

## Лекция 7.

Ряд территорий РФ в силу различных причин подвержен радиоактивному загрязнению. В результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. 20 областей Европейской территории России были загрязнены цезием-137. Данные о площадях территорий РФ, загрязненных цезием-137, и связанные с этим возможные накопленные дозы радиоактивного облучения представлены в таблице 1.

**Таблица 1. Площадь загрязнения цезием-137 разных регионов России**

Область, республика	Площадь, км <sup>2</sup>	Площадь загрязнения цезием-137, км <sup>2</sup> ,			
		активности цезия-137, Ки			
		1...5	5. ..19	15.. .40	> 40
Белгородская	27100	1620			
Брянская	34900	6750	2628	2130	310
Воронежская	52400	1320			
Калужская	29900	3500	1419		
Курская	29800	1220			
Ленинградская	85900	850			
Липецкая	21100	1690			
Нижегородская	74800	250			
Орловская	24700	8840	132		
Пензенская	43200	4430			
Рязанская	39600	5320			
Саратовская	100200	150			
Смоленская	49800	100			
Тамбовская	34300	510			
Тульская	700	10320	1271		
Ульяновская	37300	1100			

Мордовия	36200	1900			
Татарстан	6800	110			
Чувашия	18000	80			
<i>Всего</i>		49760	5450	2130	310

В 1993 г. на территории Томской области в результате аварии на Сибирском химическом комбинате произошло радиоактивное загрязнение территории, примыкающей к комбинату. В результате проведения подземных ядерных взрывов образовались районы с локальными зонами радиоактивного загрязнения, к которым относятся: республика Саха, Оренбургская область, Ивановская область, Архангельская область, Пермская область.

Росгидрометом ежегодно проводится выборочный контроль загрязнения земель 5-километровой зоны вокруг основных промышленных центров черной и цветной металлургии, химических и нефтехимических предприятий, центров машиностроения, энергетики и других зон повышенного техногенного воздействия на окружающую среду.

### Эффективная эквивалентная доза

Одни органы и ткани более чувствительны к действию радиации, чем другие. Например, при одинаковой эквивалентной дозе облучения возникновение рака в легких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей следует учитывать с разными **коэффициентами радиационного риска** ( $k_{pp}$ ) (табл.5.6.). Умножив эквивалентную дозу на соответствующий коэффициент радиационного риска и просуммировав эти значения по всем тканям и органам, можно получить **эффективную эквивалентную дозу** ( $D_{эфф.экв}$ ), отражающую суммарный эффект облучения организма.

**Таблица 2. Коэффициенты радиационного риска ( $k_{pp}$ ) для разных органов человека при равномерном облучении всего тела**

Облученный орган	$k_{pp}$
Красный костный мозг	0,12
Костная ткань	0,03
Щитовидная железа	0,03

Молочная железа	0,15
Легкие	0,12
Яичники или семенники	0,25
Другие ткани	0,30
Итого: организм в целом	1,00

Эффективная эквивалентная доза облучения измеряется в Зивертах - единицах в СИ. Величина 1 Зиверт равна эквивалентной дозе любого вида излучения, поглощенной в 1 кг биологической ткани и создающей такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Грей фотонного излучения.

Внесистемной единицей измерения эквивалентной дозы является «биологический эквивалент рада», т. е. 1 бэр.

Другими словами: 1 бэр — это энергия любого вида излучения, поглощенная в 1 г ткани, при которой наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе в 1 рад фотонного излучения (т. е. поглощенной 100 эрг фотонной энергии). 1 Зв = 100 бэр.

Отношение поглощенной дозы ( $D_n$ ) ко времени облучения ( $t$ ) называется **мощностью дозы** излучения ( $P$ ), т. е.

$$P = D_n / t$$

Мощность дозы  $P$  измеряется в следующих единицах: 1 Гр/с или

1 рад/с.

Под **внутренним облучением** понимают такой процесс, при котором источники радиации находятся внутри человеческого организма, попадая при вдыхании и приеме пищи, а также через повреждения кожного покрова. Причем попадание радионуклидов через органы дыхания является наиболее распространенным способом при взрыве атомных бомб и в случае аварий ядерных реакторов АЭС.

В среднем порядка 60—70% эффективной дозы облучения, которую человек получает от естественных источников радиации, поступает в организм с пищей, водой и воздухом. В частности, человек получает около 180 мкЗв в год за счет **радиоактивного калия-40**, который играет существенную роль в процессе его жизнедеятельности.

Калий-40 содержится почти во всех пищевых продуктах (табл.3.). Однако нельзя пренебрегать накоплением радиоактивного калия-40 в тканях половых желез, что

является причиной мутаций в организме человека. Значительно большую дозу внутреннего облучения человек получает от нуклидов радиоактивного ряда урана-238 и в меньшей степени от радионуклидов ряда тория-232.

В организме взрослого человека массой 70 кг содержится в среднем:

урана-238	$7 \cdot 10^{-4}$ Г,
урана-235	$5 \cdot 10^{-6}$ Г,
тория-232	$7 \cdot 10^{-1}$ Г,
радия-226	$2,5 \cdot 10^{-10}$ Г,

а также в незначительных количествах радиоактивные изотопы углерода-14, полония-210, свинца-210 и другие (Усманов,2001).

**Таблица 3. Содержание радиоактивного калия-40 в пищевых продуктах**

(Моисеев А. А., Иванов В. И., 1974)

<b>Продукт</b>	<b>Содержание Ка-40, мкг/кг</b>
Хлеб ржаной	2420
Макароны	1300
Крупа гречневая	1300
Рис	700
Горох	9070
Мука пшеничная, в/с	860
Молоко парное	1430
Масло сливочное	140
Творог	3720
Сыр	890
Мясо говяжье	3380
Сало свиное	1690
Рыба	2620
Фрукты сушеные	3000
Картофель	4490

Капуста	3300
Свекла	3530
Морковь	2870
Лук	1510
Шоколад	5630
Какао	11110

Радионуклиды непрерывно поступают в организм и частично выводятся из него, поэтому изменение содержания долгоживущих естественных радионуклидов в продуктах питания, воде и воздухе нарушает уровень установившегося равновесия в организме человека. 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 высшие дозы облучения (Радиация: дозы, эффекты, риск, 1988). Около 70% радиоактивного полония-210 и свинца-210 от их общего количества в организме человека сосредоточено в скелете. Концентрация полония-210 в легких курящего человека в три раза больше, чем у некурящего.

Из всевозможных способов внутреннего облучения наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха, во-первых, потому что взрослый человек, занятый работой средней тяжести, потребляет количество воздуха —  $20 \text{ м}^3$  (воды же всего 2 литра), во-вторых, радиоактивное вещество, поступающее таким путем в организм человека, исключительно быстро усваивается (Сивинцев Ю. В., 1991). Частицы радиоактивной пыли при вдыхании воздуха частично оседают в полости рта и носоглотки, откуда затем могут поступать в желудок. Задержка аэрозолей в легких зависит от размеров пылинок. Более крупные (больше 1 мм) задерживаются в верхних дыхательных путях и главным образом отхаркиваются, однако до 70% частиц меньших размеров остаются в легких.

При одних и тех же концентрациях радионуклидов внутреннее облучение во много раз более опасно, нежели внешнее облучение. Прежде всего, это обусловлено тем, что при внутреннем облучении резко увеличивается время облучения тканей организма, поскольку это время определяется временем пребывания источника радиации в организме. Например, наиболее опасные радионуклиды, такие, как радий-226 и шутоний-239, из организма практически не выводятся, и облучение длится всю жизнь. Доза внутреннего облучения резко возрастает из-за контактного облучения, при этом радионуклиды распределяются по тканям организма не равномерно, а избирательно, концентрируются в отдельных органах, еще более усиливая их локальное облучение.

## Предельно допустимая доза облучения и мощность радиации

Выше перечисленные естественные источники радиации действовали на человека всю историю его существования. Сегодня уже экспериментально доказано стимулирующее влияние малых доз радиации на живой организм.

**Индивидуальная предельно допустимая дозы (ИПДД)** может быть подсчитана: так как человек в среднем получает в год около 2,4 мЗв, а средняя продолжительность жизни составляет 70 лет, то за семьдесят лет жизни накапливается доза:

$$2,4 \text{ мЗв/год} * 70 \text{ лет} = 168 \text{ мЗв.}$$

Согласно нормативным документам, разработанным Национальной комиссией по радиационной защите и утвержденных Минздравом России в 1989 году, ИПДД, которую человек может получить за весь период жизни, не должен более чем вдвое превышать естественную дозу:

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

Это значение соответствует положению, утвержденному многими международными организациями, о том, что для здоровья вредна доза свыше 35 бэр за всю прожитую жизнь, т. е. за 70 лет. В соответствии с международным нормам, считается, что доза 1 бэр сокращает жизнь человека на 7 дней за счет вероятности умереть от рака.

По космическим нормативам, вступившим в силу с 1987 года, космонавты вынуждены «перетерпеть» дозу однократного радиационного воздействия в полете 500 мЗв и суммарную дозу за 5 лет профессиональной деятельности в 4 Зиверт. Например, 25-летний космонавт за год полета может предельно «получить» 665 мЗв облучения.

Таким образом, максимальное годовое облучение с учетом естественных источников не должно превышать 5 мЗв. Отсюда легко рассчитать **предельно допустимую мощность радиации:**

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

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и Всемирного общества здравоохранения (ВОЗ) радиационный уровень, соответствующий естественному фону 0,1—0,2 мкЗв/ч (10—20 мкР/ч), признано считать **нормальным.**

Уровень 0,2—0,6 мкЗв/ч (20—60 мкР/ч) считается **допустимым**, а уровень свыше 0,6—1,2 мкЗв/ч (60—120 мкР/ч) с учетом эффекта экранирования считается **повышенным.**

Коэффициент ослабления (экранирования) уровня радиации каменными зданиями равен - 10, а деревянными - 2.

Усредненный радиационный фон в средней полосе России варьирует в пределах 10—20 мкР/ч. В г. Казани естественный радиационный фон в центральной части города не выходит за пределы 0,9-0,1 мкЗв/ч (9-11 мкР/ч). Методами аэрогаммасъемки было определено, что радиоактивные загрязнения в республике и, естественно, в г. Казани, создают плотность распределения цезия-137 в пределах от 0,1 до 0,5 Кюри/км<sup>2</sup> (Морозов, 1994; Копейкин и др., 1994 и др.) Предшествующими работами, проведенными НПЦ

«Геоэкоцентром» (г.Москва) до 2000 г. по заказу Правительства РТ методом автомобильной гамма-спектрометрической съемки в г. Казань, на городской территории площадью 55 км<sup>2</sup>, выявлено 76 участков радиационного загрязнения локального и площадного характера с мощностью экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД ГИ) от 12 до 3400 мкЗв/ч (120-34000 мкР/ч). Многие из них располагались по окраинам города. В центральной части аномальных участков выявлено не было.

По данным СЭС Башкортостана, радиационный фон на всей территории республики находится в пределах 4—17 мкР/ч, что соответствует естественному фоновому значению.

Для сравнения : средняя мощность радиации у цветного телевизора составляет 40—50 мкР/ч, а при полете на самолете на высоте 10—12 тыс. км — 500 мкР/ч. Поскольку от естественных источников радиации человек получает 240 мкЗв в год, то «остаток» до годовой допустимой нормы можно набрать за 22 часа на самолете, 216 суток у цветного телевизора или за одно исследование зуба в рентгенкабинете.

Естественный радиоактивный фон дополняется **антропогенным** — обусловленным человеческой деятельностью. Измерения показывают, что на долю искусственной, или, как говорят, **антропогенной радиоактивности**, связанной с военным и мирным использованием атомной энергии, приходится всего только два-три процента.

В последние десятилетия в результате человеческой деятельности происходит постоянное перераспределение естественных радионуклидов в окружающей среде (добыча и переработка полезных ископаемых, сжигание органического топлива, использование удобрений, производство и использование строительных материалов, обращение с технологическими отходами). Кроме того, появилось несколько сотен новых, отсутствующих в природе радионуклидов за счет ядерных реакций, осуществляемых человеком. Искусственные радионуклиды стали неотъемлемым компонентом биосферы. Таким образом, жизнь на Земле сегодня существует и развивается под воздействием технологически измененного радиационного фона (рис. 1.).

Радиоактивные загрязнения от сжигания каменного угля обусловлены выбросом в атмосферу содержащихся в нем радионуклидов калия-40 и членов рядов урана-238 и тория-232. При сжигании угля происходит концентрирование радионуклидов в золе, которая проходит через фильтрующие системы, и шлаке. В регионах, где уголь используется в индивидуальных домах для обогрева и приготовления пищи, вынос золы особенно велик из-за отсутствия фильтрующих систем. Попытки установить обогащение радионуклидами приземного воздуха вокруг угольных электростанций, в пробах снега, в поверхностном слое почвы не всегда удаются.



Рисунок - 1 Искусственные источники радиации, воздействующие на человека.

Длительное применение фосфатных удобрений увеличивает активность урана, тория и продуктов их семейств в почве на 0,25—1%. Радиоактивное загрязнение пищевых культур обычно незначительно. Однако, если удобрения применяют в жидком виде, пищевые продукты могут загрязняться радиоактивными веществами. Сами предприятия, производящие фосфатные удобрения, способствуют повышению концентрации урана, радия, радона, тория в приземном воздухе в 2 —14 раз по сравнению с их естественными концентрациями. Дополнительное загрязнение этими радионуклидами обусловлено сбросами в окружающую среду жидких отходов фосфатных производств, а также использованием их побочных продуктов — фосфогипса, шлаков в строительной промышленности.

Содержание радионуклидов в стройматериалах имеет широкий диапазон значений (от 2—5 до 4700 Бк/м<sup>3</sup>). Радиоактивность строительного камня зависит от использованной для его производства горной породы. Наиболее высокая удельная активность естественных радионуклидов характерна для пород вулканического происхождения (гранит, туф, пемза), а наиболее низкая — для карбонатных пород (мрамор, известняк). Песок и гравий, как правило, имеют удельную активность естественных радионуклидов, близкую к средней для почв или земной коры.

### **Особенности действия радиации на живой организм**

В настоящее время установлен ряд особенностей действия излучения на живые организмы:

- Действие радиации на организм не ощутимо человеком. У людей отсутствует орган чувств, который воспринимал бы излучение. Поэтому человек может проглотить, вдохнуть радиоактивное вещество без всяких первичных ощущений. Дозиметрические

приборы выполняют роль дополнительного органа чувств, предназначенного для восприятия уровня радиации.

- Высокая эффективность поглощенной энергии излучения. Малые количества поглощенной энергии излучения могут вызвать глубокие биологические изменения в организме. Например, энергия излучения, получаемая человеком массой 70 кг при единовременной дозе 6 Гр (это смертельная доза), составляет всего 420 Дж. Эта энергия равносильна той, которую получает организм при приеме чайной ложки горячей воды.

- Наличие скрытого, или инкубационного, периода действия радиации. Видимые поражения кожного покрова, недомогание, характерные для лучевого заболевания, появляются не сразу, а спустя некоторое время. Продолжительность скрытого периода сокращается при облучении в больших дозах.

- Действие от малых доз облучения может суммироваться или накапливаться. Суммирование доз происходит скрыто. Если в организм человека систематически будут попадать радиоактивные вещества, то со временем дозы суммируются, неизбежно приводя к лучевому заболеванию.

- Излучение действует не только на данный организм, но и на его потомство. Этот так называемый генетический эффект облучения.

- Различные органы живого организма имеют свою чувствительность к облучению (Радиация: дозы, эффекты, риск, 1988).

Например, красный костный мозг и другие элементы кроветворной системы наиболее уязвимы при облучении и теряют способность нормально функционировать уже при дозах облучения 0,5—1,0 Гр. Если доза облучения не настолько велика, чтобы вызвать повреждения всех клеток, кроветворная система может полностью восстановить свои функции.

Глаза также отличаются повышенной чувствительностью к облучению. Наиболее уязвимой для радиации частью глаза является хрусталик. Погибшие из-за облучения клетки становятся непрозрачными. Чем больше доза, тем больше потеря зрения. Помутневшие участки могут образоваться при дозах облучения 2 Гр и менее.

Однократное облучение семенников при дозе всего лишь в 0,1 Гр приводит к временной стерильности мужчин, а дозы свыше 2 Гр могут привести к постоянной стерильности; лишь через много лет семенники смогут вновь продуцировать полноценную сперму. Яичники гораздо менее чувствительны к действию радиации, по крайней мере, у взрослых женщин. Однако однократная доза более чем 3 Гр приводит к их стерильности.

Большинство тканей взрослого человека относительно мало чувствительны к действию радиации. Почки выдерживают суммарную дозу около 23 Гр, полученную в течение 5 недель; печень — по меньшей мере 40 Гр за месяц; мочевой пузырь — 55 Гр за 4 недели; а зрелая хрящевая ткань — до 70 Гр.

Легкие, чрезвычайно сложный орган, гораздо более уязвимы к действию радиации. Существенные изменения в легких начинаются уже при относительно небольших дозах облучения.

- Поглощенная доза радиации, вызывающая поражение отдельных частей организма, а затем смерть, превышает смертельную поглощенную дозу облучения всего тела. Смертельные поглощенные дозы для отдельных органов человеческого тела следующие: голова — 20 Гр; нижняя часть живота — 30 Гр; верхняя часть живота — 50

Гр; грудная клетка — 100 Гр; конечности — 200 Гр (Максимов М. Т., Оджагов Г. О., 1989 цит. по С.М.Усманову,2001).

- Не каждый организм в целом одинаково реагирует на облучение. Дети особенно чувствительны к действию радиации. Относительно небольшие дозы облучения хрящевой ткани могут замедлить или вовсе остановить у них рост костей. Установлено также, что облучение мозга ребенка при лучевой терапии может вызвать изменения в его характере, привести к потере памяти, а у очень маленьких детей даже к слабоумию.

Развивающийся зародыш или плод особенно чувствителен к действию радиации. С первой по шестую неделю после зачатия зародыш вступает в период органогенеза. В течение данного периода начинают развиваться различные специализированные органы тела, и облучение в это время может вызвать нарушение роста одного или нескольких органов, что приведет к возникновению уродств или аномалий ребенка. По указанной причине беременной женщине крайне важно избегать воздействия радиации, особенно в первые недели после зачатия. Но, к сожалению, это как раз тот период, когда беременность может быть и нераспознанной. В поздние сроки беременности более полно развитый плод менее чувствителен к поражающему действию рентгеновских лучей.

- Радиоактивный изотоп йода (J-131 с периодом полураспада 8 суток, J-135 с периодом полураспада 7 часов и J-133 с периодом полураспада 20 часов) чрезвычайно селективно отлагается в щитовидной железе. После попадания J-131 в человеческий организм радиоактивность щитовидной железы может превысить радиоактивность всех остальных тканей более чем в 200 раз. Это представляет еще большую опасность для грудных детей, щитовидная железа которых по массе в 10 раз меньше, чем у взрослых (2 и 20 граммов соответственно). Поэтому при одной и той же концентрации радионуклидов йода во вдыхаемом воздухе или в потребляемом молоке доза облучения щитовидной железы ребенка оказывается на порядок больше, чем взрослого человека.

- Степень поражения организма зависит от размера облученной поверхности.
- Биологическое действие радиации зависит от частоты облучения. Одноразовое облучение в большой дозе вызывает более глубокие последствия.

### **Влияние радиации на иммунную систему организма**

Функции иммунной системы — **распознавание** и **удаление** из организма всего чужеродного: микробов, вирусов, грибков и даже собственных клеток и тканей, если они под действием факторов окружающей среды изменяются и становятся чужеродными. **Иммунитетом** называют способность иммунной системы организма к отторжению чужеродных тел.

Чувствительность к радиации биологических макромолекул, находящихся вне организма и в составе живых клеток, оказалась различной. Повреждение всего  $10^{-3}$  -  $10^{-1}$  ДНК, практически не улавливаемое вне организма, приводит к катастрофе, если эти макромолекулы находятся в составе живой клетки. Это различие объясняется двумя причинами. Во-первых, макромолекулы ДНК, из которых состоят гены, уникальны. Они содержатся в ядре клетки в количестве одной, двух или нескольких копий, повторяемость их ограничена. Во-вторых, в живой клетке и в целом организме существуют разного рода механизмы, многократно усиливающие первоначальный эффект. Это усиление проявляется, например, в том, что изменение (мутация) всего лишь

одного гена в половой клетке в последующем — при ее оплодотворении и созревании плода — воспроизводит эту мутацию во всех клетках организма в форме отклонений в структуре и физиологических функциях.

Наиболее полно изучен процесс гибели соматических клеток в результате облучения. Различают две основные разновидности гибели клеток при их контакте с радиацией: **репродуктивную** (в момент деления клеток) и **интерфазную** (в период покоя — между предшествующим и последующим делением). В обоих случаях главная причина гибели клеток кроется в нарушении хромосом, в разрыве молекул ДНК. Каждая хромосома состоит из двух нитей ДНК. В зависимости от мощности радиации разрыв может произойти в одной или обеих нитях ДНК. Единичные разрывы одной нити легко залечиваются (восстанавливаются). В случае одновременного разрыва обеих нитей, восстановление становится невозможным, и клетка, как правило, погибает. Рассмотренные два типа клеточной гибели являются причиной радиационного поражения высших организмов. При этом в связи с гибелью лимфоцитов поражаются органы иммунной системы. Репродуктивной гибели подвержены все интенсивно обновляющиеся ткани. В их число входят кроветворная, иммунная, генеративная ткани, слизистые ткани кишечника и т. д. Именно их поражение составляет наибольшую часть патологического процесса, который называют **лучевой болезнью**.

**Лучевая болезнь** — это следствие поражающего действия радиации, возникающей извне или от радионуклидов, попавших внутрь организма.

Различают три степени тяжести лучевой болезни:

- легкую (1,0—2,5 Гр),
- среднюю (2,5—4 Гр),
- тяжелую (4—6 Гр).

При более высоких дозах развивается крайне тяжелая форма болезни с быстрым развитием и гибелью организма (табл. 4.). В связи с этим в развитии лучевой болезни проявляются четыре соответствующих стадии ее проявления.

**Таблица 4. Шкала биологических последствий при общем облучении организма**

<i>Доза (Грей)</i>	<i>Биологический эффект</i>
Менее $10^{-3}$	Угнетение жизнедеятельности
$(2—3) \cdot 10^{-3}$	Оптимум жизнедеятельности
$(2—50) \cdot 10^{-3}$	Стимуляция жизнедеятельности
$(5—10) \cdot 10^{-2}$	Регистрация мутаций
0,1—0,5	Временная мужская стерильность
0,5—1,0	Нарушение кроветворения, первичные нарушения иммунитета, удвоение мутаций, учащение злокачественных образований
1,0—2,5	Легкая стадия протекания лучевой болезни
2,5—4,0	Средняя стадия (сокращение средней продолжительности жизни на 3 — 9 лет)

4,0—6,0	Тяжелая стадия (костно-мозговая форма лучевой болезни)
6,0—10,0	Кишечная форма лучевой болезни (тяжелое поражение слизистой ткани кишечника, летальный исход через 3 — 12 дней)
10—100	Церебральная форма лучевой болезни (коматозное состояние, летальный исход через 1 — 2 часа)
Около 2000	Смерть под лучом

На первой легкой стадии болезнь протекает сначала незаметно, без жалоб со стороны заболевшего, хотя при медицинском исследовании отмечаются изменения состава крови. Затем появляются жалобы на общее недомогание, слабость, утомляемость, ухудшение аппетита, расстройство сна, сухость и шелушение кожи, ломкость костей.

Вторая (средняя) стадия лучевой болезни характеризуется нарастанием всех симптомов первой стадии. Наблюдаются частые головные боли, ухудшение памяти, неприятные ощущения в области сердца, ослабление полового чувства, бессонница. Появляются подкожные кровоизлияния, кровоточивость десен. Прекращение контакта с радиацией и упорное лечение дают значительное улучшение состояния здоровья. При продолжении контакта заболевание переходит в следующую стадию.

Третья стадия — тяжелая. У больного отмечается резкая слабость, апатия, безразличие к окружающему, упорные головные боли с головокружением, тошнота, рвота, резкое снижение памяти и нарушение сна, резко выраженные изменения состава крови, нередко отмечаются признаки локальных поражений: мелкие кровоизлияния в головной мозг и внутренние органы. Полное выздоровление не наступает,

Четвертая стадия протекания болезни — тяжелая. На месте многочисленных кровоизлияний возникают язвы. Сопrotивляемость к инфекциям практически отсутствует. Большинство больных погибает.

К настоящему времени установлено, что **радиочувствительность** организма **зависит от величины поглощенной дозы и восприимчивости биологического объекта к радиации**. Ее оценивают на разных биологических уровнях по-разному.

Радиочувствительность на уровне организма оценивают с помощью параметра  $D_{50/30}$  — летальной дозы, вызывающей гибель 50% облученных организмов в течение 30 дней после облучения; а на уровне клеток — с помощью дозы, обозначаемой  $D_{37}$ . Это связано с тем, что радиочувствительность клеток удобнее всего измерять в дозах, при которых на одну клетку в среднем приходится одно попадание  $\gamma$ -кванта или элементарной частицы. Так как акты попадания распределяются случайно, некоторые клетки поражаются дважды или трижды, а другие вообще остаются непораженными. По законам теории вероятности, таких пораженных клеток оказывается 37%. Поэтому  $D_{37}$  взята за критерий оценки радиочувствительности клеток. Для гибели клеток любых типов в момент определения  $D_{37}$  примерно одинакова и составляет 1,0 Гр. Чувствительность интерфазных (покоящихся) клеток разнообразнее, поэтому  $D_{37}$  для них варьирует от 0,5 до 3,0 Гр.

## Генетические последствия облучения

Если мутация происходит в зародышевой клетке (в сперматозоиде или яйцеклетке), последствия радиации будут ощутимы не только для конкретного организма, который развивается из этой клетки, но и для будущих поколений.

Зародышевые клетки образуются в мужских или женских половых железах. В семенниках происходит образование сперматозоидов, а у женщин в яичниках развиваются яйцеклетки. Сперматозоид и каждая яйцеклетка содержат по 23 одиночные **хромосомы**. Когда две клетки сливаются вместе, то образуется первая клетка нового человеческого организма, содержащая 23 пары хромосом. Участок хромосомы, несущий в кодовой форме информацию о специфических свойствах организма, называется **геном**.

Любая клетка, содержащая всевозможные нарушения в хромосомах и генах, называется **мутантной клеткой**.

Мутация, возникшая в соматической клетке, будет оказывать влияние только на сам индивидуум на протяжении всей его жизни. Мутация, возникшая в половой клетке, называется **генетической мутацией** и может передаваться последующим поколениям.

Радиация способна вызывать поломки и изменения в ДНК половых клеток и таким образом увеличивать число мутаций по сравнению с тем, что происходит в ходе естественного развития. Мутации, вызванные ионизирующим излучением, не отличаются от естественных мутаций. Радиация не порождает каких-либо новых, уникальных или необычных мутаций, но увеличивает вероятность возникновения новых мутационных клеток.

Изучение генетического действия радиации на человека является сложной задачей по двум причинам. С одной стороны, ее решение требует длительного наблюдения, потому что сама смена поколений у людей происходит через 25—30 лет, а генетические последствия могут проявиться и через 4—5 поколений. С другой стороны, высокая частота врожденных и наследственных дефектов у новорожденных (по некоторым данным до 11,5%) затрудняют выделение из этой массы тех дефектов, которые можно отнести за счет влияния радиации.

На основании наблюдений жителей гг. Хиросима и Нагасаки (Япония) ученые сделали вывод, что доза радиации, вызывающая увеличение частоты мутации у человека в два раза, равняется 0,1 — 1 Гр.

Генетические нарушения в основном сводятся к двум типам: **хромосомные изменения**, т. е. изменения числа и структуры хромосом, и **мутации в самих генах**. Оба типа нарушений могут привести к наследственным заболеваниям в последующих поколениях или могут не проявиться вообще.

Например, по данным японских ученых, среди более чем 27 тысяч детей, родители которых получили большие дозы облучения во время атомных бомбардировок гг. Хиросимы и Нагасаки, были обнаружены лишь две вероятные мутации. Среди примерно такого же числа детей, родители которых получили небольшие дозы, не было отмечено ни одного такого случая.

В последние годы получает более широкое распространение **радиационная диагностика**, использующая радиацию для получения изображений внутренних органов человека.

**Радиография** использует радиоактивные излучения так же, как обычно используются рентгеновские лучи, - для «просвечивания» тела пациента. Однако получаемые в этом случае снимки содержат тонкие радиографические эффекты, требующие для интерпретации специалистов медиков-радиологов, и несут мало информации о функционировании внутренних органов.

Более информативна диагностическая методика, при которой радиоактивное вещество вводится в организм через пищевод или внутривенно, а по регистрируемому его излучению судят о распределении этого вещества в теле человека. Эта методика дает возможность «пометить» больной орган и изучить особенности его функционирования. Наиболее часто используемый в этой области медицины радионуклид — изотоп технеция-99, излучающий  $\gamma$ -кванты с энергией 140 кэВ и имеющий период полураспада 6 часов.

**Томографический метод** также стал применяться в радиомедицине. Изображение в этом случае получают при помощи камеры (с радиоактивным источником, камера вращается вокруг пациента). В качестве радиоактивного источника, кроме изотопа технеция, в медицине применяют и изотопы, испускающие  $\gamma$  - кванты более низких энергий. Например, изотопы таллия-201 (80 кэВ) и тантала-178 (55—65 кэВ) применяются для снимков сердца, изотоп таллия-201 — для получения изображений опухоли, изотоп ксенона-133 (80 кэВ) — для обследования легких.