднее время жизни радиоактивного атома равно  $1/\lambda$ . Время, в течение которого активность вещества уменьшится до половины начальной активности:  $T_{1/2} = 0,693/\lambda$ .

*Ионизация* – процесс образования разделенных электрических зарядов под воздействием излучения. Процесс образования положительного иона состоит в отрыве электрона с электронной оболочки нейтрального атома, для чего необходимо затратить энергию. Для большинства атомов

эта энергия лежит в пределах 9 – 15 эВ. Если энергия, переданная атому, меньше энергии, необходимой для вырывания электрона, то ионизации не происходит. В этом случае может происходить возбуждение атома. Возбужденный атом обладает избытком энергии, которая освобождается в виде излучения (обычно ультрафиолетового) при возвращении атома в нормальное состояние.

Электрон, вырванный из атома в результате ионизации, как правило, не остается в свободном состоянии, он «прилипает» к нейтральному атому или нейтральной молекуле, образуя отрицательный ион. Таким образом, в обычных условиях ионы образуются парами. Возникшие ионы исчезают в результате рекомбинации, т.е. процесса воссоединения отрицательных и положительных ионов, при котором образуются нейтральные атомы или молекулы.

*Ионизирующие излучения.* Ионизирующими называются излучения, которые прямо или косвенно способны ионизировать среду. К ним относятся рентгеновское и  $\gamma$ -излучения, а также излучения, состоящие из потоков заряженных или нейтральных частиц, обладающих достаточными для ионизации энергиями. Электромагнитное ионизирующее излучение (фотоны): гамма-излучение, рентгеновское излучение.

*Альфа-частицы – положительно заряженные ядра гелия.* Они обладают большой ионизирующей и малой проникающей способностью. Наиболее проникающие  $\alpha$ -частицы могут пройти слой воздуха при нормальном атмосферном давлении не более 11 см или слой воды до 150 мкм.

*Бета-частицы – это электроны.* Проникающая способность их значительно выше, чем  $\alpha$ -частиц. Наиболее быстрые  $\beta$ -частицы могут пройти слой алюминия до 5 мм. Ионизирующая способность их меньше чем  $\alpha$ -частиц.

*Рентгеновское излучение, гамма-излучение или  $\gamma$ -кванты* – электромагнитное излучение высокой энергии – обладает большой проникающей способностью, изменяющейся в широких пределах. Ионизирующая способность значительно меньше, чем  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц.

*Нейтроны – нейтральные частицы,* обладающие большой проникающей способностью. Ионизирующая способность меньше, чем  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц.

*Протоны – положительно заряженные ядра водорода.* При одинаковой энергии с  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами протоны занимают промежуточное положение между ними по проникающей и ионизирующей способностям.

*Космическое излучение* – излучение, приходящее на Землю из космического пространства. До поверхности Земли космическое излучение доходит значительно преобразованным в результате его взаимодействия с атмосферой. Первичное космическое излучение состоит в основном из протонов и ядер тяжелых элементов. В результате их взаимодействия с

воздухом возникают мезоны, электроны, нейтроны и т.д. Космическое излучение обладает очень большой проникающей способностью.

*Изобары* – атомы с одинаковым массовым числом  $A$ , но разным атомным номером  $Z$  (принадлежат к разным химическим элементам)

*Радиоактивность* – свойство нестабильных изотопов (радиоизотопов) к самопроизвольному распаду. Испускание альфа- или бета-частиц приводит к изменению заряда ядра и химических свойств атома. Испускание альфа-частиц уменьшает атомный номер на 2 единицы и массовое число – на 4 единицы; при испускании бета-частицы атомный номер возрастает на 1, а массовое число остается неизменным. Отношение числа нейтронов к числу протонов в ядре стабильного изотопа находится в определенных пределах, возрастая от 1 до 1,56 к концу периодической системы. У нестабильных ядер отношение числа нейтронов к числу протонов больше 1,56 и они распадаются, переходя в более устойчивое состояние.

*Корпускулярное ионизирующее излучение (поток частиц):*  $\alpha$ -излучение,  $\beta$ -излучение, нейтронное излучение.

Существует 3 радиоактивных ряда (семейства): урана – радия, тория и актиния. В каждом ряду со временем атомы претерпевают последовательные радиоактивные распады, испуская либо  $\alpha$ -, либо  $\beta$ -частицы (вместе с  $\gamma$ -излучением или без него) и превращаясь в атомы других химических элементов. Испускание  $\alpha$ -частицы (комплекс 2 протона и 2 нейтрона) уменьшает число частиц в ядре (массовое число  $A$ ) на 4 и число положительных частиц в ядре (атомный номер  $Z$ ) на 2. Испускание  $\beta$ -частицы не изменяет число частиц в ядре, но  $Z$  возрастает на 1 (превращение нейтрона в протон и электрон, вылетающий из ядра). Т.к. химическая природа атома определяется  $Z$ , то испускание  $\beta$ -частиц превращает его в атом соседнего элемента.

Существование в природе этих трех рядов определяется наличием в каждом случае родоначального вещества, время жизни которого (период полураспада  $T_{1/2}$ ) сравним с возрастом Земли (от 3 до  $4 \cdot 10^9$  лет). Уран ( $^{238}\text{U}$ ) с  $T_{1/2} = 4,51 \cdot 10^9$  лет – родоначальник уран-радиевого ряда. Актиниоуранин (изотоп  $^{235}\text{U}$ ) с  $T_{1/2} = 7,13 \cdot 10^8$  лет – родоначальник ряда актиния. Торий ( $^{232}\text{Th}$ ) с  $T_{1/2} = 1,39 \cdot 10^{10}$  лет – исходный элемент ториевого ряда. Стабильными конечными продуктами в каждом ряду превращений являются изотопы свинца, соответственно,  $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}$ .

*Калий-40* ( $^{40}\text{K}$ ) тоже природный радиоактивный элемент,  $T_{1/2}$  которого составляет  $1,28 \cdot 10^9$  лет. Калий испускает  $\beta$ -частицы с максимальной энергией 1,314 МэВ (89% актов распада).  $^{40}\text{K}$  содержится в земной коре, в изверженных породах, в осадочных породах, в различных почвах, в воде океанов, в рационе человека. Наибольшее количество  $^{40}\text{K}$  в головном мозге и клетках крови. Средняя мощность поглощенной дозы в мягких тканях составляет 19 мрад/год (17 мрад/год за счет  $\beta$ -излучения и 2 мрад/год за

счет  $\gamma$ -излучения). У взрослого мужчины на 1 кг веса приходится 2 г калия, т.е. 59 Бк/кг. Считается, что излучение  $^{40}\text{K}$  в миокарде необходимо для стимуляции автоматических сокращений сердечной мышцы. Схема распада 40-изотопа калия:  $^{40}\text{K} \rightarrow ^{40}\text{Ca}$  (кальций, стабильный) +  $^{40}\text{Ar}$  (аргон, стабильный).

Схема распада  $^{235}\text{U}$ :  $^{235}\text{U}$  (уран,  $T_{1/2} = 7,038 \cdot 10^8$  лет,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{231}\text{Th}$  (торий,  $T_{1/2} = 25,5$  часа,  $\beta$ )  $\rightarrow$   $^{231}\text{Pa}$  (протактиний,  $T_{1/2} = 3,26 \cdot 10^4$  лет,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{227}\text{Ac}$  (актиний,  $T_{1/2} = 21,7$  сек,  $\beta$ ,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{227}\text{Th}$  (торий,  $T_{1/2} = 18,7$  сут,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{223}\text{Ra}$  (радий,  $T_{1/2} = 11$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{219}\text{Rn}$  (радон,  $T_{1/2} = 3,96$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{215}\text{Po}$  (полоний,  $T_{1/2} = 0,002$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{211}\text{Po}$  (полоний,  $T_{1/2} = 0,5$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{207}\text{Pb}$  (свинец, стабильный).  $^{223}\text{Fr}$  (франций,  $T_{1/2} = 21,8$  мин,  $\beta$ )  $\rightarrow$   $^{223}\text{Ra}$  (радий,  $T_{1/2} = 11,4$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{219}\text{Rn}$  (радон,  $T_{1/2} = 3,96$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{215}\text{Po}$  (полоний,  $T_{1/2} = 0,002$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{211}\text{Po}$  (полоний,  $T_{1/2} = 0,5$  сек,  $\alpha$ )  $\rightarrow$   $^{207}\text{Pb}$  (свинец, стабильный).

*Стронций* ( $^{90}\text{Sr}$ ).  $^{90}\text{Sr}$  (стронций,  $T_{1/2} = 29$  лет,  $\beta$ )  $\rightarrow$   $^{90}\text{Y}$  (иттрий,  $T_{1/2} = 64$  ч,  $\beta$ )  $\rightarrow$   $^{90}\text{Zr}$  (цирконий, стабильный).  $^{90}\text{Sr}$  – чистый  $\beta$ -излучатель ( $E = 0,54$  МэВ) с периодом полураспада 28,6 лет. По своим химическим свойствам  $^{90}\text{Sr}$  является аналогом кальция. Основным источником поступления  $^{90}\text{Sr}$  человеку является пища растительного происхождения, стронций может поступать в организм также через легкие и кожу. Независимо от ритма и пути поступления в организм растворимые соединения  $^{90}\text{Sr}$  избирательно накапливаются и прочно удерживаются в скелете. Это приводит к облучению не только костей и костного мозга, но и окружающих тканей. В минеральном веществе костной ткани  $^{90}\text{Sr}$  распределяется равномерно. При поступлении  $^{90}\text{Sr}$  в организм доза формируется в течение многих лет. При поступлении в организм  $^{90}\text{Sr}$  активностью 74 – 185 МБк развиваются острые поражения легкой, средней и тяжелой степени с типичной картиной кроветворной формы острой лучевой болезни. В отдаленные сроки после поражения, как при однократном, так и при длительном поступлении стронция развиваются опухоли костей, лейкозы.

*Йод* ( $^{131}\text{I}$ ).  $^{131}\text{I} \rightarrow \beta \rightarrow ^{131}\text{Xe}$  (стабильный). Все 20 радиоактивных изотопа йода ( $^{120}\text{I} - ^{139}\text{I}$ ) образуются в атомном реакторе или при ядерном взрыве. Наибольшую опасность представляет  $^{131}\text{I}$ .  $^{131}\text{I}$  – является  $\beta$  и  $\gamma$ -излучателем с  $E_{\beta} = 0,250 - 0,812$  МэВ,  $E_{\gamma} = 0,080 - 0,722$  МэВ с периодом полураспада 8 сут. Основным источником поступления  $^{131}\text{I}$  является пища растительного и животного происхождения. Независимо от пути поступления в организм  $^{131}\text{I}$  избирательно накапливаются в щитовидной железе (ЩЖ). Через сутки после поступления в ЩЖ регистрируется 22–40% йода, поступившего в организм. Особенно большие дозы формируются в ЩЖ у детей, что связано с малыми размерами органа, и могут в 2–10 раз превышать дозы облучения у взрослых. Величина поглощенной дозы в ЩЖ на 37 кБк (1 мкКи) введенного количества  $^{131}\text{I}$  составляет 0,017 Гр для взрослого человека. Острые поражения легкой, средней и тяжелой степени можно ожидать при пероральном поступлении  $^{131}\text{I}$  в количествах 55, 18 и



5 МБк/кг массы тела. Развиваются узловатые зобы, доброкачественные аденомы и злокачественные карциномы. Радиационный риск развития рака ЩЖ составляет  $8 \cdot 10^{-3}$  при облучении в дозе 1 Гр. Скрытый период образования опухолей ЩЖ у взрослых людей может составить 25–40 лет, а у детей – около 10 лет и меньше.

*Цезий* ( $^{137}\text{Cs}$ ).  $^{137}\text{Cs} \rightarrow \beta \rightarrow ^{137}\text{Ba}$  (стабильный). Образуется в атомном реакторе и попадает в окружающую среду при авариях.  $^{137}\text{Cs}$  –  $\beta$ -излучатель с  $E_{\beta} = 0,51$  МэВ (92%) и 1,2 МэВ (8%) с периодом полураспада 30 лет. Продукт распада  $^{137}\text{Cs}$  – возбужденный  $^{137}\text{Ba}$  с периодом полураспада 2,5 мин, испускает  $\gamma$ -кванты с энергией  $E_{\gamma} = 0,662$  МэВ. Основным путем поступления  $^{137}\text{Cs}$  в организм человека является пища. Цезий может поступать в организм также через легкие, ожоговые и раневые поверхности. Через неповрежденную кожу резорбируется 0,007% нанесенного количества  $^{137}\text{Cs}$ , через обожженную – 21% и через раневые поверхности – 90%. При пероральном поступлении  $^{137}\text{Cs}$ , организм подвергается относительно равномерному облучению. Значение ингаляционного поступления в 100 раз меньше пищевого.  $^{137}\text{Cs}$  в значительных количествах переходит из организма матери через плаценту в плод. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в плоде примерно в 5 раз ниже, чем в теле матери. Острые эффекты при инкорпорации  $^{137}\text{Cs}$  у человека наблюдаются при поступлении 1 ГБк радионуклида, которые соответствуют дозе внешнего облучения 4–6 Гр и напоминают картину ОЛБ при внешнем облучении, но несколько растянутую во времени. Риск индуцирования опухолей от  $^{137}\text{Cs}$  составляет  $1,25 \cdot 10^{-4}$  Гр $^{-1}$ .

*Углерод* ( $^{14}\text{C}$ ).  $^{14}\text{C} \rightarrow \beta \rightarrow ^{14}\text{N}$ . Углерод ( $^{14}\text{C}$ ) – чистый  $\beta$ -излучатель ( $E = 0,15$  МэВ) с периодом полураспада 5730 лет. Природный  $^{14}\text{C}$  образуется в верхних слоях атмосферы при взаимодействии нейтронов космического излучения с ядрами стабильных атомов азота. Техногенный  $^{14}\text{C}$  образуется в атомном реакторе и при взрыве ядерных бомб. В атмосфере содержится в виде диоксида  $\text{CO}_2$ , а в океане в виде бикарбонатов. Наибольшая концентрация  $^{14}\text{C}$  (75%) в жировой ткани. В костной ткани по данным разных авторов – от 13 до 27,8%, в мягких тканях 12%. Поглощенные годовые дозы в теле человека за счет изотопа  $^{14}\text{C}$  около 1,02 мрад. Человек усваивает  $^{14}\text{C}$  по пищевым цепочкам преимущественно перорально. Острые поражения наблюдаются при введении  $^{14}\text{C}$  животным в количестве 6 МБк/г массы (среднетканевая поглощенная доза 8–11 Гр). Радиационные поражения легкой и средней тяжести регистрируются при введении 1–3 МБк/г массы тела соответственно. Клиническая картина сходна с костномозговой формой радиационного поражения. Особо опасен  $^{14}\text{C}$  при внутреннем поступлении: встраиваясь в молекулы ДНК и РНК и превращаясь при распаде в другой химический элемент, может изменить генетический код (трансмутационный эффект). Повреждающее действие связано с изменением химического состава молекул за счет превращения атома углерода в атом азота ( $^{14}\text{N}$ ).

*Радон и радиоактивные продукты его распада* вносят основной вклад в радиационный фон жилых и производственных помещений. Вдыхание радона в помещениях обуславливает эффективную дозу облучения (ЭД) в среднем около одного мЗв в год, т.е. половину дозы облучения людей от всех природных источников. В отдельных домах (сооружениях) содержание Rn в воздухе может быть многократно повышено. Некоторые люди, не подозревая об этом, в течение жизни систематически получают за счет радона ЭД в десятки мЗв/год. По данным ООН, не менее 10% регистрируемых ежегодно в мире заболеваний раком легких вызваны радоновой радиацией. Этот же радиоактивный газ существенно повышает риск нераковых заболеваний верхних дыхательных путей и сердечнососудистых заболеваний. Именно поэтому проблема радона занимает важное место. Для ограничения воздействия радона-222 установлено, что в проектируемых зданиях активность в воздухе д.б. не более  $100 \text{ Бк/м}^3$ , мощность дозы не более  $30 \text{ мкР/ч}$ . Эксплуатируемые, жилые помещения: активность в воздухе не более  $200 \text{ Бк/м}^3$ . При более высоких уровнях, а также при превышении мощности дозы на открытой местности более чем на  $20 \text{ мкР/ч}$  необходимо проводить мероприятия по снижению поступления радона в воздух помещений.

### **Основные понятия, единицы и термины в области радиационной безопасности, радиобиологические эффекты**

Для измерения активности радиоактивного вещества в СИ установлена единица – *беккерель* (Бк),  $1 \text{ Бк} = 1 \text{ распад/с}$ .

Внесистемная единица активности – *кюри* (Ки),  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

*Период полураспада* ( $T_{1/2}$ ) – время, в течение которого распадается половина всех атомов радиоактивного вещества.

*Правила написания физических величин:*

*беккерель* (в честь Анри Беккереля) – Бк;

*зиверт* (Рольф Зиверт) – Зв;

*кюри* (Мария Кюри) – Ки;

*рентген* (Вильгельм Конрад Рентген) – Р;

*кулон* (Шарль Кулон) – Кл;

*кельвин* (Уильям Кельвин), температура – К.

Энергия излучения измеряется в специальных единицах – электронвольтах (эВ) и кратных единицах – килоэлектронвольтах ( $1 \text{ кэВ} = 1 \cdot 10^3 \text{ эВ}$ ) и мегаэлектронвольтах ( $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ).  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ ,  $1 \text{ кэВ} = 1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$ .  $1 \text{ МэВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$ .

*Основные дозиметрические величины.*

*Поглощенная доза.* Единица названа *грей* в честь английского физика Луиса Гарольда Грея, сделавшего открытия в области дозиметрии.  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ .

Ранее использовалась отмененная в настоящее время единица рад:  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 10^{-2} \text{ Гр}$ . Отменена единица измерения экспозиционной дозы гамма-излучения рентген (Р), названная в честь немецкого физика Вильгельма Конрада Рентгена (1845–1923). Для жесткого гамма-излучения  $1 \text{ Р} \approx 0,965 \text{ рад} = 0,95 \cdot 10^{-2} \text{ Гр}$ .

*Единица экспозиционной дозы гамма-излучения* рентген (Р). Для жесткого рентгеновского и гамма-излучения  $1 \text{ Р} = 0,965 \text{ рад}$ .

*Доза эквивалентная* (Н) – поглощенная доза (D) в органе или ткани, взвешенная по качеству с точки зрения особенностей биологического действия данного вида излучения. Эквивалентная доза равна поглощенной, умноженной на соответствующий коэффициент для каждого вида облучения. Единица измерения – зиверт (Зв);  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$ . Внесистемная единица – бэр;  $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$  ( $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ ).

Установлены взвешивающие коэффициенты (весовой множитель, используемый для перевода поглощенной дозы в эквивалентную, называемый весовым множителем излучения  $W_R$ , ранее – фактор качества) для отдельных видов излучения при расчете эквивалентной дозы: фотоны, электроны, мюоны любых энергий (в т.ч. рентгеновское излучение)  $W_R = 1$ ; нейтроны энергий менее 10 кэВ и более 2 МэВ  $W_R = 5$ ; от 10 кэВ до 100 кэВ и от 2 МэВ до 20 МэВ –  $W_R = 10$ ; от 100 кэВ до 2 МэВ –  $W_R = 10$ ; протоны, энергия более 2 МэВ  $W_R = 5$ ;  $\alpha$ -частицы, осколки деления, тяжелые ядра –  $W_R = 20$ . Эквивалентная доза конкретной ткани рассчитывается как сумма произведений поглощенных доз, усредненных по данной ткани от каждого вида излучения, на соответствующий весовой множитель излучения:  $H = \sum D_R \cdot W_R$

*Эффекты радиационные* (детерминированные, стохастические, соматические, наследственные): Детерминированные (ранее обозначавшиеся как нестохастические) – эффекты излучения, для которых существует дозовый порог, выше которого тяжесть этого эффекта повышается с увеличением дозы.

*Острая лучевая болезнь* (ОЛБ) – пример детерминированного эффекта. Порог – 1 Гр.

Стохастические – вероятностные биологические эффекты, для которых предполагается отсутствие дозового порога их возникновения. Принимается также, что вероятность возникновения этих эффектов пропорциональна величине воздействующей дозы, а тяжесть их проявления не зависит от дозы. При облучении человека к стохастическим эффектам относят злокачественные опухоли и наследственные заболевания.

Соматические – детерминированные и стохастические биологические эффекты, возникающие у облученного индивидуума.

Наследственные – стохастические эффекты, проявляющиеся у потомства облученного индивидуума.

Лучевая болезнь – общее заболевание организма, развивающееся

вследствие воздействия ионизирующего излучения. Различают острую лучевую болезнь (ОЛБ) и хроническую лучевую болезнь (ХЛБ) различной степени тяжести.

Для жесткого гамма-излучения  $1 \text{ Р} \approx 1 \text{ рад} \approx 1 \text{ бэр}$ ,  $100 \text{ Р} \approx 1 \text{ Гр} \approx 1 \text{ Зв}$ ,  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$ ,  $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ .

### Прогноз радиационной опасности

Т а б л и ц а 1

Радиационные аварии и инциденты с лучевыми поражениями на территории России и бывшего СССР (на декабрь 2004 г.)

Аварийный объект	Количество инцидентов	Пострадавшие с клиническими симптомами, чел.	
		Всего	В т.ч. умерших
Радиоизотопные установки излучений	92	170	16
Рентгеновские установки и ускорители	39	43	–
Реакторы и потеря контроля над критичностью делящегося материала (без аварии ЧАЭС 1986 г.)	33	82	13
ЧП на предприятиях ПО «Маяк» (1949)	168	168	–
Атомные подводные лодки	4	133	12
Другие объекты	12	12	2
Всего (без Чернобыльской аварии 1986 г.)	348	613	43
Чернобыльская авария 1986 г.	1	134	28
<b>ИТОГО</b>	<b>349</b>	<b>349</b>	<b>1</b>

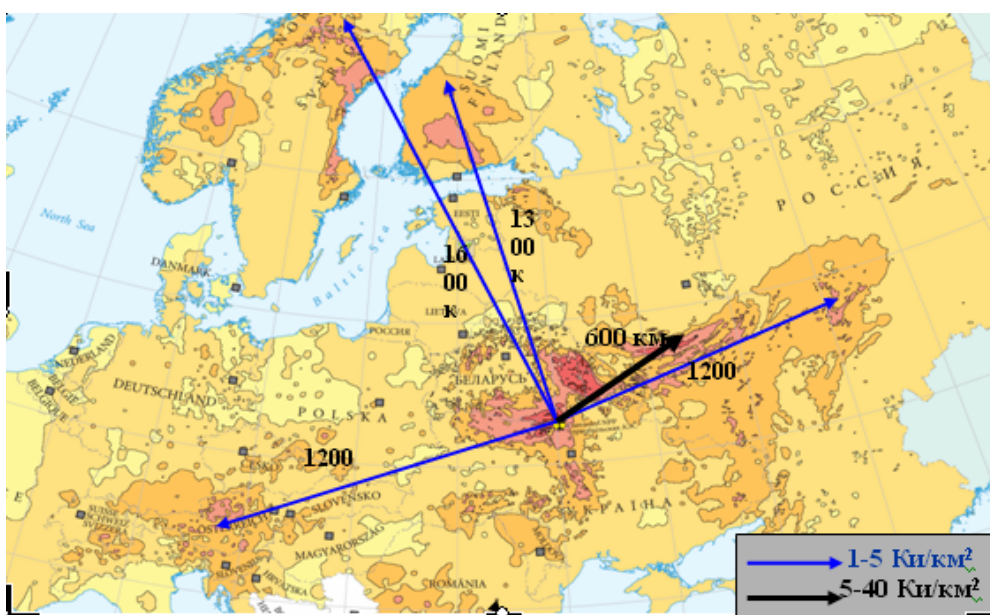


Рис. 1. Радиационные последствия в результате Чернобыльской аварии по материалам доклада ООН за 2000 год

Т а б л и ц а 2

Площадь территорий в европейских странах, загрязненных в результате  
Чернобыльской аварии, км<sup>2</sup>

Страна	Расстояние от ЧАЭС, км	Площадь загрязненной территории (км <sup>2</sup> ) при плотность загрязнения (Ки/км <sup>2</sup> )			
		от 1 до 5	от 5 до 15	от 15 до 40	Свыше 4
Россия	140	49800	5700	> 2100	> 300
Белоруссия	20	29900	10200	4200	2200
Украина	ЧАЭС	37200	3200	900	600
Швеция	~ 1000	12000	—	—	—
Финлндия	~ 1000	11500	—	—	—
Австрия	~ 1000	8600	—	—	—
Норвегия	~ 2000	5200	—	—	—
Болгария	850	4800	—	—	—
Швейцария	~ 1000	1300	—	—	—
Греция	~ 1000	1200	—	—	—
Словения	~ 1000	300	—	—	—
Италия	~ 1000	300	—	—	—
Молдавия	370	60	—	—	—

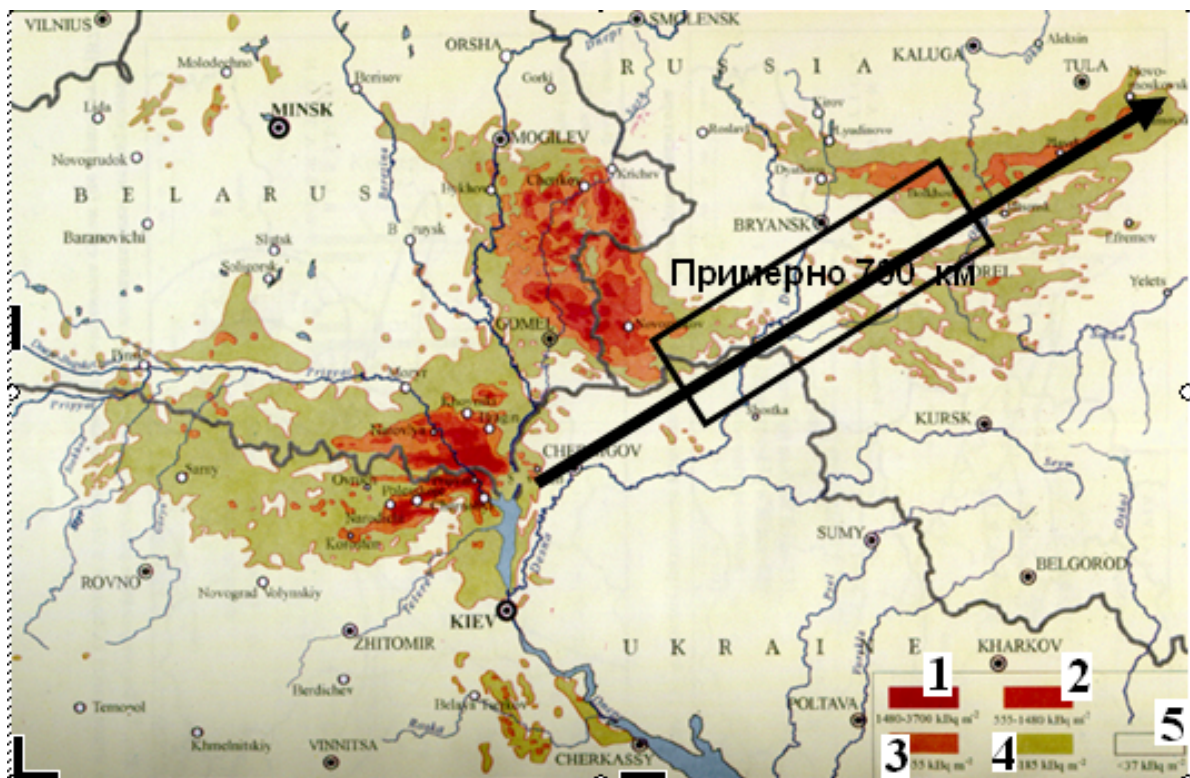


Рис. 2. Площади загрязнения России для различных значений цезия-137 (в км<sup>2</sup> / % от всей площади области) после аварии на ЧАЭС. Активность территории, кВк/м<sup>2</sup>: 1 – до 3700, 2 – до 1500, 3 – до 500, 4 – до 185, 5 < 40

*Масштабы аварии на ЧАЭС.* По данным НКДАР ООН, 2000 г. 237 чел. госпитализированы с синдромами ОЛБ; диагноз подтвержден у 134 (28 погибли). Сведения о распространении выброса за пределы СССР поступили 27 апреля 1986 г. из Швеции и Финляндии, 28.04.86 выброс достиг ГДР, 29.04 – ВНР, 30.04 – Италии, 1.05 – Швейцарии и Бельгии, 2.05 – Великобритании, 3.05 – Турции и Японии, 4.05 – Китая, 5.05 – Канады и США.

Уровни радиации в Западном и Северном районах самой ЧАЭС превышали 100 000 мкР/ч (обычный радиационный фон в Москве составляет около 10 мкР/ч). Максимальные уровни радиации через 15 дней после аварии составили 5 000 мкР/ч на расстоянии 60 км от АЭС; в Киеве в начале мая 1986 г. уровни радиации достигали 800 мкР/ч (норма ~ 20 мкР/ч).

В 1986–1987 гг. вокруг ЧАЭС работало около 200 тыс. ликвидаторов, численность воинских формирований составила около 40 тыс. человек. 116 тыс. чел. эвакуированы сразу после аварии (у 10% доза была более 5 бэр; у 5% – свыше 10 бэр). 786 населенных пунктов (272800 чел.) оказались в «районах строгого контроля». До января 1990 г. средние дозы для этих жителей составили примерно 5 бэр; некоторые могли получить дозу свыше 17 бэр).

На загрязненных территориях Белоруссии, Украины и России проживает более 5 млн. жителей. Около 600 тысяч человек (гражданских и военных) получили специальное удостоверение, подтверждающее их статус «ликвидаторов» (участников восстановительных работ). Из них примерно 240 тысяч были военнослужащими.

Т а б л и ц а 3

Состав основных радионуклидов в выбросе при аварии на ЧАЭС

Радио- нуклид	Период полурас- пада	Кол-во в активной зоне, 10 <sup>15</sup> Бк	Содер- жание в выбросе, %	Радио- нуклид	Период полу- распада	Кол-во в активной зоне, 10 <sup>15</sup> Бк	Содер- жание в выбросе, %
<sup>85</sup> Kr	10,72 сут	28	~100	<sup>106</sup> Ru	368 сут	860	3,5
<sup>133</sup> Xe	5,25 лет	6510	~100	<sup>140</sup> Ba	12,7 сут	6070	2,8
<sup>131</sup> I	8,04 сут	3080	54	<sup>141</sup> Ce	32,5 сут	5550	3,5
<sup>132</sup> Te	3,26 сут	4480	9,1	<sup>144</sup> Ce	284 сут	3920	3,5
<sup>137</sup> Cs	30,0 лет	260	31,7	<sup>239</sup> Np	2,36 сут	58100	2,9
<sup>134</sup> Cs	2,06 лет	170	25,9	<sup>238</sup> Pu	87,74	1,3	2,3
<sup>89</sup> Sr	50,5 сут	3960	2	<sup>239</sup> Pu	24065	0,95	3,2
<sup>90</sup> Sr	29 лет	230	3,5	<sup>240</sup> Pu	6537	1,5	2,9
<sup>95</sup> Zr	64,0 сут	5850	2,8	<sup>241</sup> Pu	14,4 лет	180	3,3
<sup>103</sup> Ru	39,3 сут	3770	4,5	<sup>242</sup> Cm	163 сут	43	2,2

Т а б л и ц а 4

Последствия выброса радионуклидов при аварии на ЧАЭС для некоторых районов Российской Федерации

Республика и области	Расстояние от ЧАЭС, км	Плотность загрязнения Ки/км <sup>2</sup>			
		От 1 до 5	от 5 до 15	От 15 до 40	Свыше 40
Молдовия	1000	1630 / 6			
Брянская	200	6750 / 20	2630/8	2130/6	310/1
Калужская	400	3500/12	1413/5		
Ленинградская	1000	850/1			
Орловская	400	8840/35	132/1		
Пензенская	1000	4130/10			
Саратовская	1000	150/13			
Тамбовская	700	510/2			
Тульская	500	10320/40	1270/5		
Ульяновская	1100	1060/3			

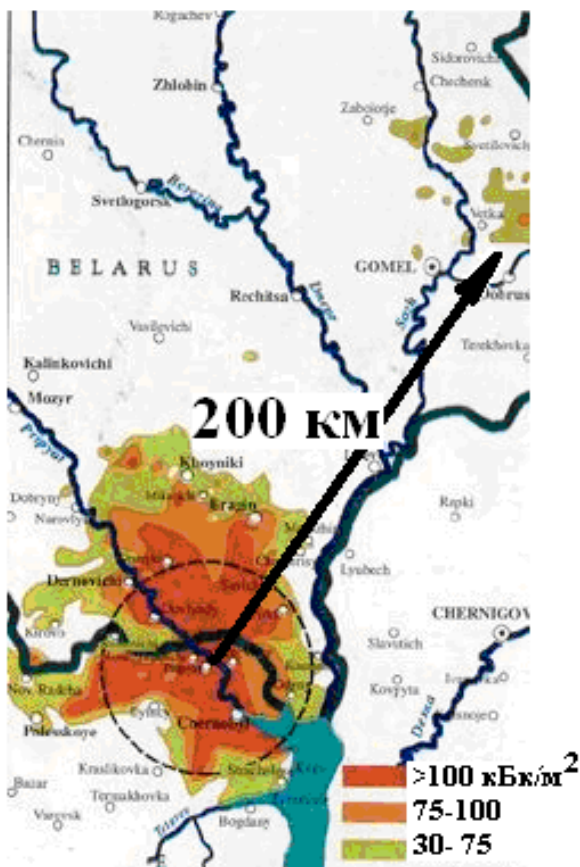


Рис. 3. След стронция – 90 после аварии на ЧАЭС, круг 30 км



Рис. 4. След плутония – 239, 240 после аварии на ЧАЭС, круг 30 км

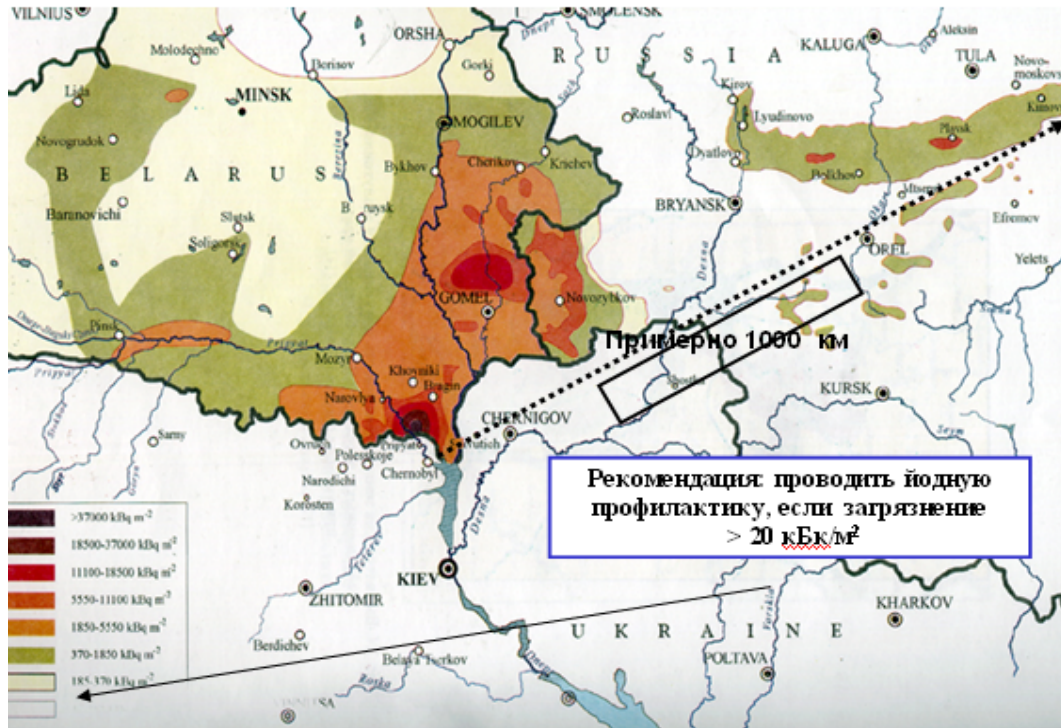


Рис. 5. Загрязнение территории радиоизотопом  $^{131}\text{I}$  после аварии на ЧАЭС. 8 зон с активностью от менее 185 до более 37000 кБк/м<sup>2</sup>

Выдвинутая концепция позволяет разделить территорию России на следующие зоны: «зону высокой радиационной опасности», «зону повышенной радиационной опасности», «зону потенциальной радиационной опасности» и «зону безопасности»



Рис. 6. Прогнозируемые зоны опасности от возможных аварий на АЭС



## Защита от внешнего ионизирующего излучения и радиоактивных материалов

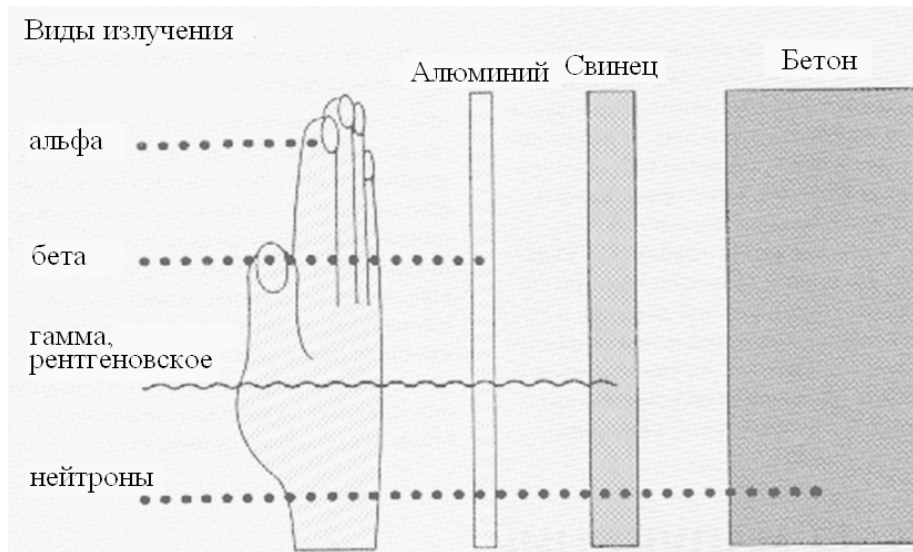


Рис. 7. Проникающая способность различных видов излучения

*Принципы радиационной защиты. Защита "временем"* – уменьшение времени, проведенного в поле излучения источника.

*Защита "расстоянием"* – максимальная дистанция до источника: организация работы на расстоянии, использование манипуляторов и другого инструмента

*Минимизация количества радиоактивного вещества на рабочем месте.*

Использование всех возможных *средств защиты*: защитных экранов, боксов, средств индивидуальной защиты (СИЗ).

*Предотвращение загрязнения поверхностей.* Легче предотвратить загрязнение поверхности, чем ее дезактивировать. В производственных условиях – снимаемые полимерные покрытия. При небольших объемах работ – временные покрытия: бумага, полимерные пленки.

*Создание санитарного пропускника на пути к месту проведения работ.*

Обязательное полное переодевание – при входе; обязательное снятие спецодежды и других использованных СИЗ и проведение полной санитарной обработки – при выходе; организация отправки на дезактивацию загрязненных СИЗ; осуществление радиометрического контроля эффективности санитарно-пропускного режима и радиационной обстановки. Дезактивация поверхностей помещений. 95% загрязнения находится на полу

*Растворы из Санитарных правил по дезактивации СИЗ:* Наиболее доступный – 1% раствор стирального порошка.

*Порядок дезактивации:* убрать самые грязные места, далее по принципу "от чистого к грязному", через 10 м<sup>2</sup> менять раствор и тряпку,

тщательно промыть водой в том же порядке, проверить загрязненность помещений с помощью прибора, при необходимости повторить обработку участков, остаточное загрязнение которых превышает установленный допустимый уровень

Дезактивацию кожных покровов нужно проводить не позже, чем через 6 часов после загрязнения.

*Основные средства для дезактивации* – банное или туалетное мыло, щетка, мочалка; температура воды 35–40°С. Не применять средства, обладающие абразивным эффектом, а также органические растворители (эфир, этиловый спирт, ксилол и т.п.). Дезактивацию локального загрязнения рук, головы и лица целесообразно проводить над раковиной под струей теплой воды с применением туалетного мыла и щетки. После отмыва локально загрязненных участков кожи целесообразно провести общую санитарную обработку тела под душем с применением банного или туалетного мыла и мягкой мочалки. После прохождения душа обязательно проверяется полнота дезактивации тела с помощью дозиметрических приборов.

Т а б л и ц а 5

Защита органов дыхания от радиации предметами личного пользования

Предмет	Во сколько раз снижается поступление
Мужской носовой х/б платок	2,7–17
Туалетная бумага	12 (2 слоя)
Махровое полотенце	4
Х/б рубашка	1,5–2,9
Платьевой бумажный материал	1,9–2,3
Женский х/б носовой платок	2,2–2,7

*Порядок проведения санитарной обработки.* Дезактивацию загрязненных рук, головы и лица проводят над раковиной струей теплой воды (30–32°С). Тщательное мытье рук водой с мылом на 70–90% снижает количество радиоактивных веществ на коже. После отмыва локально загрязненных участков кожи проводят общую санитарную обработку тела под душем с мылом и мягкой мочалкой. После душа проверяется эффективность дезактивации с помощью радиометрических приборов. Измерения следует проводить на сухой коже. Если остаточная загрязненность кожи превышает допустимую величину, то дезактивацию повторяют, но не более трех раз. Для удаления с отдельных участков кожи РВ, которые не удалось удалить трехкратной обработкой с применением мыла, применяют

специальные средства, например, препарат "Защита", а при его отсутствии – с помощью густой суспензии (кашицы) из моющего средств (стирального порошка).

Т а б л и ц а 6

Допустимые уровни радиоактивного загрязнения рабочих поверхностей, кожи, спецодежды и СИЗ, част/(мин·см<sup>2</sup>)

Объект загрязнения	α-активные нуклиды		β-активные нуклиды
	отдельные	прочие	
Неповрежденная кожа, спецбелье, полотенца, внутр. поверхность лицевых частей СИЗ	2	2	200
Основная спецодежда, внутр. поверхность дополнительных СИЗ, наружная поверхность спецобуви	5	20	2000
Поверхности помещений постоянного пребывания персонала и находящегося в них оборудования	5	20	2000
Поверхности помещений периодического пребывания персонала и находящегося в них оборудования	50	200	10000
Наружная поверхность дополнительных СИЗ, снимаемой в саншлюзах	50	200	10000

Т а б л и ц а 7

Энергия и длина пробега альфа-, бета-частиц и гамма-квантов

Вид излучения	Энергия излучения, МэВ	Длина пробега	
		в воздухе	в биологической ткани
Альфа-частицы	4,5–6	4–5 см	40–50 мкм
Бета-частицы	до 3,6	максимальная 13 м, средняя 2–4 м	максимальная 1,5 см средняя 2–4 мм
Гамма-кванты	0,1–2	мощность дозы снижается вдвое при прохождении слоя:	
		200–250 м	20–25 см

*Основные пути радиационного воздействия излучения бета-гамма-радиоактивных нуклидов на человека:*

- 1) внешнее гамма-излучение на все тело;
- 2) внешнее бета-излучение кожи и хрусталика глаза;
- 3) переход радиоактивных веществ на одежду, приводящий к внешнему бета-гамма облучению кожи и всего тела;

4) всасывание радионуклидов через кожу, приводящее к облучению базального слоя кожи;

5) всасывание радионуклидов через кожу, приводящее к поступлению радионуклидов во внутренние органы;

6) процесс поступления в рот радиоактивных веществ, находящихся на руках (при курении и т.п.);

7) переход радиоактивных веществ с поверхностей в воздух и поступление в органы дыхания.

При работе в замкнутом помещении основной вклад дают 5 и 7 пути, на открытом воздухе при загрязнении большой территории преобладает 1 путь, но при пыльных операциях вклад 5 и 7 может быть сравним. Единицы измерения уровня радиоактивного загрязнения поверхностей: альфа - част./см<sup>2</sup>·мин, бета - част./см<sup>2</sup>·мин.

*Особенности средств защиты (СИЗ).* Толщину защитных материалов обычно выражают в г/см<sup>2</sup>. Площадь поверхности защитного костюма равна примерно 3 м<sup>2</sup>. Следовательно масса костюма из материала толщиной 1 г/см<sup>2</sup> составляет около 30 кг.

Т а б л и ц а 8  
Ослабление радиации СИЗ

Е, кэВ	Толщина слоя половинного ослабления, мм	Масса СИЗ, кг
100	1,13	28
200	2,27	57
300	3,40	85
400	4,54	110
500	5,67	140
600	7,94	200
700	9,07	230
800	11,3	280
900	13,0	320
1000	14,7	370
1250	17,0	430
1500	19,3	480



Рис. 8. Экипировка для работы вблизи разрушенной активной зоны

Для полной защиты от внешнего альфа-излучения радионуклидов необходим материал толщиной 5 мг/см<sup>2</sup>. Реальная толщина костюмных тканей 10–20 мг/см<sup>2</sup>. Таким образом, любая спецодежда полностью защищает от внешнего альфа-излучения и специальные СИЗ не нужны. Но СИЗ от поступления альфа-активных нуклидов в организм необходимы.

Наилучшую эффективность защиты от внешнего бета-излучения ра-

дионуклидов обеспечивают материалы, содержащие легкие элементы (до алюминия). Поглощение бета-излучения в защитном материале сопровождается генерацией жесткого тормозного излучения. Выход тормозного излучения для легких элементов около 0,1%, для тяжелых элементов (например, для свинца) 1%. Толщина материала средств защиты должна быть равна длине пробега бета-частиц с максимальной энергией СИЗ для защиты от внешнего фотонного излучения. Для защиты от фотонного излучения нужен материал с большим атомным номером (свинец, вольфрам и т.п.). Защитные свойства материала сильно зависят от энергии фотонного излучения. В общем случае для эффективной защиты от фотонного излучения необходимы СИЗ очень большой массы.

Т а б л и ц а 9

Структура доз, получаемых населением России от различных источников неаварийного облучения в течение года (см. справочник "Экология и безопасность человека", т. 1 ч. 2)

Источники излучения	Доза за год	
	мЗв	мбэр
Естественный природный фон	2,0 (0,7–13)	200(70–1300)
Медицинская рентгенодиагностика	1,5 (0,03–6)	150(3–600)
Строительные материалы	1,0 (0,5–1,5)	100(50–150)
Дополнительные источники:		
Телевидение (4 часа в день)	0,01	1
ТЭС (1 КВт) на угле в радиусе 20 км	0,006–0,06	0,6–6,0
АЭС (все действующие)	0,00017	0,017
Полеты на высоте 12 км	0,005	0,5
Глобальные выпадения космической пыли	0,025	2,5
Прочие	0,005–0,006	0,5–0,6

*Йодная профилактика.* Радиоизотопы йода накапливаются в щитовидной железе (ЩЖ), вызывая ее поражение (нарушение йод фиксирующей функции, некробиотические и атрофические изменения). Применение препаратов стабильного йода вызывают блокаду ЩЖ, снижает накопление радиоактивного йода в ЩЖ и ее облучение. Разработаны таблетки йодистого калия со сроком хранения 4 года. Дозировка: взрослым и детям от 2 лет и старше по 1 табл. по 0,125 г; детям до 2 лет – по 1 табл. 0,04 г на прием внутрь ежедневно, беременным женщинам – по 1 табл. по 0,125 г с одновременным приемом перхлората калия 0,75 г (3 табл. по 0,25 г). Заблаговременно должны быть выявлены лица, которые имеют противопоказания к применению препаратов стабильного йода.

## Санитарно-гигиенические мероприятия при радиационных авариях

Ранняя фаза	Промежуточная фаза	Поздняя фаза
Укрытие и защита органов дыхания	Прием препаратов стабильного йода	Контроль доступа в район загрязнения
Прием препаратов стабильного йода	Эвакуация	Контроль пищевых продуктов и воды
Эвакуация	Контроль доступа в район загрязнения	Дезактивация территорий
Контроль доступа в район загрязнения	Переселение (отселение)	
Санитарная обработка	Санитарная обработка людей	
Дезактивация поверхностей, одежды, СИЗ	Дезактивация поверхностей, одежды, средств защиты (СИЗ)	
Контроль пищевых продуктов и воды	Контроль пищевых продуктов и воды	

## Приборы контроля радиационной опасности

Для радиационного контроля используются промышленные приборы  $\alpha, \beta, \gamma$ -излучения.



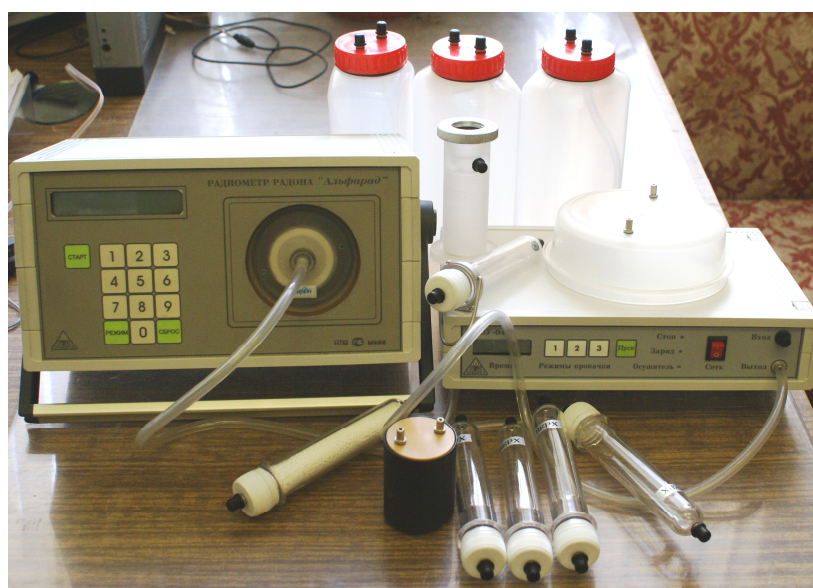
Рис. 9. Дозиметр ДРГ-01Т1

Контролируемый параметр	Тип прибора	Диапазон измерения	Примечание
Мощность дозы гамма-излучения	ДРГ-01Т1	1 мкЗв/ч – 1 Зв/ч 0,05 – 3,0 МэВ	Контроль радиационной обстановки в районе аварии



Рис. 10. Радиометр СРП 68-01

Контролируемый параметр	Тип прибора	Диапазон измерения	Примечание
Измерение потока гамма-излучения	Сцинтилляционный поисковый радиометр СРП 68-01	$0 - 10000 \text{ с}^{-1}$	Контроль поисковый – радиационный, гамма-излучения
Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения		$0 - 3000 \text{ мкР/ч}$ $0,015 - 0,035 \text{ МэВ}$	

Рис. Радиометр радона ( $^{222}\text{Rn}$ ) РРА-01М-01

Контролируемый параметр	Тип прибора	Диапазон измерения	Примечание
Объёмная активность радона-222	Радиометр РРА-01М-01	$20 - 2,0 \cdot 10^4 \text{ Бк} \cdot \text{м}^{-3}$	Контроль в воздухе помещений
	Пробоотборная приставка		Контроль в пробах воды и почвенного воздуха, плотность потока с поверхности земли



Рис. Монитор альфа, бета, гамма излучения MKS1117

Назначение	Характеристика
Обеспечение радиационной безопасности. Дозиметрический контроль. Применяют службы, контролирующие радиационную безопасность населения (ЦГСЭН, МЧС). Аккредитованные испытательные лаборатории. Отраслевые службы радиационного контроля и мониторинга (Минсельхоз, лесное хозяйство, Росгидромет, охрана природы). Службы внешней дозиметрии АЭС.	Энергетический диапазон регистрируемого излучения гамма 40 – 3000 кэВ бета 225 – 3500 кэВ альфа 4000 – 7000 кэВ
	Измеряемая мощность экспозиционной дозы $\gamma$ -излучения 0,005 – 100 мР/ч
	Измеряемая мощность эквивалентной дозы $\gamma$ -излучения 0,05 – 1000 мкЗв/ч
	Диапазон измеряемой мощности поглощенной дозы в воздухе, 0,05 – 1000 мкГр/ч
	Плотность потока $\alpha$ -частиц, 0,1 – 99990 см <sup>-2</sup> мин <sup>-1</sup>
	Плотность потока $\beta$ -частиц, 1 – 10000 см <sup>-2</sup> мин <sup>-1</sup>
	Диапазон измеряемой поверхностной активности суммы изотопов Sr-90 + Y-90, 50 – 10000 Бк · см <sup>-2</sup>
	Диапазон измеряемой поверхностной активности Pu-239, 0,003 – 3000 Бк · см <sup>-2</sup>
	Рабочие температуры, –10 ... + 40°С
	Питание 220 В/50 Гц или от собственного аккумулятора
Время работы от собственного аккумулятора, 12 ч.	
Масса, 5,3 кг	



## Нормы радиационной безопасности древесных материалов

Т а б л и ц а 11

Допустимые уровни содержания цезия-137 и стронция-90 в продукции  
лесного хозяйства (Санитарные правила СП 2.6.1.759–99)

N п/п	Наименование продукции	Величины допустимого уровня (ДУ), кБк/кг (Ки/кг)		Примечание
		цезий-137	стронций-90	
1	<i>Древесина на корню для продукции промышленного назначения</i>			
1.1	Лесоматериалы круглые неокоренные для производства пиломатериалов и заготовок, бруса, древесного технологического сырья, различных полуфабрикатов, лыж, штакетника, драни штукатурной	11,1 ( $3 \cdot 10^{-7}$ )	5,2 ( $1,4 \cdot 10^{-7}$ )	Нормируется содержание $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ в коре
1.2	Лесоматериалы круглые окоренные, для производства продукции	3,1 ( $8,5 \cdot 10^{-8}$ )	2,3 ( $6,2 \cdot 10^{-8}$ )	
2	<i>Древесина на корню для хозяйственного и культурно-бытового назначения</i>			
2.1	Для машиностроения, сельскохозяйственных орудий, топорищ, черенков, граблей, наличников, деталей инструментов и других изделий из дерева, используемых в производственных и жилых помещениях	3,1 ( $8,5 \cdot 10^{-8}$ )	2,3 ( $6,2 \cdot 10^{-8}$ )	СП 2.6.1 759—99
2.2	Для изготовления мебели, музыкальных инструментов, паркета, шкатулок и других изделий, используемых в быту, жилых и общественных помещениях	2,2 ( $6,0 \cdot 10^{-8}$ )	0,52 ( $1,4 \cdot 10^{-8}$ )	
2.3	Древесина дровяная топливная	1,4 ( $4,0 \cdot 10^{-8}$ )	0,37 ( $1,0 \cdot 10^{-8}$ )	
2.4	Древесина для строительства жилых помещений и домов для изготовления бруса и бревен, досок половых и потолочных, балок, стропил, перекрытий, дверных и оконных рам и др. изделий	0,37 ( $1,0 \cdot 10^{-8}$ )	5,2 ( $1,4 \cdot 10^{-7}$ )	
3	<i>Второстепенные лесные ресурсы</i>			
3.1	Пни сосновые, кора сосновая еловая, дубовая и ивовая, береста промышленного назначения	3,1 ( $8,5 \cdot 10^{-8}$ )	2,3 ( $6,2 \cdot 10^{-8}$ )	СП 2.6.1 759—99
3.2	Береста культурно-бытового назначения	2,2 ( $6,0 \cdot 10^{-8}$ )	0,52 ( $1,4 \cdot 10^{-8}$ )	
3.3	Лапка хвойных пород для производства хвойно-витаминной муки и кормовых добавок и другая древесная зелень	0,6 ( $1,6 \cdot 10^{-8}$ )	0,1 ( $3,0 \cdot 10^{-9}$ )	
3.4	Лапка хвойных пород для ритуальных целей	3,1 ( $8,5 \cdot 10^{-8}$ )	2,3 ( $6,2 \cdot 10^{-8}$ )	
4	<i>Семена для выращивания сеянцев древесных и кустарниковых пород</i>			
4.1	Семена	7,4 ( $2,0 \cdot 10^{-7}$ )	2,5 ( $7,0 \cdot 10^{-8}$ )	СП 2.6.1 759—99

## Лабораторная работа. Определение уровня радиации

*Цель* – ознакомление с методом измерения уровня радиации на местности. Практическое использование результатов измерений для оценки степени опасности.

*Теория.* Биологическое действие радиоактивных излучений характеризуется ионизацией атомов и молекул организма, в результате чего происходит разрыв нормальных молекулярных связей и изменение химической структуры различных соединений. Это, в свою очередь, ведет к нарушению нормальных процессов обмена веществ в живых клетках.

Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме как при внешнем облучении (источник находится вне организма), так и при внутреннем облучении. Биологический эффект ионизирующих излучений зависит от величины суммарной дозы и времени воздействия излучения, от вида радиации, размеров облучаемой поверхности и индивидуальных особенностей организма.

В случае неравномерного облучения организма человека необходимо учитывать различную радиочувствительность биологических тканей и органов. Условия неравномерного облучения могут возникнуть при проникновении в организм человека (или животного) иода-131. Этот радионуклид практически полностью сосредотачивается в щитовидной железе и основная дозовая нагрузка будет приходиться на этот орган. То же происходит при накоплении  $^{45}\text{Ca}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{226}\text{Rn}$  – они концентрируются в минеральной части скелета и могут длительное время служить источником внутреннего облучения организма.

Все живое на земле находится под воздействием радиационного фона. Он складывается из двух составляющих: естественного фона и, так называемого, техногенного, который является следствием технической деятельности человека. Естественный фон формируется за счет излучения из космоса и излучения радиоактивных элементов земной коры: урана, радия, тория и др. Вследствие использования в строительстве материалов с включениями естественных природных радионуклидов некоторые объекты гражданской городской застройки показывают уровни выше, чем окружающие их здания и ландшафт. Такими причинами могут быть прежде всего гранитные ступени и облицовка, использование кварцевого песка при производстве бетонных блоков и силикатного (белого) кирпича. При работе на местности с прибором типа СРП-88Н (СРП-68 Н) в предлагаемой лабораторной работе следует обратить внимание на то, что показания его будут различными, но не выше, чем допустимые значения мощности дозы гамма-излучения :

Радиационный уровень	Единица СИ, Зв/ч	Внесистемная единица, Р/ч
Естественный (нормальный)	0,1 – 0,2 мкЗв/ч	10 – 20 мкР/ч
Допустимый	0,2 – 0,6 мкЗв/ч	20 – 60 мкР/ч

*Методы измерения ионизирующих излучений.* Для обнаружения и измерения ионизирующих излучений используют методы: фотографический, химический, ионизационный, сцинтилляционный.

В данной лабораторной работе для измерения ионизирующих излучений использован сцинтилляционный метод, который заключается в следующем: некоторые вещества (ZnS, NaI) под воздействием ионизирующих излучений светятся. Количество вспышек пропорционально мощности дозы излучения и регистрируются с помощью фотоэлектронных умножителей (ФЭУ). В ФЭУ энергия этих световых вспышек (сцинтилляций) через посредство фотоэффекта и преобразуется в импульсы электрического тока.

Благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими методами сцинтилляционный нашел широкое применение для измерения ионизирующих излучений. К числу этих преимуществ относятся: универсальность с точки зрения возможности регистрации ионизирующих излучений практически любых видов; возможность измерения энергии исследуемых частиц или квантов; высокая эффективность регистрации  $\gamma$ -излучения.

Пульт прибора и блок детектирования соединены кабелем через разъем. Блок детектирования содержит фотоумножитель типа ФЭУ-85 с кристаллом NaI размером 25x40 мм (кристаллы находятся в торце блока в месте расположения резинового колпачка). Делитель ФЭУ смонтирован на панели. Пульт прибора СРП-88Н состоит из устройства индикации комбинированного УНК-01Н и узла питания низковольтного ПНН-159Н, механически соединенных винтами, а электрически – через разъем ПИТАНИЕ. Органы управления и индикации выведены на единую лицевую панель.

*Назначение прибора.* Прибор сцинтилляционный СРП-88Н предназначен для косвенных измерений радиоактивности по гамма-излучению при радиометрической съемке местности. Прибор измеряет естественное гамма-излучение при начальном энергетическом пороге регистрации не более 50 кэВ. Диапазон измерений потока гамма-излучений составляет от 10 до  $3 \cdot 10^4$  с<sup>-1</sup>. Конструктивно прибор состоит из двух блоков: пульта и блока детектирования.

*Подготовка прибора к работе и проверка на работоспособность.*

Для подготовки прибора к работе необходимо:

1. Извлечь из укладочного ящика пульт прибора, блок детектирования и держатель.

Установить органы управления на устройстве индикации в исходное состояние:

переключатель "ПОРОГ" в положение ВЫКЛ;

переключатель "ДИАПАЗОН" в положение "1".

Подключить блок детектирования к разъему пульта.

Включить прибор, установив переключатель "ПОРОГ" из положения "выкл" в положение "БАТ", при этом стрелочный индикатор показывает напряжение батарей. Средняя отметка шкалы индикатора соответствует напряжению 3,5 В.

Включить прибор, установить переключатель "ПОРОГ" в положение "0" и приложить блок детектирования кристаллом к месту расположения контрольного источника излучения. При этом стрелка индикатора должна отклоняться, на табло видны показания и должны прослушиваться щелчки звукового сигнализатора, частота которых увеличивается при приближении кристалла к месту расположения контрольного источника.

Установить переключатели "ПОРОГ" в положение ИЗМ, "ДИАПАЗОН" в положение "03".

Через 1 мин после включения прибора приставить торец блока детектирования (без резинового колпачка) вплотную к месту расположения контрольного источника, совместив торец блока детектирования с окружностью на пульте.

Зафиксировать не менее трех показаний цифрового табло и вычислить среднее арифметическое значение  $P_{изм}$ .

Отвести торец блока детектирования от места расположения контрольного источника на расстояние не менее 0,5 метра, зафиксировать не менее трех измерений и вычислить среднее арифметическое значение  $P_{\phi}$ .

Определить действительное значение показаний  $P_g$  ( $c^{-1}$ ), от контрольного источника по формуле  $P_g = (P_{изм} - P_{\phi}) / K$ , где  $K$  – коэффициент, учитывающий изменение активности источника во времени, равный 0,84. Если действительное значение показаний прибора  $P_g$  от контрольного источника соответствует величине  $1,950 \pm 0,195$ , прибор работоспособен и готов к работе.

*Измерение уровня радиации:*

Установить переключатель "ДИАПАЗОН" в положение "0,1" и "0,3"; снять показания с цифрового табло прибора.

При измерении уровня радиации для представления информации в единицах мощности экспозиционной дозы ( $мкР/ч$ ) достаточно показания прибора разделить на значение чувствительности блока детектирования и умножить на 1000. Значение чувствительности блока детектирования прибора  $3,5 c^{-1} \cdot м^2 \cdot мг^{-1}$ .

*Задание.*

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Замерить уровень радиации в трех точках на территории университета согласно плану и устному распоряжению преподавателя. Результаты занести в таблицу результатов.
3. Сделать выводы.

Таблица результатов измерений уровня радиации на местности.

Место измерения уровня радиации (номер точки)	Показания цифрового табло	Уровень радиации мкР/ч	Примечание
1			
2			
3			

Отчет должен содержать заполненную таблицу и выводы по работе.

#### Контрольные вопросы к работе

1. Чем отличается излучающий атом химического элемента от стабильного?
2. Чем отличаются виды излучений, возникающие при распаде ядра?
3. Что такое поглощенная доза, экспозиционная доза, эквивалентная доза. В каких единицах они измеряются?
4. Принцип работы прибора.
5. Воздействует ли радиационный фон на человека и каково предельное значение фоновых величин радиации?
6. Какие ткани и органы человека наиболее чувствительны к восприятию радиации и способны накапливать и удерживать радионуклиды?
7. Радионуклиды  $^{210}\text{Po}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Назвать их самый распространенный источник в быту. Как избежать нежелательного контакта?

#### Определение содержания цезия Cs-137 в пищевых продуктах

Подготовка проб к измерениям включает первичную обработку пищевых продуктов и их измельчение с целью лучшего усреднения пробы и увеличения массы пробы для размещения в измерительной кювете.

Приготовление счетного образца для измерения цезия Cs-137 зависит от используемого метода измерения и чувствительности используемой радиометрической установки. При измерении нативных счетных образцов предварительно подготовленную пробу размещают в выбранной измерительной кювете. Выбор измерительных кювет определяется методикой измерения радионуклида, допустимым уровнем активности радионуклидов в продуктах. Характеристики измерительных кювет приведены в инструкциях к используемым радиометрическим установкам.

При необходимости увеличения чувствительности применяемых при испытании методов измерения возможно термическое концентрирование или частичное, либо полное радиохимическое выделение определяемого радионуклида. Допускается также использование других методов концен-

трирования и радиохимического выделения при условии их метрологической аттестации.

Измерение активности (удельной активности) цезия Cs-137 в счетных образцах. В качестве радиометрических установок при измерении активности цезия Cs-137 следует использовать сцинтилляционные и полупроводниковые гамма-спектрометры утвержденного типа, прошедшие поверку.

Исходя из чувствительности выпускаемых гамма-спектрометров (минимальная измеряемая активность 3–10 Бк) целесообразно использовать метод измерения нативных счетных образцов.

Масса (объем) анализируемой средней пробы должна обеспечивать приемлемую неопределенность получаемого результата при измерении в стандартной геометрии (сосуд объемом 0,5–1,0 дм<sup>3</sup>).

Если при гамма-спектрометрическом измерении помимо цезия Cs-137 и калия K-40 обнаруживают другие радионуклиды, то пробу измеряют вторично по методике, предполагающей измерение более широкого радионуклидного состава.

Результаты лабораторных испытаний оформляют в форме протокола. Для определения соответствия пищевых продуктов критериям радиационной безопасности используется показатель соответствия  $B$  и неопределенность его определения  $\Delta B$ , значения которых рассчитывают по результатам измерений удельной активности цезия Cs-137 и стронция Sr-90:

$$B = (Q/H)^{90}\text{Sr} + (Q/H)^{137}\text{Sc}, \quad \Delta B = \sqrt{[(\Delta Q/H)^{90}\text{Sr}]^2 + [(\Delta Q/H)^{137}\text{Sc}]^2},$$

где  $Q$  – измеренное значение удельной активности радионуклида в пробе;  $H$  – допустимый уровень удельной активности радионуклида в испытуемом продукте;  $\Delta Q$  – абсолютная расширенная (коэффициент охвата  $k=2$ ) неопределенность измерения удельной активности.

Пищевые продукты признают соответствующими критерию радиационной безопасности, если  $B + \Delta B \leq 1$ . Бракование продукта возможно, если результаты измерений удельной активности радионуклидов в пробе удовлетворяют условию точности  $\Delta B \leq 0,3$ .

Прежде чем принять решение по продукту в подобной ситуации рекомендуется:

- провести повторные испытания образца с увеличением времени измерения и массы пробы;
- изменить метод испытания продукта, в случае необходимости провести термическое или радиохимическое концентрирование пробы, либо использовать радиохимический метод анализа;
- в отдельных спорных случаях провести повторный отбор.

Измерения должен выполнять персонал, прошедший обучение по работе со средствами измерений.

При эксплуатации средств измерений следует выполнять требования безопасности, указанные в руководствах по эксплуатации.

### Примерный перечень вопросов по всему курсу

1. Размер, состав и заряд атомного ядра, массовое и зарядовое числа.
2. Дефект массы и энергии связи ядра; естественная радиоактивность.
3. Закон радиоактивного распада, правило смещения.
4. Период полураспада, активность радионуклида, альфа-распад, бета-распад, гамма-распад.
5. Дозы ионизирующего излучения, техногенные радионуклиды.
6. Физические величины в области ядерной физики в системе СИ.
7. Биологическая доза, электрическое воздействие.
8. Физико-химические изменения, химические изменения, биологические эффекты.
9. Радиоактивное поражение, критические органы, генетические последствия облучения.
10. Зоны радиоактивного загрязнения почвы.
11. Радиоактивное загрязнение леса, экологическая роль леса в защите окружающей среды.
12. Методики отбора проб почвы, древесины и воды.
13. Коэффициент перехода радиоактивного загрязнения древесины от степени загрязнения почвы.
14. Меры безопасности при работе на загрязненных территориях.
15. Нормы радиоактивной безопасности.
16. Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96, ГОСТ 50801-95 «Древесное сырье, лесоматериалы, полуфабрикаты и изделия из древесины и древесных материалов. Допустимая удельная активность радионуклидов, отбор проб и методы измерения удельной активности радионуклидов».
17. Допустимая удельная активность радионуклидов, отбор проб.
18. Методы измерения и классификация удельной активности радионуклидов, лесопромышленной продукции по назначению и установление допустимых проб радиоактивного загрязнения.
19. Критерий принятия решения о годности лесопромышленной продукции по радиоактивному признаку, методика отбора проб образцов.
20. Дозиметрия, принцип работы.
21. Профессиональные дозиметры, основные погрешности.
22. Радиометрия, радиохимические методы.
23. Спектрометрия, спектрометры с полупроводниковыми и сцинтилляционными чувствительными элементами, принцип действия, программное обеспечение.
24. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Виды измерений. Погрешности: абсолютные, относительные. Класс точности, поверка средств измерений.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА  
ИЗМЕРЕНИЙ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО  
РАДИАЦИОННОГО КАЧЕСТВА  
№ 001-2006**

**Настоящий документ удостоверяет, что продукция (объект)**

**Композитные панели т.м. «Grossbond» из алюминия нелегированные прямо-  
угольные с п/э покрытием  
(производство «Guangzhou goodsense decorative building materials», Китай)  
размер партии 6846,64 кв. м**

идентифицирующие признаки продукции (наименование, тип, вид, марка, размер партии, количество и т. д.)  
**по заявке № 17 от 07.12.2006 г.**

**представленная (-ый) ООО «Алюмикс сервис»**

наименование и адрес организации, которой выдано данное Свидетельство  
**129626, Россия, г. Москва, ул. Староалексеевская, д. 21, стр. 11,**

**подвергнута испытаниям в аккредитованной САРК лаборатории радиацион-  
ного контроля (ЛРК) по параметрам**

**удельная активность радия -226, тория -232, калия -40**

радиационные параметры

**и соответствует нормативным требованиям:  
ГОСТ 30108-94 «Материалы и изделия строительные. Определение  
удельной эффективной активности естественных радионуклидов»**

нормативные документы - название, номер

Заведующий ЛРК \_\_\_\_\_

(подпись)

Г. А. Копунова

М.П.

“11“ декабря 2006 г.



РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРОДУКЦИИ

ДАТА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ: 11 декабря 2006 год  
(число, месяц, год проведения измерений)

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ: *Бета- и гаммаспектрометрические измерения в объектах окружающей среды, пищевых продуктах и биопробах ВНИИФТРИ 23.06.93 г.*

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ: гамма-бетаспектрометр «Прогресс»  
(регламент контроля, наименование средств измерений)

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ: Акт отбора образцов от 06.12.2006 г.  
отчет об испытаниях № 1  
(номер акта (картограммы) отбора пробы, номер протокола измерения и т.д.)

№	Радиационный параметр (величина)	Единица величины	Результат измерения	Погрешность измерения (в единицах величины)
1	Радий-226	Бк/кг	0	8
2	Торий-232	Бк/кг	0	5
3	Калий-40	Бк/кг	0	34
4	Значение эффективной активности	Бк/кг	0	11

Критерий для оценки соответствия: **соответствует ГОСТ 30108-94 (1 класс материала)**

(в соответствии с нормативными документами)

Ответственный исполнитель \_\_\_\_\_ Г. А. Копунова  
(подпись) (инициалы,  
фамилия)

### Библиографический список

1. Электронная поисковая система обзорных научных статей. – Режим доступа [http://www.turpion.rosugol.ru/main/pa\\_rcr.html](http://www.turpion.rosugol.ru/main/pa_rcr.html), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
2. Электронная поисковая система по ключевым словам. – Режим доступа <http://www.yandex.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
3. Электронная поисковая система книг 1970-2010 гг. – Режим доступа <http://www.chemport.ru/?cid=34>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
4. Научная электронная библиотека. – Режим доступа <http://elibrary.ru/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
5. Патенты России – Режим доступа <http://www.fips.ru/>, свободный, открытые реестры, поиск по номерам. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
6. **Норма радиационной безопасности (НРБ-99).** Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996.
7. **ГОСТ 50801-95.** Древесное сырье, лесоматериалы, полуфабрикаты и изделия из древесины и древесных материалов. Допустимая удельная активность радионуклидов, отбор проб и методы измерения удельной активности радионуклидов». – М.: Госстандарт, 1995.
8. **ГОСТ 30108-94.** Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективности естественных радионуклидов. – М.: Госстандарт, 1994.
9. **ГОСТ Р 54016-2010.** Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2010.
10. **ГОСТ Р 54017-2010.** Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2010.
11. **Федеральный закон РФ № 3-ФЗ от 09.01.96** «О радиационной безопасности населения».
12. **Федеральный закон РФ № 170-ФЗ от 21.11.95** «Об использовании атомной энергии».
13. **Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. ОСПОРБ-99,** СП-2.6.1.799-99. – М. Минздрав России, 2000.
14. **Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. СанПиН 2.1.4.559-96.** – М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
15. **Методические указания по внедрению и применению санитарных правил и норм СанПиН 2.1.4.559-96** «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». МУ 2.1.4.682-97. – М.: Минздрав России, 1998.
16. **Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». СанПин 2.1.4.1074-01.** – М.: Минздрав России, 2002.
17. **Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. СанПиН 2.3.2.1078-2002.** – М.: Минздрав России, 2002.
18. **Радиационный контроль. Sr-90 и Cs-137. Пищевые продукты. Отбор проб и гигиеническая оценка. МУК 2.6.1.1194-03.** – М.: 2003.
19. Маргулис, У.Я. Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения / У.Я.Маргулис, Ю.И.Брегадзе, К.Н.Нурлыбаев. – М.: Издательства, 2010. – 320 с.

**Оглавление**

Предисловие .....	3
Явление радиоактивности .....	5
Основные понятия, единицы и термины в области радиационной безопасности, радиобиологические эффекты .....	10
Прогноз радиационной опасности .....	12
Защита от внешнего ионизирующего излучения и радиоактивных материалов .....	17
Приборы контроля радиационной опасности .....	22
Нормы радиационной безопасности древесных материалов .....	24
Лабораторная работа. Определение уровня радиации.....	26
Определение содержания цезия Cs-137 в пищевых продуктах .....	29
Примерный перечень вопросов по всему курсу.....	31
Библиографический список.....	34

*Учебное издание*

**Копунова** Галина Алексеевна  
**Беляков** Владимир Алексеевич  
**Иванкин** Андрей Николаевич

## **РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОДУКЦИИ**

*В авторской редакции  
Компьютерный набор и верстка авторов*

По тематическому плану внутривузовских изданий учебной литературы на 2016 год, поз. доп.

Подписано в печать 28.02.2016. Формат 60х90/16 Бумага 80 г/м<sup>2</sup>  
Гарнитура "Таймс". Ризография. Усл. печ. л. 1,0.  
Тираж 100 экз. Заказ N

Издательство Московского государственного университета леса. 141005,  
Мытищи –5, Московская обл., 1-я Институтская, 1, МГУЛ.  
E-mail: izdat@mgul. ac. ru