МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**(ФГБОУ ВО «КубГУ»)**

**Физико-технический факультет**

**Кафедра Физики и информационных технологий**

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЕСТЕСТВЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

Работу выполнил \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Ю.Ю. Пилиев

Курс 3

Направление 03.03.02 Физика

Научный руководитель

канд. техн. наук, доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю. Б. Захаров

Нормоконтролёр \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Ю. Б. Захаров

Краснодар 2018

**Реферат**

Курсовой проект 43 с., 2 рис., 3 табл., 8 источников.

РАДИОАКТИВНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИАЦИЯ, РАДИОНУКЛИДЫ, ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ЗОНА, ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА, ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ, ДОЗИМЕТРИЯ.

Объектом исследования данного курсового проекта является, влияние радиоактивного излучения на человека естественными источниками.

Целью данной работы является исследование естественных источников радиационного излучения, их влияния на организм человека и определение оптимальных способы защиты от их воздействия.

В результате выполнения курсового проекта были найдены оптимальные способы минимизации воздействия радиоактивного излучения естественными источниками на человека

**СОДЕРЖАНИЕ**

Введение ..................................................................................................................... 4

1 Что такое радиация ................................................................................................. 8

1.1 Открытие радиоактивности .............................................................................. 8

1.2 Виды излучения ............................................................................................... 10

1.3 Основные термины и единицы измерения .................................................... 12

2 Источники радиационного излучения ................................................................ 14

2.1 Естественные источники радиации ............................................................... 14

2.1.1 Космическая радиация..................................................................................16

2.1.2 Земная радиация............................................................................................19

2.1.3 Внутреннее облучение..................................................................................24

2.2 Источники радиации, созданные человеком (техногенные) ....................... 25

3 Дозиметрия ............................................................................................................ 28

3.1 Экспозиционная доза .......................................................................................30

3.2 Поглощённая доза ............................................................................................ 32

4 Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений.................................................................................................................. 35

4.1 Эквивалентная доза ......................................................................................... 38

4.2 Эффективная доза ............................................................................................ 39

5 Воздействие радиации .......................................................................................... 40

5.1 Эффекты воздействия на человека .................................................................45

5.2 Накопление радионуклидов в органах .......................................................... 47

5.3 Исследование последствий облучения .......................................................... 49

5.4 Способы минимизации естественного воздействия радиационного облучения...................................................................................................................54

Заключение.................................................................................................................57

Список использованных источников.......................................................................59

**ВВЕДЕНИЕ**

Говоря о любом разделе современной экологии, кроме ее классического, главного, биологического раздела, мы постоянно, в большей или меньшей степени, имеем в виду человека. Речь идет о прямом или косвенном воздействии на человечество того или иного фактора, им же порожденного или усиленного, или о воздействии человека на компоненты среды обитания, в первую очередь на флору и фауну. На первых этапах развития большинства разделов современной экологии центр тяжести исследований мог быть и далек от непосредственных интересов человека и только потом возможные точки соприкосновения отчетливо проявлялись. Иная ситуация была в случае радиационной экологии.

Экологический фактор – ионизирующие излучения – сразу проявил себя воздействием на ткани и органы человека. Его изучение началось практически сразу после открытия радиоактивности (1895-1896г.г.).

Выделяют два направления исследований, составивших затем основу радиационной экологии. Во-первых, это изучение биологических эффектов, возникающих под действием радиации; во-вторых – изучение радиоактивности объектов природной среды. В результате изучения биологических эффектов оформились два направления:

1) гигиенические исследования, связанные с медицинскими проблемами и приведшее в последующем к возникновению радиационной медицины – радиологии;

2) экспериментальные биологические исследования – радиационная биология (радиобиология).

При изучении биологических эффектов наибольшее количество исследований проводилось на растениях, так как с растительными объектами было проще работать. Вместе с тем «закладывались» многие из тех проблем, которые дали о себе знать впоследствии. Речь идет об отсутствии стандартизации методик, о точности измерений и воспроизводимости результатов и всего того, что связано с междисциплинарным характером исследований; большой изменчивостью свойств отдельных особей внутри вида и разной реакцией их на изменения характеристик окружающей среды.

К началу 1920-х гг. был сформулирован уже ряд теорий о начальных процессах, происходящих в организмах животных и в растениях при радиационном воздействии. В 1920-е гг. оформились первые теории лучевого поражения, из которых можно отметить: теорию прямого действия, теорию непрямого действия и теорию мишени.

В эти же годы были обнаружены мутации, вызываемые воздействием радиации. Классическими стали исследования Г. Мюллера (Muller H.J.) по индуцированию рентгеновскими лучами мутаций у дрозофил – 1926 г. Он заложил основы радиогенетики – новой области в исследованиях генетических эффектов, и его исследования были отмечены в 1946 г. Нобелевской премией по медицине.

Достаточно широким фронтом развивались исследования по изучению последствий воздействия радиации на основные химические вещества клетки, на физико-химические свойства протоплазмы, на физиологические и биохимические процессы в растениях. Были проведены опыты по изучению радиочувствительности и природы начальных изменений при лучевом поражении клеток. Были обнаружены огромные различия в радиочувствительности различных клеток, тканей, органов и видов растений и животных.

В центре внимания ученых стали вопросы, связанные с биологической ролью природного фона ионизирующих излучений и его значением для процесса эволюции. Это направление исследований не потеряло своей актуальности и сейчас. Его естественным образом можно разбить на отдельные этапы. К рассматриваемому периоду можно отнести два первых этапа. Первый – до 1930-х гг., когда основное внимание уделялось количественной характеристике ведущих компонентов фона. Естественно, что подобные исследования начинали проводить в тех местах, где на поверхности имелись выходы урановых или ториевых руд.

Затем на втором этапе, до 1940-х гг. – в центре интересов ученых оказались исследования особенностей распределения в различных природных средах долгоживущих радионуклидов. Речь шла, в первую очередь, о 238U, 232Th и 226Ra. Потребности практики выдвинули задачу разработки биогеохимических методов поиска урановых месторождений.

В этот период происходит становление дозиметрии, которая приобретает современные очертания после введения в начале 1930-х гг. представлений об экспозиционной дозе и единице ее измерения «рентгене». Для разных случаев были определены летальные дозы и вырабатываются представления о предельно допустимых дозах.

Таким образом, в это время закладываются основы современной радиационной гигиены. Радий и радон на некоторое время вошли в арсенал широко используемых медицинских средств. Начались обширные исследования индуцированных излучениями генетических и наследственных эффектов.

К сожалению, значительная часть информации была получена в результате неосторожной работы с источниками ионизирующих излучений. Число смертельных случаев или серьезного ущерба для здоровья людей точно не известно, но ясно, что речь идет о нескольких сотнях.

До пуска первых циклотронов в США и СССР, а затем первого реактора в Чикаго в 1942 г. основное воздействие на здоровье людей оказывало рентгеновское излучение и внутреннее облучение за счет поступления радия в организм людей.

К началу 1940-х гг. огромный интерес научного сообщества и общественности (широких слоев населения) к явлению радиоактивности постепенно угасал. Это вполне понятно. В части, касающейся науки, явление радиоактивности и родившаяся из него ядерная физика прочно заняли свое место в науке и здесь шла напряженная, непонятная для «непосвященных» работа. Что касается общественности, то первые восторженные ожидания появления «панацеи от всех болезней» угасли и интересы людей были прикованы к нарастающей опасности мировой войны, а затем и к самой войне со всеми ее бедами.

Принципиальное значение для интенсификации исследований в области радиационной экологии имели открытия явле­ний искусственной радиоактивности и деления тяжелых ядер, создание ядерных реакторов и последующее освоение чело­веком ядерной энергии. Условно можно считать, что взрывы над Хиросима и Нагасаки завершили первый, инкубационный этап развития радиационной экологии. Радиоэкологические проблемы оказались теперь в центре внимания общества.

Целью работы является, изучение методов зашиты и минимизации воздействия радиоактивного излучения на человека естественными источниками.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1 Исследование вносящих наибольший вклад в облучение человека источников ионизирующего излучения.

2 Изучение влияния радиоактивного излучения на человека.

3 Выявление с помощью литературы наиболее эффективных способов защиты от воздействия радиоактивного излучения естественных источников.

**1 Что такое радиация**

В широком смысле, радиация - это исходящий от любого источника поток энергии в форме радиоволн. Радиация существовала всегда. Радиоактивные элементы входили в состав Земли с начала её существования, однако само явление радиоактивности было открыто всего 120 лет назад. В этом разделе мы попробуем приблизиться к пониманию явления радиоактивности, детально изучив его.

**1.1 Открытие радиоактивности**

Открытие радиоактивности было непосредственно связано с открытием Рентгена. В ноябре1895 года, Вильгельм Конрад Рентген сообщил об открытии нового вида лучей, которые он назвал Х-лучами. Эти лучи возникают, когда быстро летящие в вакууме электроны (катодные лучи) сталкиваются с препятствием. Вскоре Рентген обнаружил, что излучение проходит через многие непрозрачные вещества, вызывает почернение фотопластинки, завернутой в черную бумагу или даже помещенной в металлический футляр. Лучи проходили через очень толстую книгу, через еловую доску толщиной 3 см, через алюминиевую пластину толщиной 1,5 см... Рентген понял возможности своего открытия: «Если держать руку между разрядной трубкой и экраном, – писал он, – то видны темные тени костей на фоне более светлых очертаний руки». Это было первое в истории рентгеноскопическое исследование.

Новые лучи стали исследовать во всем мире, только за один год на эту тему было опубликовано свыше тысячи работ. Несложные по конструкции рентгеновские аппараты появились и в госпиталях: медицинское применение новых лучей было очевидным.

Открытие Рентгена вскоре привело к не менее выдающемуся открытию. Его сделал в 1896г. французский физик Антуан Анри Беккерель. Беккерель решил проверить, связаны ли лучи Рентгена с флуоресценцией. 24 февраля 1896г. на еженедельном заседании Академии он рассказал, что беря фотопластинку, завернутую в два слоя плотной черной бумаги, кладя на нее кристаллы двойного сульфата калия-уранила K2UO2(SO4)2·2H2O и выставляя все это на несколько часов на солнечный свет, то после проявления фотопластинки на ней можно видеть несколько размытый контур кристаллов. Если между пластинкой и кристаллами поместить монету или вырезанную из жести фигуру, то после проявления на пластинке появляется четкое изображение этих предметов.

Беккерель начал ставить множество опытов, чтобы лучше понять условия, при которых появляются лучи, засвечивающие фотопластинку, и исследовать свойства этих лучей. До конца года он опубликовал на эту тему девять статей, в одной из них он писал: «Разные соли урана были помещены в толстостенный свинцовый ящик... Защищенные от действия любых известных излучений, эти вещества продолжали испускать лучи, проходящие через стекло и черную бумагу, через восемь месяцев».

Эти лучи исходили от любых соединений урана, даже от тех, которые не светятся на солнце. Еще более сильным (примерно в 3,5 раза) оказалось излучение металлического урана. Стало очевидным, что излучение хотя и похоже по некоторым проявлениям на рентгеновское, но обладает большей проникающей способностью и как-то связано с ураном, так что Беккерель стал называть его «урановыми лучами».

Беккерель обнаружил также, что «урановые лучи» ионизируют воздух, делая его проводником электричества. Оставался вопрос, каким образом вещество испускает непрерывное и не ослабевающее в течение многих месяцев излучение без подвода энергии от внешнего источника? Сам Беккерель писал, что не в состоянии понять, откуда уран получает энергию, которую он непрерывно излучает.

Позже этим явлением заинтересовались Мария Кюри и её муж Пьер Кюри. В 1898г. году они обнаружили, что в результате излучения, уран превращается в другие элементы, которые молодые ученые назвали полонием и радием. К сожалению люди, занимающиеся исследованием радиации, подвергали свою жизнь опасности из-за частого контакта с радиоактивными веществами. Несмотря на это исследования продолжались, и в результате, на сегодняшний день, человечество располагает весьма достоверными сведениями о процессе протекания реакций в радиоактивных массах, в значительной мере обусловленных особенностями строения и свойствами атома[1].

**1.2 Виды излучения**

Причиной радиоактивности вещества являются нестабильные ядра, входящие в состав атомов, которые при распаде выделяют в окружающую среду невидимые излучения или частицы. В зависимости от различных свойств (состав, проникающая способность, энергия), сегодня выделяют множество видов ионизирующего излучения, из которых наиболее значимыми и распространенными являются:

– Альфа-излучение. Источником радиации в нем являются частицы с положительным зарядом и сравнительно большим весом. Альфа-частицы (2 протона + 2 нейтрона) довольно громоздки и потому легко задерживаются даже незначительными преградами: одеждой, обоями, оконными занавесками и т.д. Даже если альфа-излучение попадает на обнаженного человека, в этом нет ничего страшного, дальше поверхностных слоев кожи оно не пройдет. Однако, несмотря на малую проникающую способность, альфа-излучение обладает мощной ионизацией, что особо опасно, если вещества-источники альфа-частиц попадают непосредственно в организм человека, например, в легкие или пищеварительный тракт.

– Бета-излучение. Представляет собой поток заряженных частиц (позитронов или электронов). Такое излучение обладает более значительной проникающей способностью, чем альфа-частицы, задержать его может деревянная дверь, оконное стекло, кузов автомобиля и т.д. Для человека опасно при воздействии на незащищенные кожные покровы, а также при попадании внутрь радиоактивных веществ.

– Гамма-излучение и близкое к нему рентгеновское излучение**.** Ещё одна разновидность ионизирующей радиации, которая является родственной световому потоку, но с лучшей способностью к проникновению в окружающие предметы. По своему характеру это высокоэнергетическое коротковолновое электромагнитное излучение. Для того, чтобы задержать гамма-излучение в отдельных случаях может потребоваться стена из нескольких метров свинца, или нескольких десятков метров плотного железобетона. Для человека такое излучение является самым опасным. Основным источником этого вида излучения в природе является Солнце, однако, до человека смертоносные лучи не доходят благодаря защитному слою атмосферы.

Помимо альфа- и бета-распадов, известны и другие типы самопроизвольных радиоактивных превращений. Так, в 1938г. американский физик Луис Уолтер Альварес открыл третий тип радиоактивного превращения – электронный захват (К-захват). В этом случае ядро захватывает электрон с ближайшей к нему энергетической оболочки (К-оболочки). При взаимодействии электрона с протоном образуется нейтрон, а из ядра вылетает нейтрино, уносящее избыток энергии. Превращение протона в нейтрон не изменяет массу нуклида, но уменьшает заряд ядра на единицу. Следовательно, образуется новый элемент, находящийся в периодической таблице на одну клетку левее, например, из получается стабильный нуклид (именно на этом примере Альварес открыл этот тип радиоактивности).

При К-захвате в электронной оболочке атома на место исчезнувшего электрона «спускается» электрон с более высокого энергетического уровня, излишек энергии либо выделяется в виде рентгеновского излучения, либо расходуется на вылет из атома более слабо связанных одного или нескольких электронов – так называемых оже-электронов, по имени французского физика Пьера Оже (1899–1993г.г.), открывшего этот эффект в 1923г. (для выбивания внутренних электронов он использовал ионизирующее излучение).

В 1934г. дочь Марии Кюри Ирэн Жолио-Кюри и ее муж Фредерик Жолио-Кюри открыли позитронный распад. В этом процессе один из протонов ядра превращается в нейтрон и антиэлектрон (позитрон) – частицу с той же массой, но положительно заряженную; одновременно из ядра вылетает нейтрино. Позитронный распад часто конкурирует с К-захватом.

В 1982г. была открыта протонная радиоактивность: испускание ядром протона (это возможно лишь для некоторых искусственно полученных ядер, обладающих избыточной энергией). В 1960г. физико-химик Виталий Иосифович Гольданский (1923–2001г.г.) теоретически предсказал двухпротонную радиоактивность: выбрасывание ядром двух протонов со спаренными спинами. Впервые она наблюдалась в 1970г. Очень редко наблюдается и двухнейтронная радиоактивность (обнаружена в 1979г.).

В 1984г. была открыта кластерная радиоактивность (от англ. cluster – гроздь, рой). При этом, в отличие от спонтанного деления, ядро распадается на осколки с сильно отличающимися массами, например, из тяжелого ядра вылетают ядра с массами от 14 до 34. Кластерный распад также наблюдается очень редко, и это в течение длительного времени затрудняло его обнаружение[2].

**1.3 Основные термины и единицы измерения**

Радиоактивный распад – процесс самопроизвольного распада нестабильного нуклида.

Радионуклид – нестабильный нуклид, способный к самопроизвольному распаду.

Период полураспада изотопа – время, за которое распадается в среднем половина всех радионуклидов данного типа в любом радиоактивном источнике

Радиационная активность образца – число распадов в секунду в данном радиоактивном образце; единица измерения – беккерель (Бк)

«Поглощенная доза\* – энергия ионизирующего излучения, поглощенная облучаемым телом (тканями организма), в пересчете на единицу массы

Эквивалентная доза\*\* – поглощенная доза, умноженная на коэффициент, отражающий способность данного вида излучения повреждать ткани организма

Эффективная эквивалентная доза\*\*\* – эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий разную чувствительность различных тканей к облучению

Коллективная эффективная эквивалентная доза\*\*\*\* – эффективная эквивалентная доза, полученная группой людей от какого-либо источника радиации

Полная коллективная эффективная эквивалентная доза – коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получат поколения людей от какого-либо источника за все время его дальнейшего существования»

\* единица измерения в системе СИ – грэй (Гр)

\*\* единица измерения в системе СИ – зиверт (Зв)

\*\*\* единица измерения в системе СИ – зиверт (Зв)

\*\*\*\* единица измерения в системе СИ – человеко-зиверт (чел-Зв)

**2 Источники радиационного излучения**

Теперь, понимая механизм воздействия радиационного облучения на живые ткани, выясним, в каких ситуациях мы сильнее всего подвергаемся этому воздействию.

Существует два способа облучения: внешнее облучение (радиоактивные вещества облучают организм снаружи) и внутреннее (при попадании радионуклидов внутрь организма с воздухом, пищей и водой). Источники радиоактивного излучения можно объединить в две большие группы: естественные (75% годовой эффективной эквивалентной дозы) и искусственные (созданные человеком).

**2.1 Естественные источники радиации**

Естественный радиационный фон — космическое излучение и излучение, создаваемое природными радионуклидами, содержащимися в земле, воде, воздухе, др. элементах биосферы, в пищевых продуктах, в организме человека и животных.

Радиоактивность – самопроизвольное превращение (распад) ядер элементов, приводящее к изменению их атомного номера или массового числа.

Радиоактивное излучение как самопроизвольное испускание лучей – это естественный процесс, существовавший задолго до образования Земли.

Радиоактивное излучение является частью более общего понятия – ионизирующее излучение.

Ионизирующее излучение – это поток корпускулярной (α-частиц, электронов, протонов, нейтронов и др.) и (или) электромагнитной (рентгеновские, γ-лучи) энергии, связанной с прямым или косвенным возникновением ионов.

α-лучи были идентифицированы как ядра атома гелия, β-лучи представляют поток электронов, а γ-лучи – это поток квантов большой энергии, характеризуемых частотой соответствующего волнового процесса.

γ-лучи отличаются от рентгеновских, возникающих при торможении быстрых электронов в рентгеновских трубках и ускорителях, лишь механизмом образования. Основными свойствами ионизирующих излучений являются проникающая и ионизирующая способность.

Ионизирующая способность характеризует количество ионов, образующихся при движении частицы в среде на единицу расстояния. Она, напротив, максимальна для тяжелых α-частиц и минимальна для γ-излучения.

Интенсивность радиоактивного распада характеризуется активностью.

Основную часть облучения население земного шара получает от естественных источников радиации. Большинство из них таковы, что избежать облучения от них совершенно невозможно. На протяжении всей истории существования Земли разные виды излучения падают на поверхность Земли из космоса и поступают от радиоактивных веществ, находящихся в земной коре. Человек подвергается облучению двумя способами. Радиоактивные вещества могут находиться вне организма и облучать его снаружи; в этом случае говорят о внешнем облучении. Или же они могут оказаться в воздухе, которым дышит человек, в пище или в воде и попасть внутрь организма. Такой способ облучения называют внутренним. Облучению от естественных источников радиации подвергается любой житель Земли, однако одни из них получают большие дозы, чем другие. Это зависит, в частности, от того, где они живут. Уровень радиации в некоторых местах земного шара, там, где залегают особенно радиоактивные породы, оказывается значительно выше среднего, а в других местах -. соответственно ниже. Доза облучения зависит также от образа жизни людей. Применение некоторых строительных материалов, использование газа для приготовления пищи, открытых угольных жаровень, герметизация помещений и даже полеты на самолетах все это увеличивает уровень облучения за счет естественных источников радиации. Земные источники радиации в сумме ответственны за большую часть облучения, которому подвергается человек за счет естественной радиации. В среднем они обеспечивают более 5/6 годовой эффективной эквивалентной дозы, получаемой населением, в основном вследствие внутреннего облучения. Остальную часть вносят космические лучи, главным образом путем внешнего облучения. В этой главе мы рассмотрим вначале данные о внешнем облучении от источников космического и земного происхождении. Затем остановимся на внутреннем облучении, причем особое внимание уделим радону радиоактивному газу, который вносит самый большой вклад в среднюю дозу облучения населения из всех источников естественной радиации. Наконец, в ней будут рассмотрены некоторые стороны деятельности человека, в том числе использование угля и удобрений, которые способствуют извлечению радиоактивных веществ из земной коры и увеличивают уровень облучения людей от естественных источников радиации.

**2.1.1 Космическая радиация**

Радиационный фон, от космических лучей, ответственен за половину всего облучения, получаемого населением от естественных источников радиации.

Космические лучи представлены высокоэнергетическими потоками (примерно 90%), альфа-частицами (около 9%), нейтронами, фотонами, электронами и ядрами легких элементов (1%). Однако планета Земля, входящая в Солнечную систему, имеет свои защитные механизмы от радиационных воздействий, иначе жизнь на Земле была бы невозможна.

На расстоянии от одного до восьми земных радиусов космические частицы отклоняются магнитным полем Земли. Магнитное поле Земли создаёт мощную защиту для человека от космической радиации, хотя и не абсолютную. Часть высокоэнергетических частиц прорывается через магнитное поле и достигает верхних слоев атмосферы. Немногие из них проникают через всю атмосферу и достигают поверхности Земли. Большинство же, сталкиваясь с атомами азота, кислорода, углерода атмосферы, взаимодействуют с ядрами этих атомов, разбивая их, рождая множество новых частиц протонов, нейтронов, мезонов, мезонов, образующих вторичное космическое излучение.

Защититься от этого невидимого "космического душа" невозможно. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Северный и Южный полюсы получают больше космической радиации, чем экваториальные области, так как влияние магнитного поля Земли здесь меньше. Уровень облучения существенно растет с высотой, так как уменьшается слой воздуха, играющего защитную роль Космические лучи, проходя сквозь атмосферу, вызывают появление космогенных радионуклидов, которых сегодня насчитывается около 20. Однако более значительными из них являются изотоп водорода — тритий и углерод-14.

Заряженные частицы, попадая в магнитное поле Земли, образуют так называемые радиационные пояса Земли. Выходу заряженных частиц из радиационных поясов Земли мешает особая конфигурация направлений линий магнитной напряженности, создающих магнитную ловушку. Радиационные пояса Земли были открыты американским ученым Дж. Ван Алленом и русскими физиками С. Н. Верновым и А. Е. Чудановым.

Заряженные частицы в магнитном поле движутся по-разному в зависимости от соотношения плотностей магнитной кинетической энергии. Примерно на расстоянии 10-ти земных радиусов поток заряженных частиц встречает сильное магнитное поле и под действием силы Лоренца изменяется направление их движения. Движение потока заряженных частиц можно представить, как колебательное движение но спиральной траектории вдоль силовых линий магнитного поля из Северного в Южное полушарие и обратно.

Одно колебание вдоль силовой линии из Северного в Южное полушарие протон с энергией 100 МэВ совершает приблизительно за 3 секунды, а время его нахождения в магнитном поле составляет около 100 лет. При этом совершается до 1010 колебаний. В зависимости от энергии и заряда, частицы совершают полный оборот вокруг Земли за время от нескольких минут до суток, двигаясь в западном и восточном направлениях.

Радиационные пояса Земли можно подразделить на внутренний и внешний. Во внутреннем радиационном поясе находятся протоны высоких энергий и электроны. На нижней границе внутреннего пояса на расстоянии 200-300 км от поверхности Земли заряженные частицы испытывают столкновения с атомами и молекулами атмосферы и меняют свою энергию, поглощаясь атмосферой. Во внешнем радиационном поясе находятся электроны с энергией до 100 КэВ и временем «жизни» 105-107 с.

Пояс протонов малых энергий (до 10 МэВ) находится между внутренним и внешним поясами Земли. Зона квазизахвата расположена за внешним поясом и имеет сложную конфигурацию, зависимую от плотности потока космических лучей солнечного ветра.

В годы активного солнца плотность потока энергии солнечного ветра усиливается, граница радиационных поясов отодвигается дальше и становится большим препятствием для космических лучей.

В результате этого, с временной задержкой около года происходит возрастание интенсивности космических лучей на Земле. Время задержки определяется расстоянием, которое проходит солнечный ветер до границ магнитосферы. Радиационные пояса Земли представляют серьезную опасность для экипажей космических кораблей при длительных полетах в околоземном пространстве, если их орбита проходит через область радиационных поясов. Длительное пребывание космических кораблей в радиационном поясе приводит к переоблучению экипажей, выходу из строя оптических приборов и солнечных батарей, находящихся на корабле. В связи с этим проводятся интенсивные исследования при помощи спутников, специальных зондов по определению координат радиационных поясов Земли, а также рассчитываются орбиты космических кораблей для снижения действия радиационного фактора.

Нет такого места на Земле, куда бы не падал этот невидимый космический душ. Но одни участки земной поверхности более подвержены его действию, чем другие. Северный и Южный полюсы получают больше радиации, чем экваториальные области, из-за наличия у Земли магнитного поля, отклоняющего заряженные частицы (из которых в основном и состоят космические лучи). Существеннее, однако, то, что уровень облучения растет с высотой, поскольку при этом над нами остается все меньше воздуха, играющего роль защитного экрана. Люди, живущие на уровне моря, получают в среднем из-за космических лучей эффективную эквивалентную дозу около 300 микрозивертов (миллионных долей зиверта) в год; для людей же, живущих выше 2000 м над уровнем моря это величина в несколько раз больше. Еще более интенсивному, хотя и относительно непродолжительному облучению, подвергаются экипажи и пассажиры самолетов. При подъеме с высоты 4000 м (максимальная высота, на которой расположены человеческие поселения: деревни шерпов на склонах Эвереста) до 12000 в (максимальная высота полета трансконтинентальных авиалайнеров) уровень облучения за счет космических лучей возрастает примерно в 25 раз и продолжает расти при дальнейшем увеличении высоты до 20000 м (максимальная высота полета сверхзвуковых реактивных самолетов) и выше. При перелете из Нью-Йорка в Париж пассажир обычного турбореактивного самолета получает дозу около 50 мкЗв, а пассажир сверхзвукового самолета на 20% меньше, хотя подвергается более интенсивному облучению. Это объясняется тем, что во втором случае перелет занимает гораздо меньше времени. Всего за счет использования воздушного транспорта человечество получает в год коллективную эффективную эквивалентную дозу около 2000 чел-Зв.

**2.1.2 Земная радиация**

В основном, ответственность за естественную земную радиацию несут три семейства радиоактивных элемента — уран, торий и актиний. Указанные радиоактивные элементы нестабильны и, в результате физических превращений, переход в стабильное состояние, сопровождается выделением энергии или ионизирующим излучением.

Главными источниками земной радиации являются радиоактивные элементы, содержащиеся в горных породах, которые образовались в результате геофизических процессов. Наибольшее содержание радиоактивных элементов содержится в гранитных породах и вулканических образованиях. Средняя концентрация радиоактивных изотопов калия-40, Ra-226, Th-232 колеблется у них от 102 до 103 Бк/кг. В течение эволюционных процессов радиоизотопы мигрируют, участвуя в метрологических и геохимических формированиях окружающей среды. В результате соединения со стабильными элементами они участвуют в обменных реакциях живых организмов, тем самым создавая естественную радиоактивность обитателей Земли. К наиболее значимым элементам, обеспечивающим жизнедеятельность живой материи относятся изотопы калия, углерода и трития, а всего в биосфере находится значительно больше радиоактивных элементов, что обуславливает общую радиоактивность человека.

Основную роль в радиоактивность человека вносит калий-40 — около 20 • 103 Бк или 0,2% от общей массы человека, углерод-14 — около 30 • 102 Бк или 18% от общей массы человека, которые поступают в организм человека в основном по пищевой цепочке.

Основные радиоактивные изотопы, встречающиеся в земной коре — калий-40, рубидий-87 и члены двух радиоактивных семейств, берущих начало соответственно от урана-238 и тория-232.

Уровни земной радиации неодинаковы и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения мощность дозы облучения в среднем составляет 0,3-0,6 микрозиверта в год.

Основной естественный радиоактивный элемент на территории Белорусского Полесья с периодом полураспада 1,32 х 109 лет, как дозообразующий фактор — это калий-40, который находится в почвах в виде солей и в живых организмах.

К-40 — слаборадиоактивный элемент, экологически мало опасен, он усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности. В среднем человек получает около 180 мкЗв в год от К-40.

В малых концентрациях естественные источники радиоактивности содержатся в любой почве. Однако, в зависимости от структуры почвы, их больше в гранитных породах, глиноземах и меньше в песчаных и известковых почвах.

Половину годовой индивидуальной эффективной эквивалентной дозы облучения от земных источников радиации человек получает от невидимого, не имеющего вкуса и запаха тяжёлого газа радона. В природе радон встречается в двух основных формах: радон-222, член радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и радон-220, члена радиоактивного ряда тория-232.

Радон в 7,5 раза тяжелее воздуха и является альфа-радиоактивным с периодом полураспада 3,8 суток. После альфа-распада ядро радона превращается в ядро полония. Это также альфа-радиоактивный изотоп с периодом полураспада 3 минуты и наличием дополнительного электрического заряда. Следующие элементы этой цепочки радиоактивных распадов имеют такие же характеристики. Заканчивается ряд стабильным изотопом свинца. Концентрация радона в различных точках земного шара неодинакова.

В процессе развития материального производства, технологий, человек может локально изменить распределение естественных источников радиации, что приводит к повышенному облучению. Такими примерами являются полеты на самолетах, применение материалов с повышенной концентрацией радионуклидов, использование каменного угля и природного газа. Наблюдаемые при этом повышенные уровни излучения называются технологически повышенным естественным радиационным фоном (ТПЕРФ).

Нельзя недооценивать ионизирующее излучение от телевизоров и, в особенности, от дисплеев компьютеров. Это излучение, в некоторых случаях, может превышать естественные фоновые уровни.

Дополнительное облучение от естественных источников радиации составляет около 1% коллективной дозы, хотя в некоторых случаях для отдельных групп людей этот вклад может стать существенным по сравнению с естественным фоном.

В некоторых районах с повышенным содержанием тория в почве или радия в воде (упоминавшиеся районы Индии, Бразилии, Франции, Ирана и др.) мощность поглощенной дозы на 1-2 порядка превышает среднемировые показатели. Разумеется, уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. В местах проживания основной массы населения они примерно одного порядка. Так, согласно исследованиям, проведенным во Франции, ФРГ, Италии, Японии и США, примерно 95% населения этих стран живет в местах, где мощность дозы облучения в среднем составляет от 0,3 до О,6 миллизиверта (тысячных зиверта) в год. Но некоторые группы населения получают значительно большие дозы облучения: около 3% получает в среднем 1 миллизиверт в год, а около 1,5% более 1,4 миллизиверта в год. Есть, однако, такие места, где уровни земной радиации намного выше. Неподалеку от города Посус-ди-Кал в Бразилии, расположенного в 200 км к северу от Сан-Паулу, есть небольшая возвышенность. Как оказалось, здесь уровень радиации в 800 раз превосходит средний и достигает 250 миллизивертов в год. По каким-то причинам возвышенность оказалась необитаемой. Однако лишь чуть меньшие уровни радиации были зарегистрированы на морском курорте, расположенном в 600км к востоку от этой возвышенности. Гуарапари небольшой город с населением 12000 человек каждое лето становится местом отдыха примерно30000 курортников. На отдельных участках его пляжей зарегистрирован уровень радиации 175 миллизивертов в год. Радиация на улицах города оказалась намного ниже от 8 до 15 миллизивертов в год, но все же значительно превышала средний уровень. Сходная ситуация наблюдается в рыбацкой деревушке Меаипе, расположенной в 50 км к югу от Гуарапари. Оба населенных пункта стоят на песках, богатых торием. В другой части света, на юго-западе Индии, 70000 человек живут на узкой прибрежной полосе длиной 55 км, вдоль которой также тянутся пески, богатые торием. Исследования, охватившие 8513 человек из числа проживающих на этой территории, показали, что данная группа лиц получает в среднем 3,8 миллизиверта в год на человека. Из них более 500 человек получают свыше 8,7 миллизиверта в год. Около шестидесяти получают годовую дозу, превышающую 17 миллизивертов, что в 50 раз больше средней годовой дозы внешнего облучения от земных источников радиации. Эти территории в Бразилии и Индии являются наиболее хорошо изученными <<горячими точками>> нашей планеты. Но в Иране, например в районе городка Рамсер, где бьют ключи, богатые радием, были зарегистрированы уровни радиации до 400 миллизивертов в год. Известны и другие места на земном шаре с высоким уровнем радиации, например во Франции, Нигерии, на Мадагаскаре. По подсчетам НКДАР ООН средняя эффективная эквивалентная доза внешнего облучения, которую человек получает за год от земных источников естественной радиации, составляет примерно 350 микрозивертов, т. е. чуть больше средней индивидуальной дозы облучения из-за радиационного фона, создаваемого космическими лучами на уровне моря.

**2.1.3 Внутреннее облучение**

В среднем примерно 2/3 эффективной эквивалентной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает от радиоактивных веществ, попавших в организм с пищей, водой и воздухом. Совсем небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы типа углерода-14 и трития, которые образуются под воздействием космической радиации. Все остальное поступает от источников земного происхождения. В среднем человек получает около 180 микрозивертов в год за счет калия-40, который усваивается организмом в месте с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для жизнедеятельности организма. Однако значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232. Некоторые из них, например нуклиды свинца-210 и полония-210, поступают в организм с пищей. Они концентрируются в рыбе и моллюсках, поэтому люди, потребляющие много рыбы и других даров моря, могут получить относительно высокие дозы облучения. Десятки тысяч людей на Крайнем Севере питаются в основном мясом северного оленя (карибу), в котором оба упомянутых выше радиоактивных изотопа присутствуют в довольно высокой концентрации. Особенно велико содержание полония-210. Эти изотопы попадают в организм оленей зимой, когда они питаются лишайниками, в которых накапливаются оба изотопа. Дозы внутреннего облучения человека от полония-210 в этих случаях могут в 35 раз превышать средний уровень. А в другом полушарии люди, живущие в Западной Австралии в местах с повышенной концентрацией урана, получают дозы облучения, в 75 раз превосходящие средний уровень, поскольку едят мясо и требуху овец и кенгуру. Прежде чем попасть в организм человека, радиоактивные вещества, как и в рассмотренных выше случаях, проходят по сложным маршрутам в окружающей среде, и это приходится учитывать при оценке доз облучения, полученных от какого-либо источника.

В совместном докладе ученых Всемирной и Панамериканской организации здравоохранения "Воздействие на здоровье людей повышенного естественного фона" отмечалось: "Вопреки ожиданиям не выявлено влияние относительно повышенного фона на смертность от онкопатологии, на частоту врожденных аномалий, отклонений в физическом развитии, индекс плодовитости женщин, частоту наследственной патологии, детскую смертность, соотношение полов и частоту спонтанных абортов".

**2.2 Источники радиации, созданные человеком (техногенные)**

Техногенные источники радиационного облучения существенно отличаются от естественных не только происхождением. Во-первых, сильно различаются индивидуальные дозы, полученные разными людьми от искусственных радионуклидов. Обычно эти дозы малы, но облучение за счет искусственных источников намного интенсивнее, чем у естественных. Во-вторых, для искусственных источников вариабельность выражена гораздо сильнее, чем для естественных. В конце концов, загрязнение от искусственных источников радиационного излучения (кроме радиоактивных осадков в результате ядерных взрывов) легче контролировать, чем природное обусловленное загрязнение.

Атомная энергия используется человеком в различных целях: в медицине, для производства энергии и обнаружения пожаров, для изготовления светящихся циферблатов часов, для поиска полезных ископаемых и, наконец, для создания атомного оружия.

Самый существенный вклад в загрязнение от искусственных источников вносят, различны медицинские процедуры и методы лечения, связанные с применением радиоактивности, такие как рентгенография и лечение, связанное с использованием радиоизотопов. Но облучение в медицине не так опасно, если им не злоупотреблять. К сожалению, часто к пациенту применяются неоправданно большие дозы.

Следующий источник облучения, созданный руками человека – радиоактивные осадки, выпавшие в результате испытания ядерного оружия в атмосфере, и, несмотря на то, что основная часть взрывов была произведена еще в 1950–1960г., их последствия мы испытываем на себе и сейчас. В результате взрыва часть радиоактивных веществ выпадает неподалеку от полигона, часть задерживается в тропосфере и затем в течение месяца перемещается ветром на большие расстояния, постепенно оседая на землю, при этом оставаясь примерно на одной и той же широте. Однако большая доля радиоактивного материала выбрасывается в стратосферу и остается там более продолжительное время, также рассеиваясь по земной поверхности. Радиоактивные осадки содержат большое количество различных радионуклидов, но из них наибольшую роль играют цирконий–95, цезий–137, стронций–90 и углерод–14, периоды полураспада которых составляют соответственно 64 суток, 30 лет (цезий и стронций) и 5730 лет.

По данным НКДАР, ожидаемая суммарная коллективная эффективная эквивалентная доза от всех ядерных взрывов, произведенных к 1985 году, составляла 30 000 000 чел.–Зв. К 1980 году население Земли получило лишь 12% этой дозы, а остальную часть получает до сих пор и будет получать еще миллионы лет.

Так же один из самых обсуждаемых сегодня источников радиационного излучения – это атомная энергетика. На самом деле, при нормальной работе ядерных установок ущерб от них незначительный. Основной вклад в загрязнение окружающей среды, посредством атомной энергетики, вносит производство и утилизация ядерного топлива

Ядерный топливный цикл начинается с добычи и обогащения урановой руды, затем производится само ядерное топливо, а после отработки топлива на АЭС иногда возможно вторичное его использование через извлечение из него урана и плутония. Завершающей стадией цикла является, как правило, захоронение радиоактивных отходов.

На каждом этапе происходит выделение в окружающую среду радиоактивных веществ, причем их объем может сильно варьироваться в зависимости от конструкции реактора и других условий. Кроме того, серьезной проблемой является захоронение радиоактивных отходов, которые еще на протяжении тысяч и миллионов лет будут продолжать служить источником загрязнения.

Дозы облучения различаются в зависимости от времени и расстояния. Чем дальше от станции живет человек, тем меньшую дозу он получает. Из продуктов деятельности АЭС наибольшую опасность представляет тритий. Благодаря своей способности хорошо растворяться в воде и интенсивно испаряться, тритий накапливается в использованной в процессе производства энергии воде и затем поступает в водоем–охладитель, а соответственно, в близлежащие бессточные водоемы, подземные воды, приземной слой атмосферы. Период его полураспада равен 3,82 суток. Распад его сопровождается альфа–излучением. Повышенные концентрации этого радиоизотопа зафиксированы в природных средах многих АЭС.

До сих пор речь шла о нормальной работе атомных электростанций, но на примере Чернобыльской трагедии мы можем сделать вывод о чрезвычайно большой потенциальной опасности атомной энергетики: при любом минимальном сбое АЭС, особенно крупная, может оказать непоправимое воздействие на всю экосистему Земли.

Масштабы Чернобыльской аварии не могли не вызвать оживленного интереса со стороны общественности. Но мало кто догадывается о количестве мелких неполадок в работе АЭС в разных странах мира[3].

**3 Дозиметрия**

Существенной задачей, стоящей перед радиоэкологией, а также перед радиобиологией и радиационной медициной, является поиск и анализ таких физических величин, которые связаны с наблюдаемым (ожидаемым) радиационным эффектом. Эти величины получили название дозиметрических. Так как первопричиной радиационных эффектов является поглощение энергии излучения облучаемым объектом. то основной современной дозиметрической величиной стала доза, выступающая как мера поглощенной энергии.

Дозиметрия ионизирующих излучений – это наука, предметом изучения которой являются принципы и методы определения таких физических величин, характеризующих поле излучения или взаимодействие излучения с веществом, которые связаны с ожидаемым радиационным эффектом. Измеряемые физические величины становятся дозиметрическими величинами только после того, как установлена их связь с ожидаемым радиационным эффектом. Вне этой связи дозиметрические измерения теряют смысл. По мере становления и развития радиологии, радиобиологии и радиационной экологии представления об этих связях, да и о самих радиационных эффектах, менялись. Это естественно приводило и приводит к прогрессу в дозиметрии, появлению новых понятий и исчезновению старых.

Постепенно сложились современные представления о схеме радиационного воздействия, основные понятия и термины. Согласно этой схеме, наличие в пространстве потоков ионизирующих частиц и квантов создает там поле излучения. Под полем излучения в дозиметрии понимают область пространства, каждой точке которой соответствуют физические величины (скалярные или векторные), являющиеся характеристиками поля излучения. Характеристики поля определяют пространственно–временное распределение излучения в рассматриваемой среде. Это поле может формироваться внешними источниками косвенно и непосредственно ионизирующих частиц, а также внутренними источниками, находящимися в пределах данного объема (например, инкорпорированными радионуклидами). С этой точки зрения вся биосфера находится в поле излучения, создаваемого космическим излучением, радионуклидами, находящимися в подстилающих породах, почве, воде и воздухе, а также инкорпорированными в живые ткани.

Пространственное, угловое и энергетическое распределение плотности потока частиц всех видов в каждый момент времени является фундаментальным и полным описанием поля излучения. Зная характеристики поля в заданной точке пространства, можно для этой точки рассчитать любую дозиметрическую величину, а также отклик дозиметрического детектора, помещенного в эту точку. Помещение в это поле какого–либо объекта вызывает возмущение поля. Воздействие этого поля на такой объект принято называть его облучением.

Возникновение дозиметрии было исторически связано с необходимостью защиты человека от воздействия рентгеновского излучения, так как сразу после его открытия в 1895г. было обнаружено его вредное действие на человека. Возникла необходимость быстро организовать количественную оценку степени радиационной опасности. Для этих целей стали использовать: фотографический эффект (фотодозиметры), измерение заряда ионов, возникших в результате ионизации, флюоресценцию, тепловой эффект, а также химические методы. Измеряемые эффекты и величины затем теоретически осмысливались. Измерения этих величин, характеризующих рентгеновское излучение и его взаимодействие со средой, выделились затем в самостоятельную область дозиметрии – рентгенометрию.

Именно в рентгенометрии определились основные величины, подлежащие измерению, и сформировались основы современной дозиметрии[6].

**3.1 Экспозиционная доза**

С 1942г. вопросы радиационной безопасности стали приобретать все большее значение, затрагивая интересы работников атомной промышленности, а после 1945г. и интересы широких слоев населения. Постепенно дозиметрия становится нужной не только физикам и медикам, но и экологам, биологам, химикам, работникам промышленности и сельского хозяйства, связанным с использованием ионизирующих излучений.

Так как вначале чаще всего имели дело с рентгеновским излучением, распространяющимся в воздухе, то в качестве количественной меры поля излучения стали применять результат измерения ионизации воздуха вблизи рентгеновских трубок или аппаратов. Появилось понятие – экспозиционная доза. Эта величина была введена в дозиметрии только для характеристики поля фотонного излучения в воздухе. Она равна абсолютному значению полного заряда ионов одного знака, которые образуются в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, освобожденных фотонами в единице массы воздуха. Обозначим экспозиционную дозу через Dexp, тогда:

Dexp = dQ/dm,

где dQ – суммарный заряд всех ионов одного знака, созданных в воздухе при полном торможении электронов и позитронов, освобожденных фотонным излучением в массе воздуха dm.

Заряд dQ включает заряд всех ионов одного знака, созданных в результате полного использования кинетической энергии электронов и позитронов в воздухе независимо от места образования этих ионов; имеется в виду, что эти ионы созданы только теми электронами и позитронами, которые возникли в массе воздуха dm. Единицей экспозиционной дозы в системе CИ является Кл/кг, однако и в XXI столетии продолжают широко использовать старую внесистемную единицу рентген (Р).

1 Р = 2,58·10–4 Кл/кг.

Здесь важно понимать, что как Dexp , так и любая другая доза излучения, зависит от времени облучения; с течением времени доза накапливается. Изменение дозы в единицу времени называется мощностью дозы. Мощность дозы мы будем обозначать буквой Р с индексом, указывающим на то, о какой дозе идет речь. Например, мощность экспозиционной дозы есть:

Pexp =dDexp/dt,

где dDexp – изменение экспозиционной дозы за время dt.

Мощность дозы в общем случае является функцией времени – P(t). Если эта функция известна, то легко можно сосчитать дозу за некоторый интервал времени от t1 до t2. Если мощность дозы постоянна во времени, то:

D = (t2 – t1)·P.

Вероятность взаимодействия фотонного излучения с веществом, состоящим из химического элемента с порядковым номером Z, сложным образом зависит от Z. Когда вещество образуется из атомов нескольких химических элементов, то в плане поглощения в нем излучения оно может характеризоваться эффективным атомным номером Zэф. Значения этого параметра для воздуха (7,64) и для мягких тканей человека (7,42), подвергающегося облучению рентгеновским излучением с малой энергией, практически совпадают. Иными словами, относительный вклад фото– и Комптон–эффектов, ответственных за ионизацию атомов этих веществ, одинаков и в воздухе, и в облучаемых тканях. Поэтому, измеряя ионизационный эффект в воздухе и характеризуя таким образом поле рентгеновского излучения в интересующей нас области, можно достаточно корректно оценивать ионизацию мягкой ткани, помещенной в это поле. Принципиальную возможность такого пересчета обосновали английские физики В.Г. Брэгг и Л.Г. Грей.

Очень скоро стали проявляться и трудности, стоящие на пути такого подхода. Действительно, по мере совершенствования рентгеновских трубок и повышения напряжения на них до ~200кэВ для облучения более глубоко лежащих очагов заболеваний выяснилась ограниченность понятия Dexp. При одной и той же величине Dexp в одном и том же поле излучения радиационный эффект оказывался разным в мягких и костных тканях. Причина достаточно ясна. Для костных тканей Zэф ~13,8 и поэтому в поле излучения с данным значением Dexp мы уже не можем пренебречь различием в Zэф так, как мы это делали в случае воздуха и мягких тканей. При данном значении Dexp из–за большего значения Zэф в костной ткани будет образовываться большее число фотоэлектронов и происходить большая передача энергии. Таким образом, при одной и той же экспозиционной дозе, т. е. в одном и том же поле излучения, воде будет передана меньшая энергия, чем веществу середины таблицы Менделеева и тем более тяжелым элементам.

**3.2 Поглощённая доза**

Для оценки радиационного воздействия проникающих излучений было предложено определять энергию, поглощенную облучаемым веществом. В дозиметрию вошло понятие: поглощенная доза, т. е. энергия, поглощенная единицей массы вещества, на которое действует поле излучения. Поглощенная доза принята в настоящее время в дозиметрии как самая фундаментальная, количественная мера действия ионизирующего излучения на вещество. Часто ее называют просто доза излучения. Согласно определению, доза излучения – это рассчитанная на единицу массы облученного вещества поглощенная энергия излучения. Если в элементе объема, содержащем массу вещества dm, средняя поглощенная энергия равна dE, то (поглощенная) доза излучения D определяется выражением:

D = dE/dm.

Ее единица в системе СИ – джоуль на килограмм – называется грей (Гр). До 1980–х гг. использовалась внесистемная единица – рад.

1Гр = 100рад.

Для мягких тканей, находящихся в поле рентгеновского или γ–излучения, экспозиционной дозе 1Р примерно соответствует поглощенная доза 1рад. Так как в течение более чем 50 первых лет работы с ионизирующими излучениями измерения сводились обычно к определению экспозиционной дозы, то для пересчетов к поглощенной дозе стали использовать соотношение: 1Р ~ 1рад, хотя если быть точнее, то 1Р = 0,88рад. Несомненно, в определенных пределах между поглощенной дозой и радиационным эффектом существует прямая зависимость: чем больше поглощенная доза, тем больше радиационный эффект. Самой эффектной демонстрацией зависимости радиационного эффекта от дозы облучения является почернение фотопленки в поле рентгеновского излучения.

Как только мы переходим к практическим приложениям, особенно к последствиям облучения живых тканей, одной поглощенной дозы оказывается недостаточно для характеристики результата воздействия. Оказывается, что результат воздействия излучения на объект определяется не только поглощенной энергией, но и характером распределения этой энергии в облучаемом объекте, распределением облучения во времени, видом излучения и другими факторами, значимость которых различна в зависимости от условий облучения и рода измеряемого радиационного эффекта.

Самым существенным оказалось то, что биологические эффекты облучения, при прочих равных условиях, оказываются разными для разных видов излучения. Более того, даже частицы одной природы, но разных энергий могут вызывать неодинаковый эффект при одной и той же поглощенной дозе. В то же время, различие в физической природе частиц не является главным фактором различия в биологических радиационных эффектах.

Свойства ионов не зависят от причины, в результате которой они возникли, а следовательно, и от природы ионизирующих частиц. Существенным же фактором является то, что разные виды излучений создают ионы с неодинаковым пространственным распределением. Например, тяжелые заряженные частицы создают более плотный трек ионов, чем легкие. Различными оказываются диапазоны энергий, передаваемых δ–электронам, которые по–своему влияют на пространственное распределение ионов. Значительные различия обнаруживаются в микроскопическом распределении ионизации.

Физической величиной, призванной учитывать пространственное распределение переданной энергии, является линейная передача энергии – ЛПЭ (LΔ):

LΔ = (dE/dl)Δ

Это выражение напоминает выражение для тормозной способности вещества. Здесь dE – средние энергетические потери, обусловленные такими столкновениями на пути dl, при которых переданная энергия меньше заданного значения Δ. Пороговую энергию Δ обычно соотносят с энергией δ–электронов. При рассмотрении проблем, связанных с радиационной экологией, пороговая энергия не ограничена и линейная передача энергии L совпадает с тормозной способностью.

Линейная передача энергии зависит от кинетической энергии заряженной частицы. Энергия частицы уменьшается по мере проникновения ее в глубь вещества. Как следствие, изменяется и значение ЛПЭ, которая выступает как характеристика качества излучения. Под качеством в дозиметрии понимается такая характеристика излучения, которая имеет одно и то же значение у разных видов излучения, если при одинаковых условиях облучения данного объекта и одинаковой дозе наблюдается один и тот же радиационный эффект. Таким образом, радиационное действие излучений одинакового качества, в том числе излучений разных видов, должно быть одинаковым при равных дозах. Универсальной величины, которая полностью определяла бы качество излучения, нет[7].

**4 Относительная биологическая эффективность ионизирующих излучений**

Ранее мы отмечали, что разные по природе излучения, теряя одну и ту же энергию в биологическом объекте, приводят к разным последствиям. В то же время универсальной величины, которая полностью определяла бы качество излучения, нет. Тем не менее во многих случаях, особенно в области противорадиационной защиты, ЛПЭ оказывается удобной физической характеристикой качества излучения. Более того, теперь мы знаем, что и радиомодифицирующий эффект зависит от ЛПЭ.

В радиобиологии для количественной оценки качества излучения было введено понятие относительной биологической эффективности (ОБЭ). ОБЭ – это отношение поглощенной дозы образцового излучения – D0, вызывающего определенный биологический эффект, к поглощенной дозе данного излучения – Dx, вызывающего тот же биологический эффект:

ОБЭ = D0/Dx

ОБЭ зависит от многих факторов и определяется в конкретных условиях радиобиологического эксперимента. Если ЛПЭ характеризует существенные физические аспекты излучений, то ОБЭ призвана сделать это же в биологическом плане. Естественно, что они должны быть связаны между собой. В первом приближении можно считать, что при тщательном соблюдении экспериментальных условий для сравниваемого эффекта ОБЭ зависит только от ЛПЭ. Т. к. ЛПЭ связана с проникающей способностью ионизирующих излучений, то точная оценка ОБЭ может быть сделана лишь с учетом особенностей распределения дозы в облучаемом биообъекте. При невыполнении этого обязательного требования неизбежна неправильная интерпретация полученных результатов исследования. Поэтому корректные оценки ОБЭ и ее зависимость от ЛПЭ получены лишь в тех случаях, когда в качестве системы изучения используют клетки или другие мелкие объекты, в которых энергия излучения распределяется равномерно по всему объему.

Чтобы качественно понять, почему ОБЭ вначале должно увеличиваться с ростом ЛПЭ, обратимся к рисунку 2. На рисунке схематически представлено распределение актов ионизации вдоль треков заряженных частиц различной природы и энергии в микрообъеме (от поражения которого зависит проявление регистрируемой реакции). Видно, что эффективный объем может совсем не поражаться, если речь идет о редкоионизирующем излучении – электроны с энергией 500кэВ на рисунке 2; с ростом ЛПЭ вероятность поражения увеличивается.

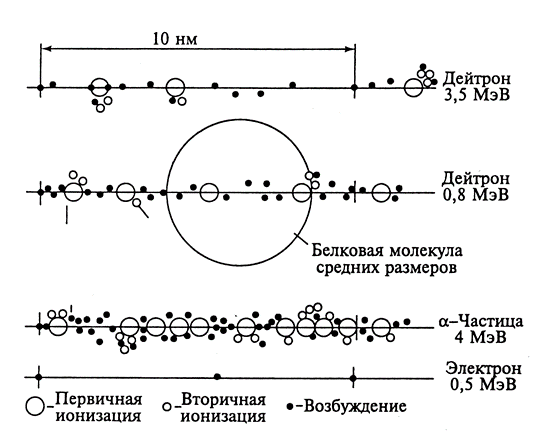


Рисунок 2 – Отрезки траекторий различных заряженных частиц, дающие представление о распределении актов ионизации и возбуждения

Если первое приближение нас не удовлетворяет, то мы обнаруживаем, что величина ОБЭ зависит не только от вида излучения и его ЛПЭ, но и от исследуемого эффекта, а также от множества других факторов. Такими факторами являются величина и мощность дозы, до– и пострадиационные условия, режим фракционирования, наличие, дефицит или отсутствие кислорода. ОБЭ зависит от дозы и ее распределения во времени.

Очевидно, что с ростом ЛПЭ повышается поражаемость клеток и снижается их способность к восстановлению. Соотношение ЛПЭ и ОБЭ имеет максимум. Заметный рост ОБЭ начинается с ЛПЭ, равной 10кэВ/мкм, достигает максимального значения при ЛПЭ ~100кэВ/мкм, а с последующим увеличением ЛПЭ резко падает.

Это обусловлено тем, что гибель клетки происходит после поглощения достаточного количества энергии в ее критическом объеме. С ростом ЛПЭ вероятность поражения увеличивается, но после некоторого значения ЛПЭ наступает насыщение, и каждая последующая частица теряет энергию уже в пораженной клетке. После оптимального значения ЛПЭ, когда наблюдается максимум пораженных клеток на единицу дозы (т. е. разменивается ровно столько энергии, сколько нужно для поражения всех мишеней), наступает эффект избыточного поражения. Эффективность излучений с такой высокой ЛПЭ падает, так как энергия расходуется «вхолостую».

К подобным результатам приводят исследования по сравнению последствий однократного и фракционированного облучений одинаковыми дозами плотноионизирующих излучений, например нейтронами и рентгеновским излучением. Оказывается, что при фракционированном облучении различия в дозах выражены в значительно большей степени, чем при однократном. При пролонгированном или фракционированном облучении ОБЭ плотноионизирующих излучений относительно редкоионизирующих значительно увеличивается по сравнению с однократным воздействием. Это обусловлено характерными для облучения редкоионизирующими излучениями процессами восстановления, облегчающимися при пролонгировании или фракционировании облучения.

В настоящее время концепция ОБЭ используется в тех случаях, когда могут быть строго учтены все условия эксперимента, а различия в биологическом действии сравниваемых видов излучения определяются лишь свойствами последних. Во всех остальных случаях (сюда же входят все практически важные случаи) знание величины поглощенной дозы недостаточно для точного предсказания ни степени тяжести, ни вероятности возникновения эффектов поражения.

Для целей радиационной защиты вместо отношения доз, индуцирующих одинаковый биологический эффект, т. е. ОБЭ, ввели отношения доз, индуцирующих равные эффекты (независимо от механизма их возникновения). Эти отношения получили наименование – взвешивающие коэффициенты для отдельных видов излучения (WR).

Численные значения WR, конечно, зависят от ЛПЭ излучения. Такую зависимость можно установить на основе обобщения и анализа данных по ОБЭ с учетом накопленных знаний по последствиям облучения, а никак не путем прямого наблюдения этой связи. Так как вода является основным компонентом клетки и всего организма человека, то для анализа (установления) этой зависимости можно взять средние значения ЛПЭ в воде.

**4.1 Эквивалентная доза**

В конечном итоге для целей радиационной защиты была введена так называемая эквивалентная доза, которая лучше, чем поглощенная доза, коррелирует с возможными неблагоприятными последствиями профессионального облучения. Эквивалентная доза (HT,R) это поглощенная доза в Т–ом органе или ткани, умноженная на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного вида излучения, WR:

HT,R = WR \* DT,R

где DT,R – средняя поглощенная доза в органе или ткани T,

WR – взвешивающий коэффициент для излучения R.

При воздействии различных видов излучения с различными взвешивающими коэффициентами эквивалентная доза определяется как сумма эквивалентных доз для этих видов излучения. Единица эквивалентной дозы названа по имени шведского ученого Р. Зиверта, первого председателя МКРЗ, созданной в 1928г., – зивертом (Зв). Внесистемной единицей эквивалентной дозы является бэр. Он равен сотой части 1Зв. При дозе 1Зв и взвешивающем коэффициенте WR поглощенная энергия равна 1/WR Дж/кг.

**4.2 Эффективная доза**

Разные органы одного организма облучаются, как правило, по–разному. Для точного предсказания степени тяжести или вероятности возникновения эффектов радиационного поражения помимо понятия эквивалентная доза потребовалось ввести и понятие эффективная доза. Эффективная доза при неравномерном по органам и тканям облучении организма равна такой эквивалентной дозе при равномерном облучении, при которой риск неблагоприятных последствий для человека в целом оказывается тем же самым, что и при данном неравномерном облучении.

Эффективная доза – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органах HT, на соответствующие взвешивающие коэффициенты для данных органов или тканей:

Е = ∑WT\*HT

где HT – эквивалентная доза в ткани T ,

WT – взвешивающий коэффициент для ткани T.

Понятия эквивалентной и эффективной доз и взвешивающие коэффициенты применяют только для целей радиационной защиты при достаточно низких дозах излучения. То есть тогда, когда различия в эффективности редко– и плотноионизирующих излучений проявляются особенно ярко. При больших дозах (свыше 10 предельно допустимых доз) используют поглощенную дозу, выраженную в Греях, и соответствующие рассматриваемым видам излучения коэффициенты ОБЭ, которые меньше взвешивающих коэффициентов[8].

**5 Воздействие радиации**

Вскоре после открытия ионизирующих излучений стало очевидным, что люди должны изучать вызываемые ими биологические эффекты для защиты самих себя и других биологических видов от их вредных воздействий. Многолетние систематические исследования в лабораториях, разбросанных по всему миру, дали больше информации о биологических эффектах излучений, чем об эффектах, вызываемых в окружающей среде любым другим поллютантом.

Рассмотренные нами основные сведения о явлении радиоактивности, радионуклидах и ионизирующих излучениях необходимы, но недостаточны для понимания биологических последствий облучения. Как следствие, они недостаточны и для понимания процессов, приводящих к радиоэкологическим эффектам, если последние имеют место.

Биологические эффекты ионизирующих излучений наблюдаются после поглощения исключительно малого количества энергии. Облучение летальной для млекопитающих дозой ~10Гр эквивалентно повышению их температуры не более, чем на ~0,01°С. Для человека – тепловой эффект менее, чем от чашки теплого чая. Самый незначительный ожог сопровождается передачей большего количества энергии.

Для того, чтобы понять, почему все же наблюдаются последствия и иногда очень серьезные, необходимо разобраться в том, что Н.В. Тимофеев–Рессовский называл основным радиобиологическим парадоксом. Парадокс заключается в несоответствии между малостью поглощенной энергии и крайней степенью выраженности реакций биологического объекта вплоть до летального эффекта. Наукой, изучающей общие закономерности биологического ответа на ионизирующие излучения, является радиобиология.

Отличительной чертой радионуклидов, как поллютантов, является то, что в живой и неживой природе нет химических процессов, не подверженных воздействию ионизирующих излучений, так как энергия последних всегда превосходит энергию межатомных, межмолекулярных и внутримолекулярных связей. В экологическом плане нет других поллютантов, «равно эффективно» воздействующих на макромолекулы, фаги, вирусы, простейшие, клеточные, тканевые и органные культуры, многоклеточные растительные и животные организмы, на человека, популяции и биоценозы. В то же время огромное значение приобретает то обстоятельство, что непосредственно наблюдаемые на молекулярном уровне или уровне структур клетки результаты часто приходится экстраполировать на высшие уровни. Здесь необходимо проявлять особую осмотрительность и взвешенность в суждениях, например, при оценке радиационно–генетических последствий облучения.

Поражающее действие ионизирующих излучений связано с повреждением биологически важных макромолекул. В клетке, представляющей для нас основной интерес, такими молекулами, в первую очередь, являются нуклеиновые кислоты, дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК), а также линейные полимеры, состоящие из нуклеотидов, содержащих аденин, гуанин, цитозин, тимин и урацил. Они хранят биологическую информацию, передают её потомству и реализуют информацию, записанную в ДНК, при биосинтезе белков.

Ионизацию молекул («мишеней») принято называть прямым действием радиации. Даже при летальной дозе ~10Гр только ничтожная доля ~5·10–8 от общего числа атомов и молекул, образующих клетку организма человека, оказывается затронутой процессом ионизации. Его результатом является изменение ДНК и других макромолекул, а также образование нескольких высокореакционных продуктов из молекул воды, составляющей основной компонент клетки. Это первый, но не единственный механизм, вызывающий биологические эффекты.

Продукты радиолиза воды реагируют как между собой, так и с макромолекулами клетки, приводя к разрушению последних. Этот путь лучевого поражения жизненно важных структур клетки носит в радиобиологии название косвенного механизма действия излучения. Основное повреждение макромолекулам клетки наносят теперь свободные радикалы – продукты радиолиза. Свободный радикал – это молекула или ее часть, имеющая неспаренный электрон (свободную валентность).

Выделение энергии ионизирующих излучений в ключевых структурах, в первую очередь в ДНК, т. е. «прямое действие» излучений, ответственно, согласно С.П. Ярмоненко и А.А. Вайнсону, только за 10–20% лучевого поражения. «Косвенное действие» радиации, при котором поражение критических структур осуществляется продуктами радиолиза окружающей их воды, ответственно за 80–90% лучевого поражения.

То, что косвенное действие радиации ответственно за большую часть повреждений биомолекул, открывает возможность усиливать или ослаблять действие радиации с помощью химических модификаторов. Продукты радиолиза, и в первую очередь свободные радикалы, характеризуются чрезвычайно высокой реакционной способностью и время их существования составляет от секунды до 10с. За это время радикалы или освобождаются от неспаренного электрона, передавая его другой молекуле, или отнимают у нее электрон для образования пары и превращения тем самым радикала в «стабильную» молекулу. При этом наряду с реализацией повреждения может произойти и восстановление исходного состояния.

Вероятность поражения тех или иных молекул в клетке определяется их размером: чем крупнее молекула, тем больше вероятность попадания в нее. Поэтому в качестве основной мишени радиационного поражения клетки обычно рассматривается ДНК. Общая длина всех молекул ДНК в клетке человека составляет около 2м. ДНК распределена по 46 хромосомам. Основой молекулы ДНК являются две нити (также называемые цепями, или цепочками), построенные из повторяющихся участков (звеньев), образуемых дезоксирибозой (относящейся в химическом плане к сахарам) и фосфорной кислотой, которые, в свою очередь, соединены между собой эфирными связями.

При разрыве одной из нитей говорят об однонитевом или одиночном разрыве. Такие разрывы постоянно возникают в клетке вследствие тепловой нестабильности ДНК и в результате некоторых окислительных и ферментативных процессов. Существование клетки было бы невозможным, если бы она не обладала системами репарации ДНК. Предполагается, что при облучении возникают не только одиночные разрывы, аналогичные возникающим спонтанно, но и более сложные, при которых в скелете ДНК рядом находится сразу несколько разорванных связей; такие разрывы репарируются хуже, чем возникающие в нормальных условиях. Совпадение разрывов противоположных нитей ДНК в одной точке приводит к появлению двойных (двунитевых) разрывов.

При одной и той же поглощенной дозе чем больше ЛПЭ, тем менее равномерно будет распределена переданная энергия по длине молекулы ДНК. Общее число очагов поражения будет меньшим, зато число двойных разрывов на единицу дозы оказывается выше, чем при действии редко ионизирующих видов радиации. Тяжесть поражения клетки с увеличением доли двойных разрывов возрастает.

При дозе ~2Гр в клетке происходит около полумиллиона актов ионизации, что вместе с последствиями радиолиза приводит к гибели от 10 до 90% клеток разных тканей человека. В ДНК одной клетки образуется при этом около 2000 однонитевых и 80 двунитевых разрывов, повреждается 1000 оснований и формируется 300 сшивок с белком. Поражение ДНК соматических клеток лежит в основе радиационной гибели самой облученной клетки, а также длительного нарушения деления ее потомков и их злокачественного перерождения, а при поражении ДНК зародышевых клеток – и генетических последствий в потомстве[4].

Двунитевые разрывы ДНК репарируются менее эффективно и с большим числом ошибок, чем однонитевые разрывы. Неотрепарированные или ошибочно репарированные повреждения приводят к снижению клоногенной активности клетки (способности клетки к неограниченному делению с образованием жизнеспособных потомков), аберрациям хромосом и различного рода мутациям.

В клетках лимфоидного происхождения, а также у части клеток другого генеза обнаружено явление апоптоза, или программируемой гибели клеток. Биологический смысл такой гибели состоит в недопущении размножения клеток с ошибками в генетическом аппарате.

На клеточном уровне радиационные нарушения ДНК проявляются в сроки от нескольких часов до многих лет после воздействия. Наиболее быстро проявляется радиационная задержка клеточного деления. Она была обнаружена вскоре после открытия рентгеновских лучей и это послужило основанием к применению ионизирующих излучений для подавления роста опухолей.

Классическим проявлением лучевого поражения клеток являются хромосомные аберрации (перестройки). Они были обнаружены в самом начале радиобиологических исследований и отражают образование разрывов молекулы ДНК и дефекты ее репарации. Разрывы приводят к фрагментации хромосомы. Под фрагментом понимают ту часть хромосомы, которая не связана с центромерой. Неверное воссоединение разрывов, когда при репарации происходит соединение участков ДНК из разных мест одной и той же хромосомы или разных хромосом, во время митоза проявляется в виде хромосомных перестроек.

Хромосомные аберрации используют для оценки поглощенных доз при облучении человека. Для этого используют культуру лимфоцитов периферической крови. Количество наиболее хорошо различимых аберраций – дицентриков и кольцевых хромосом – возрастает в зависимости от дозы согласно линейно–квадратичному закону. При летальной для человека дозе редко ионизирующих излучений ~5Гр на каждый делящийся лимфоцит приходится в среднем одна аберрация. Метод дает возможность оценить полученную дозу, начиная с 0,25Гр, однако при таких небольших дозах необходима большая статистика.

Можно сказать, что в настоящее время основным количественным критерием лучевого поражения клеток является степень утери клетками клоногенной активности, способности к образованию видимых глазом макроколоний. Количество клеток с хромосомными аберрациями, количество аберраций на клетку, а также число клеток с микроядрами и число микроядер на клетку коррелируют со снижением выживаемости клеток. Помимо гибели непосредственно облученной клетки облучение вызывает гибель части ее потомков в течение нескольких последующих поколений, а также приводит к генетической нестабильности среди ее потомков, проявляющейся в виде повышения уровня аберраций и других форм нарушения структуры ДНК, например точковых мутаций.

**5.1 Эффекты воздействия на человека**

Эффекты воздействия радиации на человека обычно делятся на две категории (таблица 1):

1) Соматические (телесные) – возникающие в организме человека, который подвергался облучению.

2) Генетические – связанные с повреждением генетического аппарата и проявляющиеся в следующем или последующих поколениях: это дети, внуки и более отдаленные потомки человека, подвергшегося облучению.

Таблица 1 – Эффекты воздействия радиации на человека

|  |  |
| --- | --- |
| Соматические эффекты: | Генетические эффекты: |
| Лучевая болезнь | Генные мутации |
| Локальные лучевые поражения | Хромосомные аберрации |
| Лейкозы |  |
| Опухоли разных органов |  |

Различают пороговые (детерминированные) и стохастические эффекты. Первые возникают, когда число клеток, погибших в результате облучения, потерявших способность воспроизводства или нормального функционирования, достигает критического значения, при котором заметно нарушаются функции пораженных органов (таблица 2).

Таблица 2 – Воздействие различных доз облучения на человеческий организм

|  |  |
| --- | --- |
| Доза, Гр | Причина и результат воздействия |
| (0.7 – 2) 10–3 | Доза от естественных источников в год |
| 0.05 | Предельно допустимая доза профессионального облучения в год |
| 0.1 | Уровень удвоения вероятности генных мутаций |
| 0.25 | Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах |
| 1.0 | Доза возникновения острой лучевой болезни |
| 3– 5 | Без лечения 50% облученных умирает в течение 1–2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга |
| 10 – 50 | Смерть наступает через 1–2 недели вследствие поражений главным образом желудочно кишечного тракта |
| 100 | Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы |

Хроническое облучение слабее действует на живой организм по сравнению с однократным облучением в той же дозе, что связано с постоянно идущими процессами восстановления радиационных повреждений. Считается, что примерно 90% радиационных повреждений восстанавливается.  
Стохастические (вероятностные) эффекты, такие как злокачественные новообразования, генетические нарушения, могут возникать при любых дозах облучения. С увеличением дозы повышается не тяжесть этих эффектов, а вероятность (риск) их появления.

**5.2 Накопление радионуклидов в органах**

Радионуклиды накапливаются в органах неравномерно. В процессе обмена веществ в организме человека они замещают атомы стабильных элементов в различных структурах клеток, биологически активных соединениях, что приводит к высоким локальным дозам. При распаде радионуклида образуются изотопы химических элементов, принадлежащие соседним группам периодической системы, что может привести к разрыву химических связей и перестройке молекул. Эффект радиационного воздействия может проявиться совсем не в том месте, которое подвергалось облучению. Превышение дозы радиации может привести к угнетению иммунной системы организма и сделать его восприимчивым к различным заболеваниям. При облучении повышается также вероятность появления злокачественных опухолей.

В таблице приведены сведения о накоплении некоторых радиоактивных элементов в организме человека. Организм при поступлении продуктов ядерного деления подвергается длительному, убывающему по интенсивности, облучению. Наиболее интенсивно облучаются органы, через которые поступили радионуклиды в организм (органы дыхания и пищеварения), а также щитовидная железа и печень. Дозы, поглощенные в них, на 1–3 порядка выше, чем в других органах и тканях. По способности концентрировать всосавшиеся продукты деления основные органы можно расположить в следующий ряд:

**щитовидная железа>печень>скелет> мышцы.**

Так, в щитовидной железе накапливается до 30% всосавшихся продуктов деления, преимущественно радиоизотопов йода. По концентрации радионуклидов на втором месте после щитовидной железы находится печень. Доза облучения, полученная этим органом, преимущественно обусловлена радионуклидами 99Мо, 132Te,131I, 132I, 140Bа, 140Lа (таблица 3).

Таблица 3 – Органы максимального накопления радионуклидов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Элемент | | Наиболее чувствительный  орган или ткань. | Масса органа или ткани, кг | Доля полной дозы \* |
| Водород | H | Все тело | 70 | 1.0 |
| Углерод | C | Все тело | 70 | 1.0 |
| Натрий | Nа | Все тело | 70 | 1.0 |
| Калий | К | Мышечная ткань | 30 | 0.92 |
| Стронций | Sr | Кость | 7 | 0.7 |
| Йод | I | Щитовидная железа | 0.2 | 0.2 |
| Цезий | Сs | Мышечная ткань | 30 | 0.45 |
| Барий | Ва | Кость | 7 | 0.96 |
| Радий | Rа | Кость | 7 | 0.99 |
| Торий | Тh | Кость | 7 | 0.82 |
| Уран | U | Почки | 0.3 | 0.065 |
| Плутоний | Рu | Кость | 7 | 0.75 |

\* Относящаяся к данному органу доля полной дозы, полученной всем телом человека.

Среди техногенных радионуклидов особого внимания заслуживают **изотопы йода**. Они обладают высокой химической активностью, способны интенсивно включаться в биологический круговорот и мигрировать по биологическим цепям, одним из звеньев которых может быть человек. Основным начальным звеном многих пищевых цепей является загрязнение поверхности почвы и растений. Продукты питания животного происхождения – один из основных источников попадания радионуклидов к человеку[5].

**5.3 Исследование последствий облучения**

Исследования, охватившие примерно 100000 человек, переживших атомные бомбардировки Хиросимы и Нагасаки, показывают, что рак – наиболеесерьезное последствие облучения человека при малых дозах. Первыми среди раковых заболеваний, поражающих население, стоят лейкозы (рисунок1).

|  |
| --- |
| Рисунок 1 – Относительная среднестатистическая вероятность заболевания раком после получения однократной дозы в 1рад (0.01Гр) при равномерном облучении всего тела |

Распространенными видами рака под действием радиации являются рак молочной железы и рак щитовидной железы. Обе эти разновидности рака излечимы и оценки ООН показывают, что в случае рака щитовидной железы летальный исход наблюдается у одного человека из тысячи, облученных при индивидуальной поглощенной дозе один Грей. Данные по **генетическим последствиям облучения** весьма неопределенны. Ионизирующее излучение может порождать жизнеспособные клетки, которые будут передавать то или иное изменение из поколения в поколение. Однако анализ этот затруднен, так как примерно 10% всех новорожденных имеют те или иные генетические дефекты и трудно выделить случаи, обусловленные действием радиации. Экспертные оценки показывают, что хроническое облучение при дозе 1Гр, полученной в течение 30 лет, приводит к появлению около 2000 случаев генетических заболеваний на каждый миллион новорожденных среди детей тех, кто подвергался облучению. В последние десятилетия процессы взаимодействия ионизирующих излучений с тканями человеческого организма были детально исследованы. В результате выработаны **нормы радиационной** **безопасности**, отражающие действительную роль ионизирующих излучений с точки зрения их вреда для здоровья человека. При этом необходимо помнить, что норматив всегда является результатом компромисса между риском и выгодой.

Одно из наиболее ранних проявлений облучения – массовая гибель клеток лимфоидной ткани. Образно говоря, эти клетки первыми принимают на себя удар радиации. Гибель лимфоидов ослабляет одну из основных систем жизнеобеспечения организма – иммунную систему, так как лимфоциты – такие клетки, которые способны реагировать на появление чужеродных для организма антигенов выработкой строго специфических антител к ним.

В результате воздействия энергии радиационного излучения в малых дозах в клетках происходят изменения генетического материала (мутации), угрожающие их жизнеспособности. Как следствие наступает деградация (повреждение) ДНК хроматина (разрывы молекул, повреждения), которые частично или полностью блокируют или извращают функцию генома. Происходит нарушение репарации ДНК – способности её к восстановлению и залечиванию повреждений клеток при повышении температуры тела, воздействии химических веществ и пр.

Генетические мутации в половых клетках оказывают влияние на жизнь и развитие будущих поколений. Этот случай характерен, например, если человек подвергся воздействию небольших доз радиации во время экспозиции в медицинских целях. Существует концепция – при получении дозы в 1 бэр предыдущим поколением она даёт дополнительно в потомстве 0.02 % генетических аномалий, т.е. у 250 младенцев на миллион. Эти факты и многолетние исследования данных явлений привели ученых к выводу, что безопасных доз радиации не существует.

Воздействие ионизирующих излучений на гены половых клеток может вызвать вредные мутации, которые будут передаваться из поколения в поколение, увеличивая «мутационный груз» человечества. Опасными для жизни являются условия, увеличивающие «генетическую нагрузку» вдвое. Такой удваивающей дозой является, по выводам научного комитета ООН по атомной радиации, доза в 30 рад при остром облучении и 10 рад при хроническом (в течение репродуктивного периода). С ростом дозы повышается не тяжесть, а частота возможного проявления.

Мутационные изменения происходят и в растительных организмах. В лесах, подвергшихся выпадению радиоактивных осадков под Чернобылем, в результате мутации возникли новые абсурдные виды растений. Появились ржаво-красные хвойные леса. В расположенном недалеко от реактора пшеничном поле через два года после аварии ученые обнаружили около тысячи различных мутаций.

Влияние на зародыш и плод вследствие облучения матери в период беременности. Радиочувствительность клетки меняется на разных этапах процесса деления (митоза). Наиболее чувствительна клетка в конце покоя и начале первого месяца деления. Особенно чувствительна к облучению зигота – эмбриональная клетка, образующаяся после слияния сперматозоида с яйцом. При этом развитие зародыша в этот период и влияние на него радиационного, в том числе и рентгеновского, облучения можно разделить на три этапа.

1-й этап – после зачатия и до девятого дня. Только что сформировавшийся зародыш под воздействием радиации погибает. Смерть в большинстве случаев остается незамеченной.

2-й этап – с девятого дня по шестую неделю после зачатия. Это – период формирования внутренних органов и конечностей. При этом под воздействием дозы облучения в 10 бэр у зародыша появляется целый спектр дефектов – расщепление нёба, остановка развития конечностей, нарушение формирования мозга и др. Одновременно возможна задержка роста организма, что выражается в уменьшении размеров тела при рождении. Результатом облучения матери в этот период беременности также может быть смерть новорожденного в момент родов или спустя некоторое время после них. Однако, рождение живого ребёнка с грубыми дефектами, вероятно, самое большое несчастье, гораздо худшее, чем смерть эмбриона.

3-й этап – беременность после шести недель. Дозы радиации, полученные матерью, вызывают стойкое отставание организма в росте. У облученной матери ребёнок при рождении имеет размеры меньше нормы и остается ниже среднего роста на всю жизнь. Возможны патологические изменения в нервной, эндокринной системах и т.д. Многие специалисты-радиологи предполагают, что большая вероятность рождения неполноценного ребенка служит основанием для прерывания беременности, если доза, полученная эмбрионом в течение первых шести недель после зачатия, превышает 10 рад. Такая доза вошла в законодательные акты некоторых скандинавских стран. Для сравнения, при рентгеноскопии желудка основные участки костного мозга, живот, грудная клетка получают дозу излучения в 30-40 рад.

Иногда возникает практическая проблема: женщина проходит серию сеансов рентгенографии, включающих снимки желудка и органов таза, а впоследствии обнаруживается, что она беременна. Ситуация усугубляется, если облучение произошло в первые недели после зачатия, когда беременность может оставаться незамеченной. Единственное решение данной проблемы – не подвергать женщину облучению в указанный период. Этого можно достичь в том случае, если женщина репродуктивного возраста будет проходить рентгенографию желудка или брюшной полости только в течение первых десяти дней после начала менструального периода, когда нет сомнений в отсутствии беременности. В медицинской практике это называется правилом «десяти дней». При неотложной ситуации рентгеновские процедуры не могут быть перенесены на недели или месяцы, однако со стороны женщины будет благоразумным рассказать врачу перед проведением рентгенографии о своей возможной беременности.

По степени чувствительности к ионизирующему излучению клетки и ткани человеческого организма неодинаковы.

К особо чувствительным органам относятся семенники. Доза в 10-30 рад может снизить сперматогенез в течение года.

Высокой чувствительностью к облучению обладает иммунная система.

В нервной системе наиболее чувствительной оказалась сетчатка глаза, так как при облучении наблюдалось ухудшение зрения. Нарушения вкусовой чувствительности наступали при лучевой терапии грудной клетки, а повторные облучения дозами 30-500 Р снижали тактильную чувствительность.

Изменения в соматических клетках могут способствовать возникновению рака. Раковая опухоль возникает в организме в тот момент, когда соматическая клетка, выйдя из-под контроля организма, начинает быстро делиться. Первопричиной этого являются вызванные многократными или сильным разовым облучением мутации в генах, приводящие к тому, что раковые клетки теряют способность даже в случае нарушения равновесия погибать физиологической, а точнее программированной смертью. Они становятся как бы бессмертными, постоянно делясь, увеличиваясь в количестве и погибая лишь от недостатка питательных веществ. Так происходит рост опухоли. Особенно быстро развивается лейкоз (рак крови) – болезнь, связанная с избыточным появлением в костном мозге, а затем и в крови неполноценных белых клеток – лейкоцитов. Правда, в последнее время выяснилось, что связь между радиацией и заболеванием раком более сложная, чем предполагалось ранее. Так, в специальном докладе японско-американской ассоциации ученых сказано, что только некоторые виды рака: опухоли молочной и щитовидной желёз, а также лейкемия – развиваются в результате радиационного поражения. Причем опыт Хиросимы и Нагасаки показал, что рак щитовидной железы наблюдается при облучении в 50 и более рад. Рак молочной железы, от которого умирают около 50% заболевших, наблюдается у женщин, многократно подвергавшихся рентгенографическим обследованиям.

**5.4 Способы минимизации** **естественного воздействия радиационного облучения**

Наибольшую часть поглощённой дозы человек получает от радионуклидов, попадающих в организм вместе с вдыхаемым воздухом. Главный вклад в поглощённую дозу с воздухом вносит радон-222, член радиоактивного ряда, образуемого продуктами распада урана-238, и радон-220, члена радиоактивного ряда тория-232.

Основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении, где повышена его концентрация.

Радон может проникать сквозь трещины в фундаменте, через пол из поверхности Земли и накапливается в основном на нижних этажах жилых помещений, создавая там повышенную радиацию. Одним из источников радоновой радиации могут быть конструкционные материалы, используемые в строительном производстве. К ним в первую очередь относятся материалы с повышенной радиоактивностью — гранит, пемза, глинозём, фосфогипс.

Вода, используемая для бытовых и пищевых целей, обычно содержит мало радона, однако глубоко залегающие водяные пласты могут иметь повышенную его концентрацию. Высокая концентрация радона образуется в ванных комнатах, где радон, испаряясь из горячей воды при принятии душа или ванны, попадает в организм с вдыхаемым воздухом.

Радон скапливается п плохо проветриваемых помещениях, поэтому основными мероприятиями по устранению его влияния, уменьшению концентрации и снижению дозообразующего фактора являются: заделывание швов, трещин в фундаментах зданий, отказ от строительных материалов, содержащих радон, оклейка, окраска покрытий стен пластиковыми материалами, кипячение воды для пищевых нужд, особенно из глубоких артезианских скважин и колодцев, частое проветривание помещений на нижних этажах, ванных комнат.

Для людей, работающих или проживающих на территориях, загрязненных аварийными выбросами, важный фактор предотвращения накопления радионуклидов в организме, - это употребление определенных пищевых продуктов и их отдельных компонентов. Особенно это касается защиты организма от долгоживущих радионуклидов (например стронций-90), которые способны мигрировать по пищевым цепям, накапливаться в органах и тканях, подвергать хроническому облучению костный мозг и костную ткань, повышая риск развития злокачественных новообразований.

Установлено, что обогащение рациона рыбной массой, кальцием, костной мукой, фтором, ламинарией способствует уменьшению риска возникновения онкологических заболеваний.

Больший интерес в рассматриваемом вопросе представляют неусвояемые углеводы, которые применяют для обогащения пищевых продуктов лечебно-профилактического назначения.

Немаловажное значение в профилактике радиоактивного воздействия имеет бета-каротин и пищевые продукты с высоким содержанием этого провитамина.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения курсовой работы были получены следующие компетенции:

1 Способность понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования. (ПК– 8)

2 Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и физических исследований с помощью современной приборной базы. (ПК– 2)

3 Формулирование выводов, формулировка собственной точки зрения на истинность представленных теорий. (ПК – 3)

В данной работе было изучено влияние радиоактивного излучения на человека и произведён поиск и изучение способов защиты от него.

Проблема радиационного облучения человека на сегодняшний день не утратила своей значимости. Тем не менее, уже проделана огромная работа по оценке радиационного загрязнения, и результаты исследований время от времени публикуются как в специальной литературе, так и в прессе. Но для понимания проблемы необходимо располагать не обрывочными данными, а ясно представлять целостную картину. А она такова: мы не имеем права и возможности уничтожить основной источник радиационного излучения, а именно природу, а также не можем и не должны отказываться от тех преимуществ, которые нам дает наше знание законов природы и умение ими воспользоваться. Но в наших силах минимизировать воздействие радиационного излучения. Именно поэтому необходимо пользоваться теми правилами безопасности, которые уже были разработаны, при этом непременно создавая новые и более совершенные.

Рассматривая меры профилактики радиоактивного загрязнения окружающей среды, в том числе пищевых продуктов, необходимо отметить следующие направления работы:

– охрана атмосферного слоя Земли как природного экрана, предохраняющего от губительного космического воздействия радиоактивных частиц;

– контроль за содержанием радиоактивных элементов в воздухе, строительных материалах , воде и других объектах окружающей среды;

– соблюдение глобальной техники безопасности при добыче, использовании и хранении радиоактивных элементов, применяемых человеком в процессе его жизнедеятельности;

– исключение из употребления пищи и воды с высоким содержанием радиоактивных элементов;

–запрещение использования строительных материалов, имеющих повышенное содержание радионуклидов, при возведении жилья.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1 Белозерский Г.Н. Радиационная экология: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Г.Н. Белозерский – М.: «Академия», 2008. –384с.

2 Протасов В.Ф. Экология: Термины и понятия. Стандарты, сертификация. Нормативы и показатели: Учеб. и справочное пособие. / В.Ф. Протасов, А.С. Матвеев – М.: Финансы и статистика, 2001. –208с.

3 Лисичкин В.А. Закат цивилизации или движение к ноосфере (экология с разных сторон) / Лисичкин В.А., Шелепин Л.А., Боев Б.В*. –* М.: «ИЦ-Гарант», 1997. –352с.

4 Василенко И.Я. Биологическое действие продуктов ядерного деления. Метаболизм и острые поражения / И.Я. Василенко, О.И. Василенко // Радиобиология. 1992. – Т.32. – №1. – С. 69-78.

5 Василенко И.Я. Биологическое действие продуктов ядерного деления. Отдаленные последствия поражения / И.Я. Василенко, О.И. Василенко // Радиобиология. – 1993. – Т.ЗЗ. – №З. – С. 43-49.

6 Ландсберг Г. С. Элементарный учебник физики. Том III. / Г. С. Ландсберг – М.: Наука, 1986. – 663с.

7 Кюри М., Радиоактивность, пер. с франц., 2 изд., / М. Кюри –М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 542с.

8 Мурин А.Н., Введение в радиоактивность / А.Н. Мурин – М.: Издательство Ленинградского университета, 1955. – 256с.