

ВВЕДЕНИЕ

Знание — лучшее противоядие от страха и подозрений. Чем больше люди знают о радиации, о той пользе, которую она дает, и об опасности, которую она влечет за собой, тем лучше они будут выполнять свои функции как добропорядочные граждане.

И радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения в ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли.

С самого начала жизнь во всех ее проявлениях развилась на Земле на фоне постоянно существующей радиации. Поэтому есть основания полагать, что живые организмы должны хорошо переносить воздействие ее в том случае, если уровень последней не очень высок.

Радиация присутствовала всегда. И все, чем мы сегодня на нее влияем, заключается в добавлении к существующему фону дополнительной дозы излучения в результате использования человеком созданных устройств.

Тот факт, что все виды флоры и фауны Земли, в том числе высших животных, включая млекопитающих и человека, возникли и эволюционно развивались на протяжении сотен миллионов лет при постоянном воздействии так называемого естественного (природного) радиационного фона, остался вне внимания большинства населения. Поэтому важным является осознание того, что радиация - один из многих естественных факторов окружающей среды.

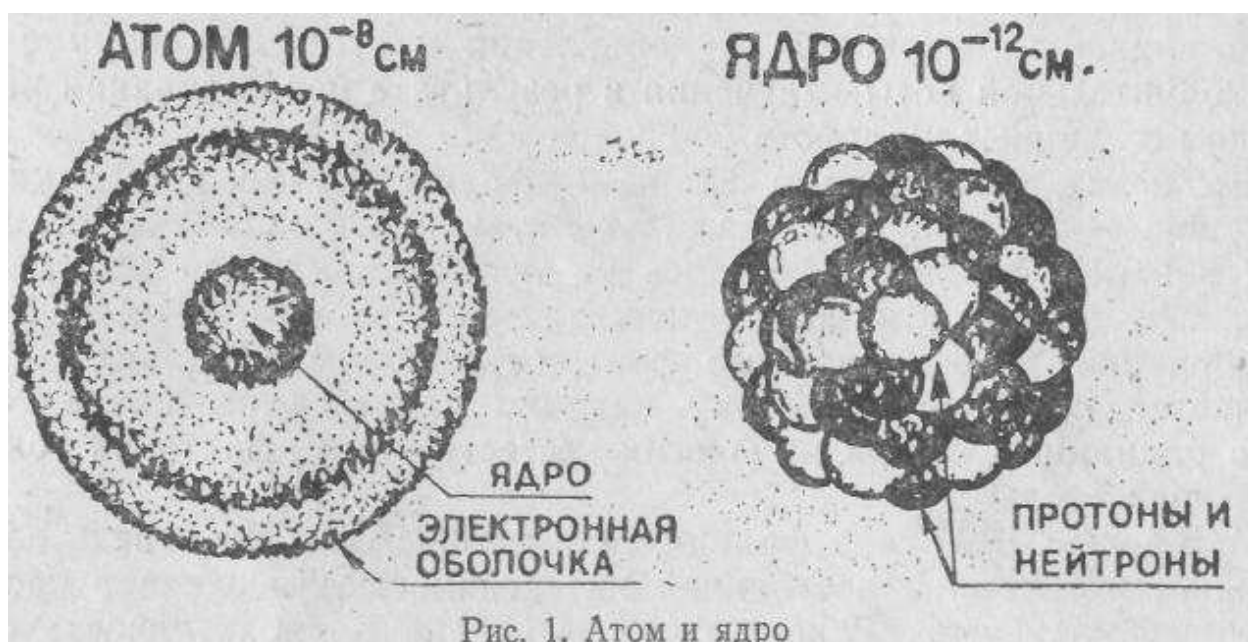


Рис. 1. Атом и ядро

В конце 1896 года французский физик Анри Беккерель обнаружил, что уран с постоянной интенсивностью испускает проникающее излучение. Вскоре была выявлена радиоактивность еще одного тяжелого элемента - тория. В 1898 году французские ученые Пьер и Мария Кюри открыли 2 новых химических элемента конца таблицы Менделеева — радий и полоний со значительно более интенсивным излучением, чем уран и торий. Несколько раньше немецким физиком Вильгельмом Рентгеном были открыты рентгеновские лучи. Беккерель один из первых столкнулся с воздействием радиоактивного излучения на ткани живого организма. Он положил пробирку с радием в карман и получил в результате ожог кожи. Чтобы понять, как возникают излучения, напомним, как устроен атом. Согласно планетарной модели в положительно заряженном ядре исключительно малых размеров сконцентрирована практически вся масса атома. Вокруг ядра на очень больших (в атомном масштабе) расстояниях от него по круговым и эллиптическим траекториям вращаются отрицательно заряженные электроны, почти невесомые по сравнению с ядром: электрон в 1836 раз легче ядра водорода, которое

называют протоном. В атоме тяжелого элемента электроны вращаются вокруг ядра под разными углами, образуя электронную оболочку. Это своего рода шуба, окружающая атомное ядро, удалена от него на огромное расстояние: радиус ядра порядка 10-12 см, тогда как радиус атома — 10-8 см, т. е. атомное ядро в 10 тыс. раз меньше окружающей его электронной оболочки. Можно привести следующее сравнение: атом во столько раз меньше горошины, во сколько раз горошина меньше нашей планеты. В свою очередь, атомное ядро занимает ту же долю площади атома, что и копейка по сравнению с Красной площадью Москвы.

Ядро состоит из нескольких более мелких частиц, которые плотно сцеплены друг с другом (рис. 1).

Некоторые из этих частиц имеют положительный заряд и называются протонами. Число протонов в ядре и определяет, к какому химическому элементу относится данный атом. Например, ядро атома водорода содержит всего один протон, атом кислорода — 8, а урана — 92.

В каждой системе число электронов в точности равно числу протонов в ядре. Каждый электрон несет отрицательный заряд, равный по абсолютной величине заряду протона, так что в целом атом нейтрален. В ядре, как правило, присутствуют и частицы другого типа, которые называют нейтронами, поскольку они электрически нейтральны. Ядра атомов одного и того же элемента всегда содержат одно и то же число протонов, но число нейтронов в них может быть разным. Атомы, имеющие ядра с одинаковым числом протонов, но различающиеся по числу нейтронов, относятся к разным разновидностям одного и того же химического элемента, называемыми изотопами данного элемента. Чтобы отличить их друг от друга, к символу элемента приписывают числа, равное сумме всех частиц в ядре данного изотопа. Например, уран-238 содержит 92 протона и 146 нейтронов, уран-235 тоже 92 протона, но 143 нейтрона. Атомы всех изотопов химических элементов образуют группу нуклидов. Некоторые нуклиды стабильны, то есть в отсутствие внешнего воздействия никогда не претерпевают никаких превращений. Большинство же нуклидов нестабильны, так как они все время превращаются в другие нуклиды. Например, возьмем атом урана-238, в ядре которого протоны и нейтроны едва удерживаются вместе силами «сцепления». Время от времени из него вырывается компактная группа из четырех частиц — двух протонов и двух нейтронов (эта группа называется альфа-частицей). Уран-238 при этом превращается в торий-234, в ядре которого содержится 90 протонов и 144 нейтрона. Торий тоже нестабилен и превращается в протактиний-234, но превращение происходит по-другому, а именно: один из его нейтронов превращается в протон. В новом ядре содержится 91 протон и 143 нейтрона. Далее следуют другие превращения, сопровождаемые излучением, и вся эта цепочка в конце концов оканчивается стабильным нуклидом свинца-206. Разумеется, существует множество таких цепочек самопроизвольных превращений (распадов) разных нуклидов по разным схемам превращений и их комбинациям.

При каждом таком акте распада высвобождается энергия, которая и передается в виде излучения. Можно сказать (хотя это и не совсем строго), что испускание ядром частицы, состоящей из двух протонов и двух нейтронов, — это альфа-излучение. Если вылетает электрон (в случае распада тория-234), — это бета-излучение. Часто нестабильный нуклид оказывается настолько возбужденным, что испускание частицы не приводит к полному снятию возбуждения. В этом случае он выбрасывает порцию энергии, называемую гамма-излучением.

Разные виды излучений сопровождаются высвобождением разного количества энергии и обладают разной проникающей способностью, поэтому они оказывают неодинаковое воздействие на ткани живого организма. Альфа-излучение, которое представляет собой поток тяжелых частиц, состоящих из нейтронов и протонов, задерживается, например, листом бумаги и практически не способно проникнуть через наружный слой кожи. Поэтому оно не представляет опасности до тех пор, пока альфа-частицы не попадут

внутри организма через открытую рану, с пищей или с вдыханием воздуха. В этом случае они становятся очень опасными.

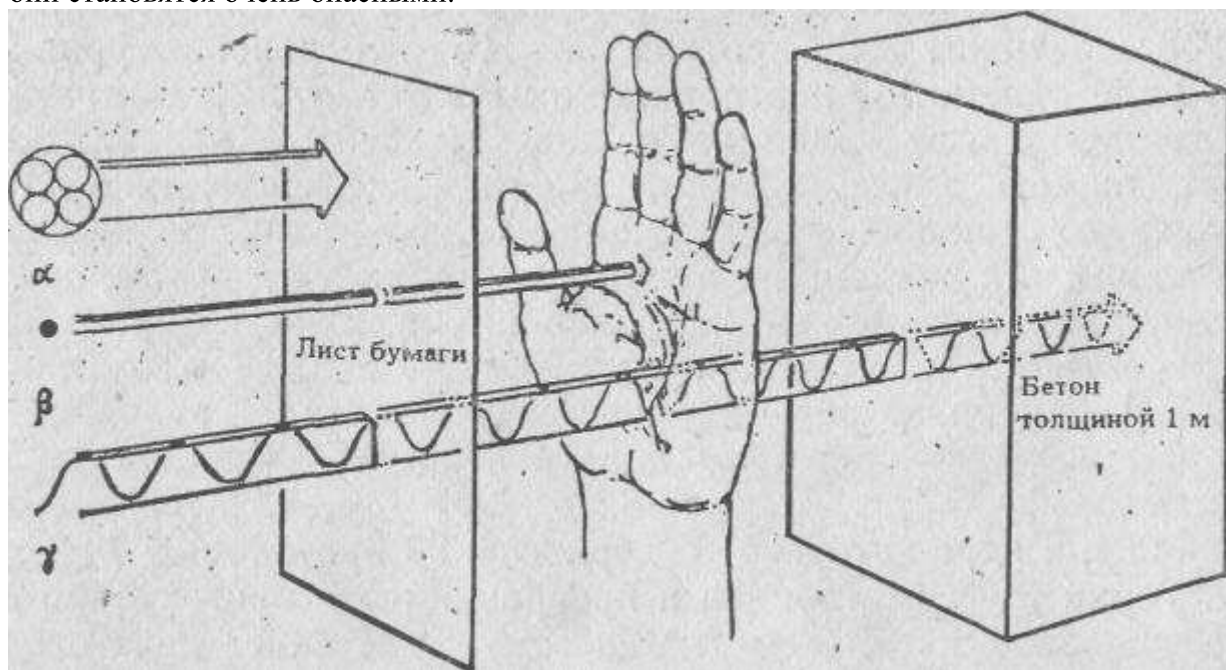


Рис. 2. Схема действия некоторых типов ионизирующего излучения, обозначенная до того, как стала известна их истинная природа, α-, β и γ-лучами, γ-лучи формируют часть электромагнитного спектра и имеют ту же природу, что и тепло или свет. Они способны проникать глубоко в вещество или проходить сквозь толстые барьеры, β-лучи представляют поток электронов — мельчайших отрицательно заряженных частиц. β-лучи могут пройти сквозь руку человека, но если они не будут иметь очень высокую энергию, их может задержать барьер средней толщины, α-лучи — относительно массивные, положительно заряженные частицы. В действительности они представляют ядра гелия, состоящие из тесно соединенных двух нейтронов и двух протонов. Обычно α-лучи может задержать тонкий барьер, например, лист картона.

Бета-излучение обладает большей проникающей способностью. Оно проходит в ткани организма на глубину один-два сантиметра. Проникающая способность гамма-излучения, которое распространяется со скоростью света, очень велика. Его может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита. (рис. 2).

В данной публикации под словом радиация мы будем понимать более конкретное название — «ионизирующее излучение». Радиация будет ионизирующей в том случае, если она способна разрывать химические связи молекул, составляющие живые организмы, и тем самым вызывать биологически важные изменения. Свет, радиоволны так же, как и радиационное тепло от солнца, тоже представляют собой разновидность радиации. Однако они не вызывают повреждений путем ионизации, хотя, конечно, могут оказывать биологические эффекты, если интенсивность их воздействия увеличить.

Вспомним последствия длительного пребывания летом на солнце — ожог — следствие переоблучения кожи в результате воздействия инфракрасного излучения на верхний слой кожи.

Отмеченное в последние годы снижение слуха у подростков — это следствие акустического переоблучения у домашних магнитофонов и в дискотеках. Причина выявленной в годы второй мировой войны анемии у операторов мощных радиолокаторов — воздействие чрезвычайно больших доз сверхвысокочастотного электромагнитного излучения, сопровождающего работу генераторов этих установок.

Одна из интереснейших в современной биофизике гипотез связывает акселерацию людей в послевоенные годы с переоблучением всего населения Земли вездесущими радиоволнами.

РАДИАЦИЯ (термины и определения)

Радиоактивный распад — это процессе самопроизвольного превращения неустойчивых ядер в другие ядра (в конечном итоге, стабильные).

Радиация — излучение энергии в виде частиц или электромагнитных волн. При превращениях (распадах) радиоактивных ядер возникают различные виды излучения: альфа-, бета-, гамма-излучение, рентгеновское излучение, нейтроны, тяжелые ионы. При взаимодействии с веществом энергия излучения передается атомам и молекулам, превращая их в заряженные частицы — ионы. В результате ионизации разрываются химические связи молекул, составляющих живые организмы, и тем самым вызываются биологически важные (соматические и генетические) изменения. Процесс радиоактивного распада происходит с постоянной относительной скоростью, присущей данному виду радиоактивных ядер (радионуклидов). Время, за которое распадается в среднем половина имеющихся радионуклидов, называется ПЕРИОДОМ ПОЛУРАСПАДА (T1/2). Хотя все радионуклиды нестабильны, одни из них более нестабильны, чем другие. Например, протактиний-234 распадается почти моментально (T1/2=1,17 минуты), а уран-238 — очень медленно (4,47 млрд. лет). На рис. 3 представлен радиоактивный распад ядер урана-238. Количество распадающихся радионуклидов в веществе определяют термином АКТИВНОСТЬ. Единицы измерения активности радиоактивных веществ — кюри (Ки) и беккерель (Бк). Численному значению активности 1 Ки приблизительно соответствует активность 1 г радия в равновесии с продуктами его распада. За масштаб единицы 1 Бк принят 1 распад в секунду. Между единицами активности существует взаимосвязь: 1 Ки = 37 млрд. Бк, 1 Бк=1 расп./с.

Понятие активности ничего не говорит о виде радиоактивного излучения или о величине его энергии, а указывает лишь число атомов, распадающихся в секунду. Более того, одинаковая активность различных



радиоактивных веществ не подразумевает одну и ту же степень поражения биологических тканей. Разные виды излучений сопровождаются высвобождением разного количества энергии и обладают разной проникающей способностью, поэтому они оказывают неодинаковое воздействие на ткани живого организма. Количественную характеристику излучения, обычно называемую ДОЗОЙ, измеряют в величинах энергии, поглощенной тканями организма.

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА — количество энергии излучения, поглощенное единицей массы облучаемого вещества. Единицы измерения поглощенной дозы — грей (Гр) и рад. $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г}$, $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$, $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$. Существует также количественная характеристика поля ионизирующего излучения, основанная на величине ионизации сухого воздуха при атмосферном давлении. Единицей измерения является рентген (Р). Доза 1 Р соответствует примерно 1 млрд. пар ионов в 1 см³ воздуха. Доза 1 Р накапливается за 1 ч на расстоянии 1 м от источника радия массой 1 г, т. е. активностью примерно 1 Ки.

В последнее время в соответствии с рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) основными дозиметрическими величинами поглощенной и эквивалентной дозы являются Грей и Зиверт, соответственно. В данной публикации мы воспользуемся специальными единицами рад и бэр, которые ранее широко использовались, более привычны и часто применяются на практике в настоящее время.

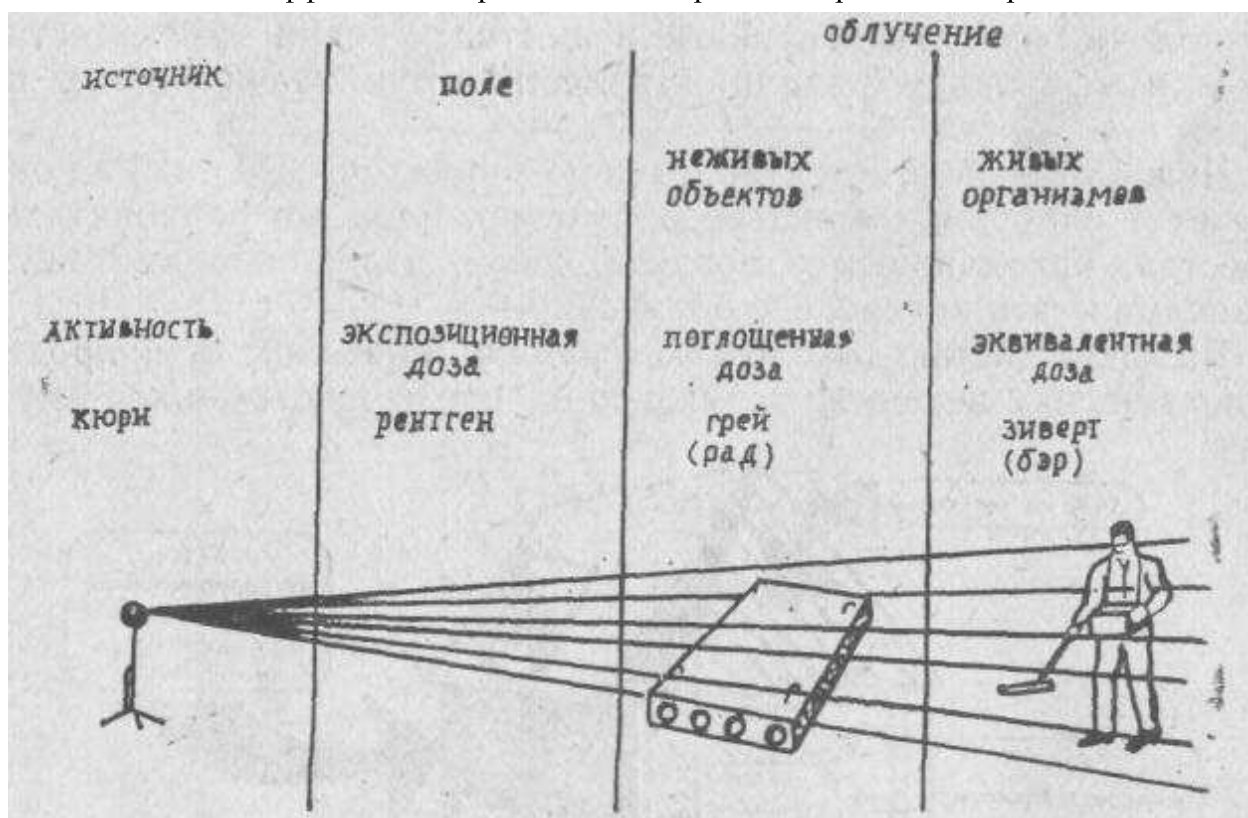
Отдельные виды излучений отличаются друг от друга различной способностью повреждать ткани организма. Равные поглощенные дозы не обязательно должны вызывать одинаковые биологические эффекты. Обычно при одинаковой величине поглощенной дозы рентгеновские лучи, гамма- и бета-излучение вызывают меньшие повреждения по сравнению с потоками ионов. Нейтронное излучение занимает промежуточное положение. Поэтому при одной и той же поглощенной дозе радиобиологический эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением. Для количественной оценки этого влияния вводится "переводной" коэффициент ОТНОСИТЕЛЬНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ (ОБЭ) или КОЭФФИЦИЕНТ КАЧЕСТВА (КК) излучения.

ОБЭ или КК какого-либо излучения — численный коэффициент, который устанавливает некий эквивалент между различными видами излучений и равен отношению поглощенной дозы эталонного излучения (принято рентгеновское излучение с энергией 180—250 кэВ), вызывающей определенный радиобиологический эффект, к дозе рассматриваемого излучения, вызывающей тот же биологический эффект. Поэтому мерой биологического воздействия каждого вида радиационного облучения служит ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА, которая определяется как поглощенная доза, умноженная на коэффициент качества. Коэффициент качества ионизирующего излучения равен 1 для рентгеновского, бета- и - гамма-излучения, 3—10 — для протонов и быстрых нейтронов, 20 — для альфа-частиц. Единицами измерения эквивалентной дозы является бэр (биологический эквивалент рада) и зиверт (Зв). 1 Зв соответствует поглощенной дозе в 1 Дж/кг (для рентгеновского, гамма- и бета излучения), $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$, $1 \text{ бэр} = 10 \text{ мЗв}$. $1 \text{ бэр} = 103 \text{ мбэр} = 106 \text{ мкбэр}$.



Рис. 4. Коэффициенты радиационного риска для разных органов человека при равномерном облучении (1,00 — организм в целом).

Органы и ткани человека имеют разную чувствительность к облучению. Наиболее уязвимы красный костный мозг, гонады, легкие. Менее восприимчивы печень, щитовидная железа, мышцы и другие внутренние органы. Например, при одинаковой дозе облучения возникновение заболевания легких более вероятно, чем щитовидной железы, а облучение гонад опасно из-за возможности генетических повреждений. (Рис. 4). Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами, так называемыми коэффициентами радиационного риска для различных органов и тканей.



Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав их по всем органам и тканям, получим ЭФФЕКТИВНУЮ ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ДОЗУ, отражающую суммарный эффект облучения для организма; она также измеряется в зивертах или бэрах. Эти понятия описывают индивидуальные дозы облучения. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, получают КОЛЛЕКТИВНУЮ ЭФФЕКТИВНУЮ ЭКВИВАЛЕНТНУЮ ДОЗУ, которая измеряется в человеко-бэрах (чел-бэр) или человеко-зивертах (чел-Зв).

Рис. 5. Связь понятий поля, дозы, радиобиологического эффекта и единиц их измерений. Поскольку многие радионуклиды распадаются очень медленно и останутся радиоактивными и в отдаленном будущем, существует еще одно определение. Ожидаемая (полная) коллективная эффективная эквивалентная доза — это коллективная эффективная эквивалентная доза, которую получают многие поколения людей от какого-либо радиоактивного источника за все время его дальнейшего существования. На рис. 5 проиллюстрирована связь понятий поля, дозы и радиобиологического эффекта и единиц их измерения.

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Человек всегда был подвержен действию естественной радиации. Он подвергается воздействию космического излучения. Радиоактивные вещества находятся в земле, в зданиях, в которых мы живем, а также в пище и воде, которые мы потребляем. Радиоактивные газы находятся в воздухе, которым мы дышим, а сам человек радиоактивен, т. к. в живой ткани присутствуют в следовых количествах радиоактивные вещества. Уровни этой естественной или «фоновой» радиации колеблются в значительных пределах.

Человек подвергается облучению двумя способами. Радиация действует снаружи — внешнее облучение. Если же радиоактивные вещества, находящиеся в воздухе, пище, воде, попадают внутрь организма - это внутреннее облучение.



Рис. 6. Радиация окружает нас всюду

Большей частью (около 73%) радиация исходит от природных радиоактивных веществ, окружающих нас и находящихся внутри нас, но примерно 13% связано с медицинскими процедурами (такой, как рентгенодиагностика), а 14% приходит извне в виде космических лучей (рис. 6).

ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Внешние радиационные поражения можно классифицировать как вызываемые либо глубоко проникающей радиацией (гамма- и рентгеновские лучи, нейтроны), либо неглубоко проникающей радиацией (бета-частицы с высокой энергией, электроны). Глубоко проникающее излучение может достичь, а следовательно, и повредить любые ткани и органы тела.

1 бэр = 0,01 Зиверт

1 мбэр = 0,01 миллиЗиверт

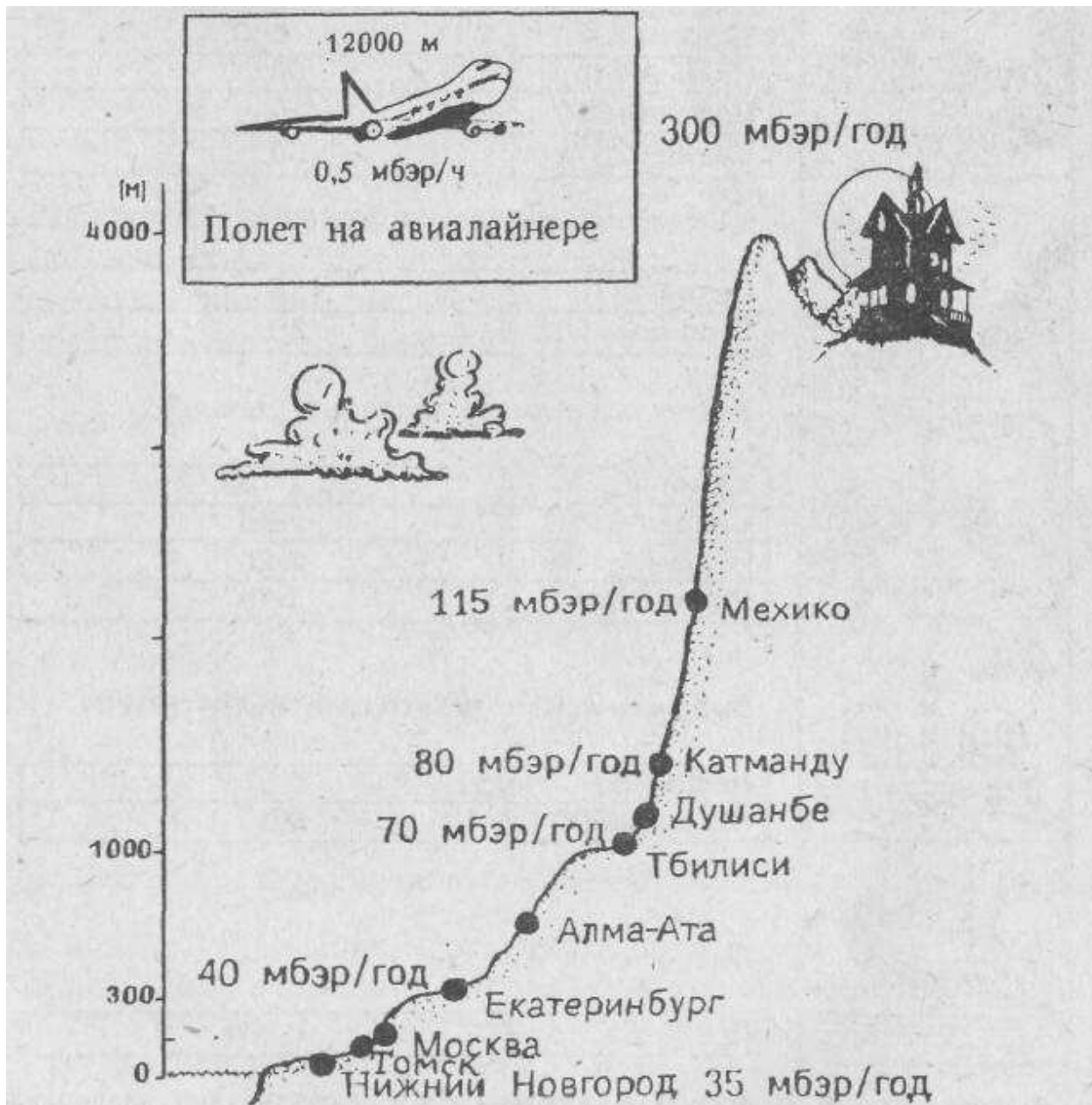
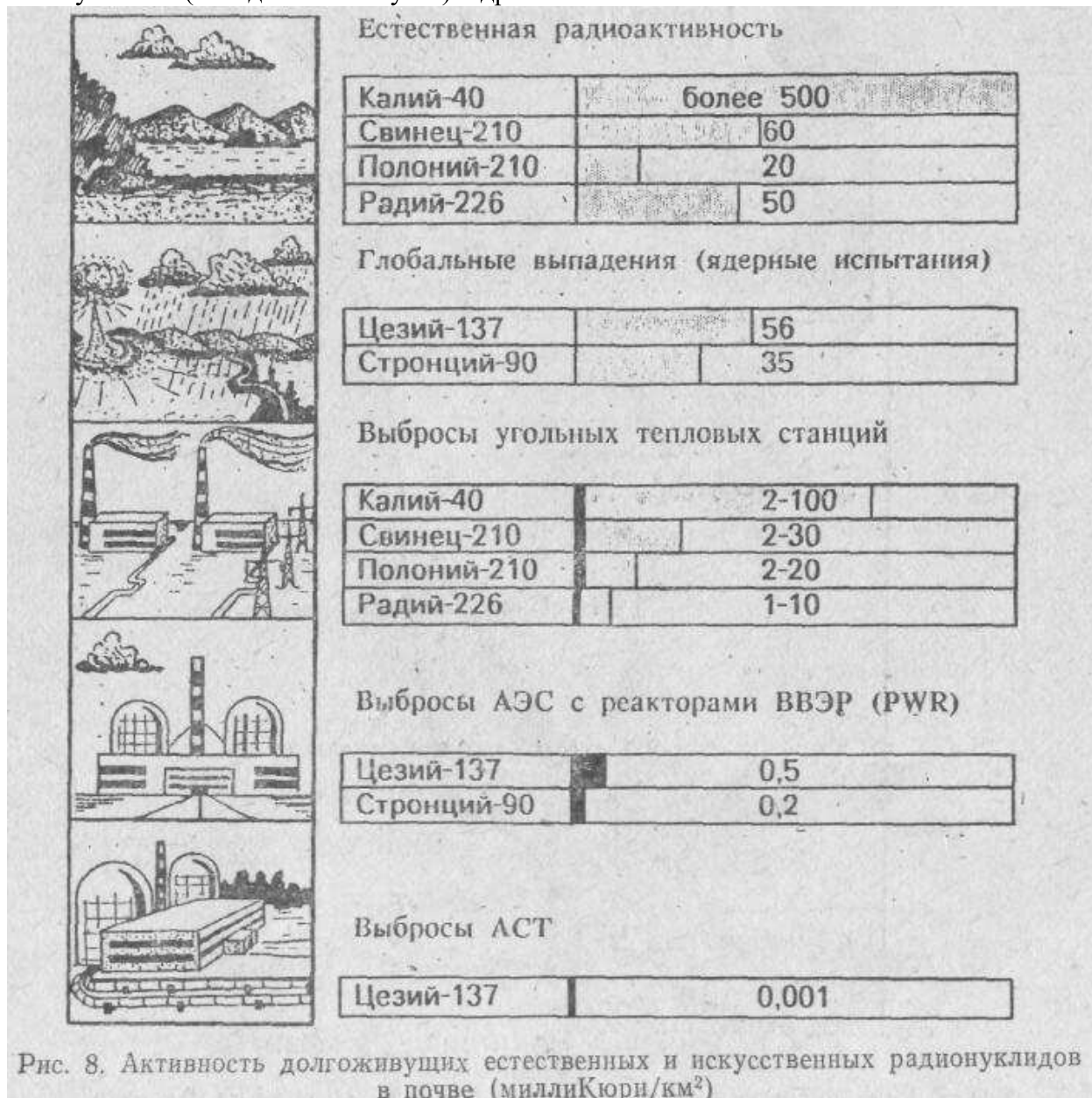


Рис. 7. Радиационное воздействие космического излучения на человека

Рассмотрим источники внешнего облучения. Космическое излучение обуславливает эквивалентную годовую дозу 30 мбэр (300 мкЗв) в год. Для людей, проживающих в возвышенных районах, эта доза значительно выше. На высоте 10 км мощность дозы в 100 раз выше. Рис. 7 иллюстрирует радиационное воздействие космического излучения на человека.

Земная радиация обусловлена в основном естественным распадом радиоактивных элементов, присутствующих в земной коре, — это калий-40 и члены двух радиоактивных

семейств — урана-238 и тория-232. Уровни земной радиации неодинаковы для разных мест земного шара и зависят от концентрации радионуклидов в земной коре. Строительные материалы помещений — кирпич, бетон, дерево, содержащие естественные радионуклиды, являются источниками излучения. Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, также используемые в качестве строительных материалов. Использование промышленных отходов при изготовлении строительных материалов также может увеличить дозовую нагрузку (и не только за счет внешнего, но и внутреннего облучения). Сюда можно отнести металлический шлак, зольную пыль (отход сжигания угля) и др.



С учетом облучения внутри зданий и вне их годовая эквивалентная доза составляет в среднем 35 мбэр.

Уровень земной радиации неодинаков для разных мест и зависит от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры. Согласно исследованиям для Франции, США и Японии мощность дозы, обусловленная земной радиацией, составляет в среднем от 30 до 60 миллибэр в год. Но около 3% населения этих стран получают дозу земной радиации 100—150 мбэр в год.

Усредненная годовая доза, обусловленная внешним облучением, для жителей России превышает 65 мбэр/год. В различных городах нашей страны она может отличаться.

На рис. 8 приведены активности долгоживущих естественных и искусственных радионуклидов в почве.

Известный английский ученый Уолтер Маршалл приводит интересный пример: «В поверхностном слое садового участка размерами 10×40 м до глубины 1 м содержится 7000 кг калия, в том числе 0,8 кг калия-40, 6 кг тория, 2 кг урана».

ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Внутреннее облучение обусловлено радиоактивным веществом, поступившим внутрь организма. При этом вклад в облучение дают альфа-, бета- и гамма-облучатели. Имеется четыре возможных пути, по которым радиоактивные вещества способны поступить в организм:

- 1) через легкие при дыхании,
- 2) вместе с пищей,
- 3) через повреждения и разрезы на коже,
- 4) путем абсорбции через здоровую кожу.

Большая часть, 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.

Рассмотрим факторы, влияющие на величину дозы, которую получают ткани живого организма при внутреннем облучении.

Степень радиационной опасности радионуклидов при внутреннем облучении человека определяет ряд параметров:

- 1) путь поступления радиоактивного вещества в организм (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт (или непосредственно в кровь через повреждения кожи);
- 2) распределение радиоактивного вещества в организме;
- 3) продолжительность поступления радиоактивного вещества в тело человека;
- 4) время пребывания излучателя в организме (определяемое периодом радиоактивного полураспада и периодом биологического полувыведения);
- 5) энергия, излучаемая радионуклидами в единицу времени (определяется произведением

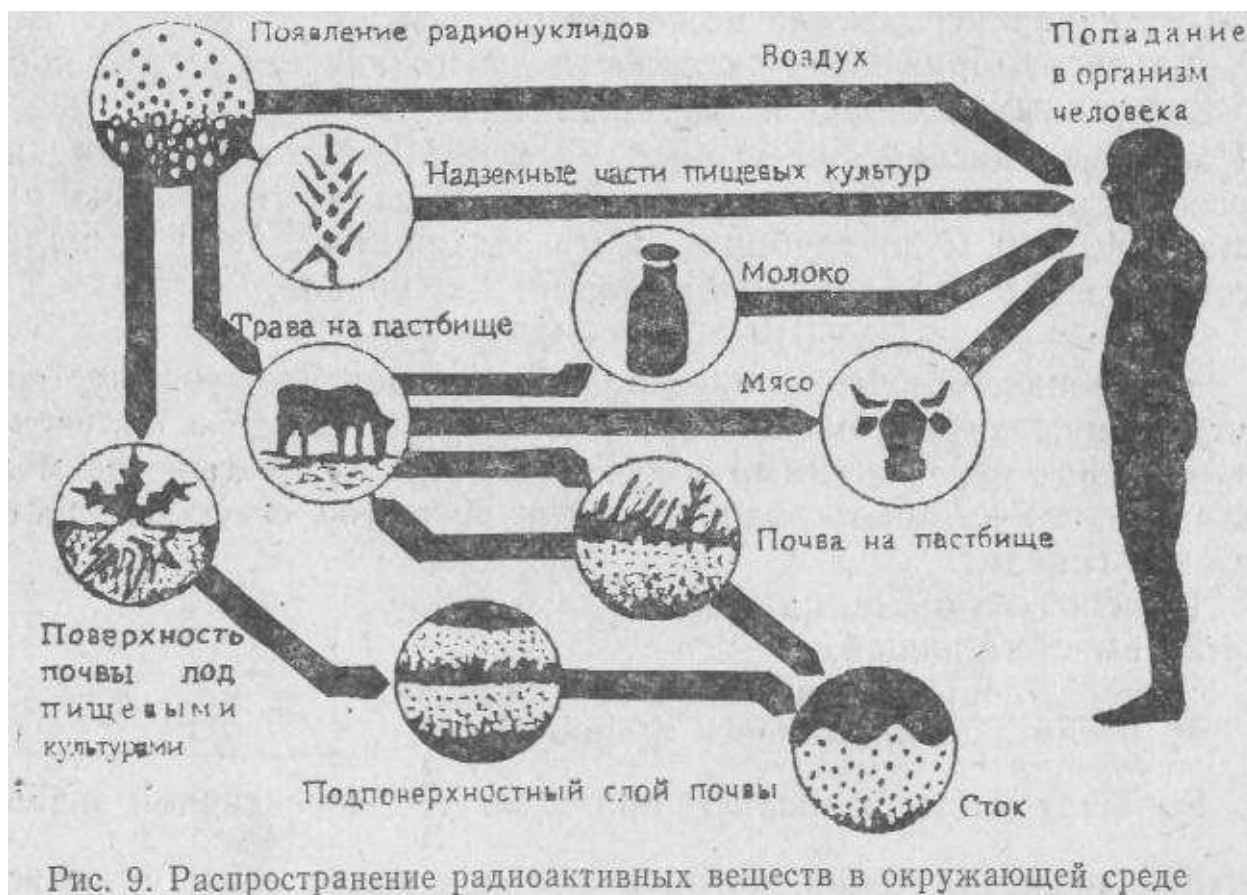


Рис. 9. Распространение радиоактивных веществ в окружающей среде

- числа актов распада в единицу времени на среднюю энергию одного акта распада);
- 6) масса облучаемой ткани (зависит от проникающей способности излучения и локализации радиоактивного вещества в организме) ;
 - 7) отношение массы облучаемой ткани к массе всего тела;
 - 8) количество радионуклидов в органе, т. е. количество распада в единицу времени и вид излучения.

На рис. 9 представлена одна из схем распространения радиоактивных веществ в окружающей среде.

Из всех путей поступления радионуклидов в организм наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха.

Попавшие в организм радионуклиды распределяются или равномерно по всему телу (калий, цезий) или концентрируются в отдельных органах и тканях (стронций, радий — в костях, йод — в щитовидной железе).

Воздействие радионуклидов, одновременно поступивших внутрь организма, с течением времени уменьшается за счет радиоактивного распада и биологического выведения из организма естественным путем. Например, некоторые долгоживущие радионуклиды: йод-131, цезий-137 не накапливаются в организме, а сравнительно быстро выводятся из него.

К основным естественным и искусственным радионуклидам, ответственным за внутреннее облучение человека, относятся: калий-40, радий-226, полоний-210, радон-222, -220, йод-131, цезий-137, стронций-90, радиобиологические свойства которых приведены в табл. 1.

Годовая эффективная доза внутреннего облучения для всего тела от всех источников — естественных радионуклидов, содержащихся в человеке, составляет 135 мбэр.

Радиобиологические свойства радионуклидов			
Нуклид	Критический орган	Период полураспада	Эффективный период полувыведения
Естественные радионуклиды			
Калий-40	Всё тело	1,3 млрд. лет	58 суток
Уран-238	Всё тело	4,5 млрд. лет	300 суток
Радий-226	Всё тело Костные ткани	1620 лет	22 года 44 года
Полоний-210	Всё тело Костные ткани	138 суток	25 суток 20 суток
Радон-220 Радон -222	Лёгкие	55 сек 3,8 суток	-
Искусственные радионуклиды			
Йод-226	Всё тело Щитовидная железа	8 суток	7,6 суток
Цезий-137	Всё тело	30 лет	70 суток
Стронций-90	Костные ткани	29 лет	18 лет

Годовая эффективная доза внутреннего облучения для всего тела от всех источников — естественных радионуклидов, содержащихся в человеке, составляет 135 мбэр.

РАДОН

Наиболее весомым из всех естественных источников радиации (на территории России его вклад достигает 44%) является невидимый, не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ (в 7,5 раза тяжелее воздуха) — радон. Человек подвергается воздействию радона и продуктов его распада в основном за счет внутреннего облучения при поступлении радионуклидов в организм через органы дыхания и, в меньшей мере, с продуктами питания.

В природе встречаются два изотопа радона: радон-222 (образуется при распаде урана-238) и радон-220 (один из продуктов в ряду распада тория-232). Оба изотопа излучают альфа-частицы, превращаясь в изотоп полония, которые, в свою очередь, тоже излучая альфа-частицы, дают начало следующим нуклидам (альфа- или бета-активным) и так далее — вплоть до стабильных изотопов свинца (рис. 10). Радона-222 в природе в 20 раз больше, чем радона-220, поэтому далее будет подразумеваться в основном первый из них.

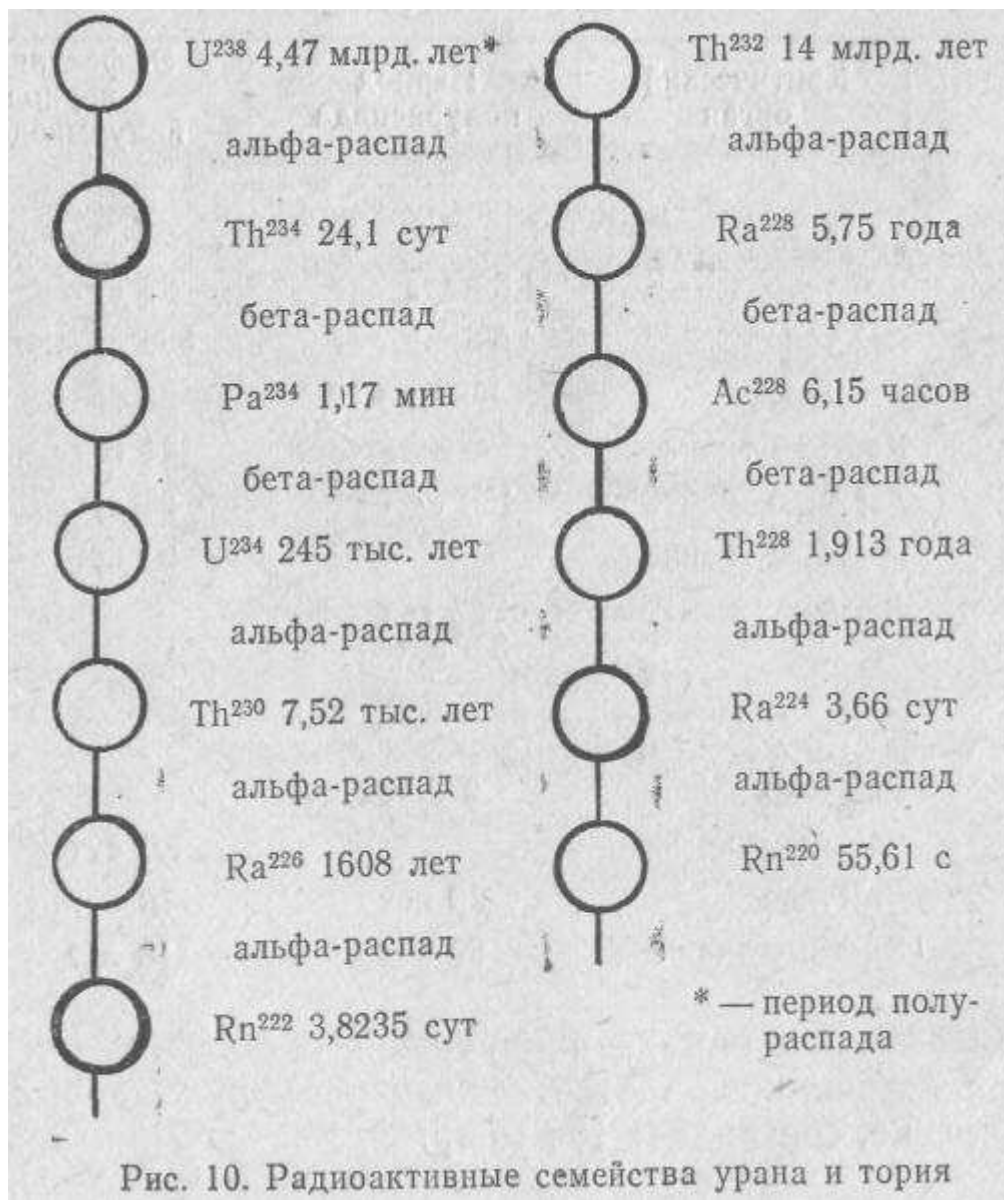


Рис. 10. Радиоактивные семейства урана и тория

Радон высвобождается из земной коры, однако основную часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом, непроветриваемом помещении, причем радон концентрируется в воздухе внутри помещений лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды. Средняя равновесная концентрация радона внутри помещений составляет около 15 Бк/м³. В зонах с умеренным климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем примерно в 8—10 раз выше, чем в наружном воздухе. Герметизация помещений с целью утепления только усугубляет дело, поскольку при этом еще более затрудняется выход радиоактивного газа из помещений. Поступая внутрь помещений тем или иным путем (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или, реже, высвобождаясь из материалов, использованных в конструкциях дома), радон накапливается в нем. В результате в помещении могут возникнуть довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если при его постройке использовали материалы с

повышенной радиоактивностью. В среднем человек получает 65—130 мбэр в год за счет внутреннего облучения радоном.

Самые распространенные строительные материалы — дерево, кирпич и бетон — выделяют относительно немного радона. Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают, например, гранит и пемза, также используемые в качестве строительных материалов. Кальций-силикатный шлак также обладает, как выяснилось, довольно высокой удельной радиоактивностью. Среди других промышленных отходов с высокой радиоактивностью, применяющихся в строительстве, следует назвать кирпич из красной глины — отход производства алюминия, доменный шлак — отход черной металлургии, и зольную пыль, образующуюся при сжигании угля. (Таблица 2).

Удельная радиоактивность строительных материалов, Бк/кг	
Дерево	1
Песок и гравий	10—30
Кирпич — силикатный	10—20
— красный глиняный	40—130
Цемент	40—90
Гранит	180
Кальций-силикатный шлак (США)	2000
Шлаки	300

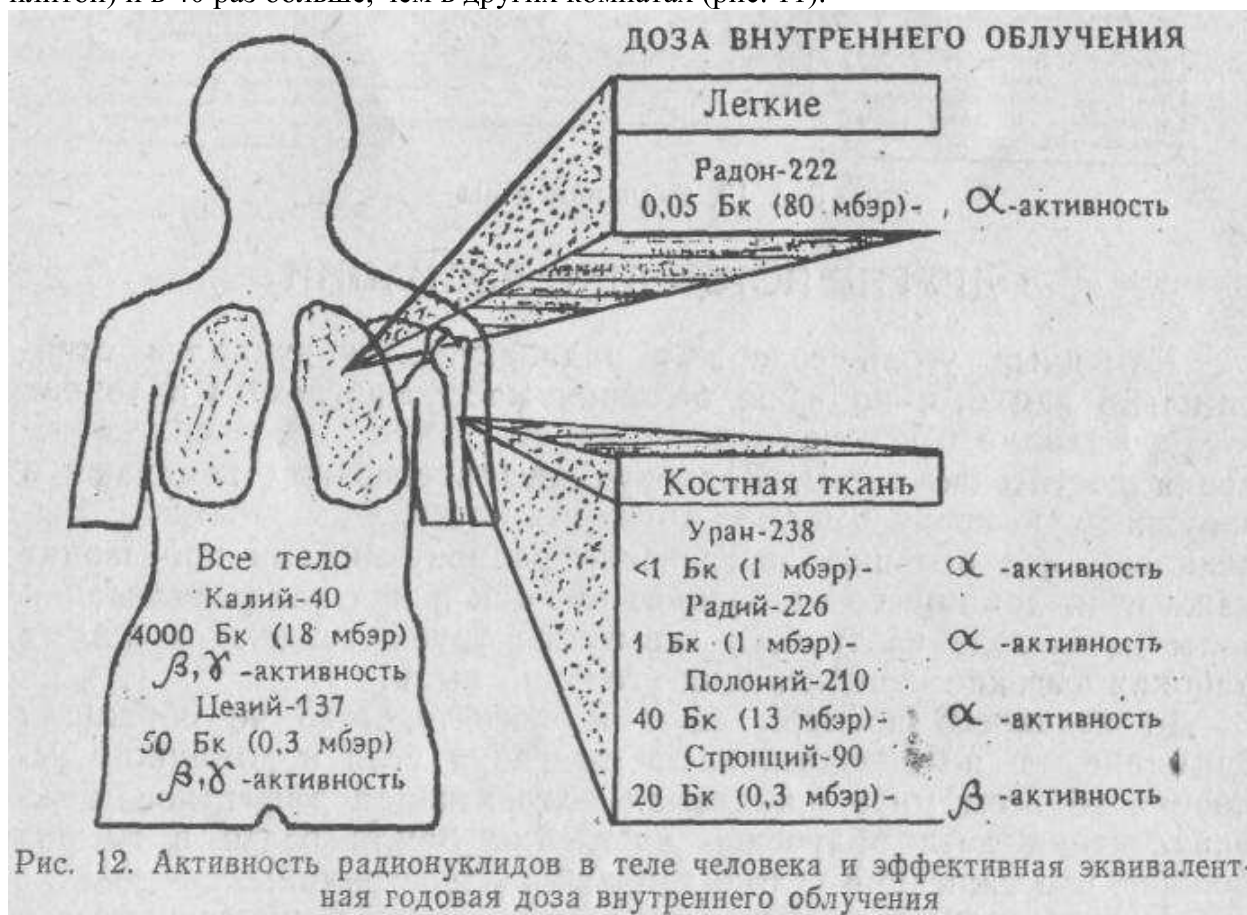
Конечно, радиационный контроль строительных материалов заслуживает самого пристального внимания, однако главный источник радона в закрытых помещениях — это грунт. Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения фактически определяется толщиной и целостностью стен и перекрытий между этажами. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона уменьшается примерно на 30%.

Еще один, как правило, менее важный источник поступления радона в жилые помещения представляют собой вода и природный газ. Концентрация радона в обычно используемой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит очень много радона. По оценкам НКДАР ООН (Научный комитет по действию атомной радиации), среди всего населения Земли около 1% жителей потребляют воду с удельной радиоактивностью более 1 млн. Бк/м³ и около 10% пьют воду с концентрацией радона, превышающей 100000 Бк/м³. А поскольку при нагревании растворимость всех газов уменьшается, то лучше пить кофе или чай, чем некипяченую воду (даже «заговоренную» по телевизору).

В результате предварительной переработки и в процессе хранения природного газа перед поступлением его к потребителю большая часть радона улетучивается, но концентрация радона в помещениях может заметно возрасти, если кухонные плиты, отопительные и другие нагревательные устройства, в которых сжигается газ, не снабжены вытяжкой. При наличии же вытяжки, которая сообщается с наружным воздухом, пользование газом практически не влияет на концентрацию радона в помещении.



Неудивительно, что в ванной комнате радона раза в 3 больше, чем в кухне (с газовой плитой) и в 40 раз больше, чем в других комнатах (рис. 11).



Доля домов, внутри которых концентрация радона и его дочерних продуктов составляет от 1000 до 10000 Бк/м³, лежит в пределах от 0,01 до 0,1% в различных странах. Это означает, что не так уж мало людей подвергаются заметному облучению из-за высокой концентрации радона внутри домов, где они живут. Однако в странах, где этот вопрос стоит не так остро, как например в Швеции, 3/4 коллективной эквивалентной дозы, получаемой населением этих стран за счет радона, складывается из доз облучения в домах

с удельной радиоактивностью воздуха в помещениях менее 100 Бк/м³. Эффективная эквивалентная доза облучения от радона и его дочерних продуктов составляет в различных странах мира в среднем около 100 мбэр/год, т. е. согласно текущим оценкам, около половины всей годовой дозы, получаемой человеком в среднем от всех естественных источников радиации (рис. 12).



ДРУГИЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ

Каменный уголь содержит радиоактивных нуклидов относительно немного, но из-за больших масс, сжигаемых в топках электростанций и в печах отопления, его вклад в облучение населения достаточно весом. Радионуклиды в основном попадают в окружающую среду с пылью топочных газов, со шлаками. Выяснилось, что большое загрязнение радионуклидами производят даже печи домашнего отопления, так как в них нет улавливания золы на выходе из труб, а невысокие трубы создают в жилых районах высокие концентрации угольной пыли.

До недавнего времени на это обстоятельство не обращали внимание, но по оценкам, из-за сжигания угля в домашних условиях во всем мире ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения населения Земли почти в 50 раз больше, чем сжигания угля в топках электростанций.

Использование фосфатов для производства удобрений и в качестве кормовых добавок, термальные водоемы могут привести также к увеличению радиационного облучения.

ТЕХНОГЕННЫЕ (искусственные) ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ В ЖИЗНИ И БЫТУ

В XX столетии человечество приобрело дополнительные источники облучения к естественному радиационному фону: медицина и атомное оружие, производство энергии и обнаружение пожаров, изготовление светящихся циферблатов и поиск полезных ископаемых и т. д.

Эти радиоактивные «поделки» человека увеличивают дозы облучения как отдельных людей, так и населения Земли в целом.

РЕНТГЕНОВСКАЯ АППАРАТУРА

Рентгеновская аппаратура широко используется в медицине и технике. В промышленно развитых странах рентгенологическим обследованиям и процедурам подвергаются в течение года от 300 до 900 человек на тысячу населения.

Рентгенография, флюорография, рентгенотерапия — эти процедуры стали ordinary. Как правило, они необходимы или даже неизбежны, но сопровождаются облучением тех или иных участков или органов человека.

Для сравнения приведем следующие цифры:

0,5—1 мбэр	— ежедневный 3-часовой просмотр ТВ в течение года,
150—200 мбэр	— годовая доза за счет естественного радиационного фона,
370 мбэр	— флюорография (одна процедура),
3000 мбэр	— однократное облучение при рентгенографии зубов,
30000 мбэр	— рентгеноскопия желудка (одна процедура),
30000 мбэр	— обслуживание радоновых ванн,
8500 мбэр	— радиофармацевтическая процедура.

Со времени открытия рентгеновских лучей самым значительным достижением в разработке методов рентгенодиагностики стала компьютерная томография. Ее применение при обследовании почек позволило уменьшить дозы облучения кожи в 5 раз, яичников — в 25 раз, семенников — в 50 раз по сравнению с обычными методами.

Рентгеновская аппаратура используется также при рентгеноскопии сварных швов ответственных узлов металлоконструкций. С некоторого времени рентгеновские аппараты стали использоваться в аэропортах для проверки багажа.

Опасности для пассажиров эта процедура не представляет, так как облучение, с ней связанное, очень мало.

С каждым годом растет применение в медицине радионуклидов и меченных радиоактивных атомов в диагностических и радиофармацевтических целях. Количество процедур и обследований с использованием радионуклидов в развитых странах достигло 10—40 в год на тысячу человек. При этом, конечно, облучаются не только пациенты, но также медицинские работники, сотрудники реакторных установок, на которых производятся радионуклиды, и цехов, где они обрабатываются и фасуются. Средняя доза облучения пациента при этих процедурах невелика по сравнению с процедурой рентгеноскопии.

Радоновые ванны приносят людям исцеление от некоторых заболеваний и не приводят к заметному облучению больных. Этого не скажешь об обслуживающем персонале. Доза облучения в год одного сотрудника достигает 30000 мбэр.

Цветной телевизор стал членом почти каждой семьи, число телезрителей исчисляется многими миллионами. А между тем телевизор тоже является источником ионизирующего излучения, правда, довольно слабого. Тем не менее, трехчасовое «дежурство» в день у телевизора приводит к облучению дозой около 1 мбэр в год.

В приборостроении и в часовой промышленности часто применяются люминофоры. Светящиеся радиолюминесцентные циферблаты приборов и часов имеют известные достоинства, но для их изготовления применяются радиоактивные материалы. Коллективная эффективная доза населения, полученная от радиолюминесцентных циферблатов часов и приборов, близка к той, которую получают работники атомной промышленности или экипажи авиалайнеров. В этой связи можно напомнить ситуацию, сложившуюся на первых американских атомных подводных лодках. В первый период эксплуатации, при нормальной работе реакторных установок, дозиметристами было отмечено некоторое превышение нормы облучения экипажа лодок. Обеспокоенные специалисты проанализировали радиационную обстановку на корабле и пришли к неожиданному выводу: причиной переоблучения экипажа являлись радиолюминесцентные циферблаты приборов, которыми в избытке были оснащены многие корабельные системы. После сокращения количества приборов и замены радиолюминофоров радиационная ситуация на лодках заметно улучшилась.

В последнее время производственные помещения стали оснащаться противопожарной сигнализацией. В детекторах дыма системы сигнализации используются альфа-

излучатели. При правильном хранении и эксплуатации детекторы не представляют радиационной опасности. Но при безграмотном и безалаберном пользовании они могут причинить вред здоровью.

ЭНЕРГЕТИКА КАК ИСТОЧНИК РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Нам понятно радиационное воздействие на население атомных станций. Непривычно воспринимать как источники радиационного воздействия угольные электростанции на органическом топливе.

А дело в том, что каменные угли содержат естественные радиоактивные элементы, такие, как калий-40, уран-238 и торий-232.

Радионуклиды из сгоревшего в топке котла угля поступают во внешнюю среду или через трубу вместе с дымовыми газами или с золой и шлаками через систему золоудаления.

Годовая доза в районе вокруг ТЭС на угле составляет 0,5—5 мбэр/год.

А каково же радиационное воздействие реакторов атомных станций? В настоящее время в мире действует около 400 ядерных реакторов. Их мощность составляет примерно 17% суммарной мощности всех источников электроэнергии.

Как это ни парадоксально, но величина коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения от АЭС при нормальной эксплуатации в 5—10 раз ниже, чем от угольных электростанций.

Приведенные цифры относятся к безаварийной работе реакторов современных АЭС.

Но мы знаем, что предприятия ядерного топливного цикла были чудовищными источниками радиоактивного загрязнения и атмосферы, и водной среды, и земли (производственное объединение «Маяк», Чернобыльская АЭС).

РАДИАЦИОННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Почти 40 лет атмосфера Земли очень сильно загрязнялась радиоактивными продуктами атомных и водородных бомб. С 1945 года по 1981 год в атмосфере было осуществлено более 400 взрывов ядерного оружия. «Передовиками» в этом ядерном безумии были СССР и США. Суммарная мощность ядерных взрывов составила более 30 мегатонн (? так в тексте. — VG). В биосферу было выброшено 12,5 т продуктов деления.

Кроме того, при делении ядерной взрывчатки в момент взрыва происходит взаимодействие нейтронов с ядрами атомов воздуха, вследствие чего образуется радиоактивный изотоп водорода тритий с периодом полураспада 12,3 года и углерод-14 с периодом полураспада 5730 лет. Взрывы изменили равновесное содержание в атмосфере углерода-14 на 2,6%, а трития — почти в 100 раз. Обмен воздушными массами между северным и южным полушариями мал, поэтому выпадение радиоактивных осадков происходило в основном в том полушарии, где производились испытания. Среднее время пребывания продуктов взрыва в атмосфере от года до двух. В течение нескольких лет на Земле происходило накопление радиоактивности. После прекращения испытаний в атмосфере радиационный фон стал снижаться.

Кстати говоря, на территории ИАЭ им. И. В. Курчатова еще в 50-х годах был установлен контроль за выпадением радиоактивных осадков. Их накопление от московских реакторов практически не отмечалось, но зато через несколько суток после проведения на восточном или северном полигоне очередного взрыва фиксировали большое количество радиоактивных осадков.

В радиоактивных осадках содержалось несколько сотен различных радионуклидов, однако большинство из них быстро распадались. Основной вклад в облучение давало и еще дает небольшое число долгоживущих радионуклидов, таких, как углерод-14, цезий-137, стронций-90 и цирконий-95. Наибольший вклад в ожидаемую эффективную эквивалентную дозу дает углерод-14, а также внешнее и внутреннее облучение радиоактивными продуктами деления.

В настоящее время средняя мощность эффективной эквивалентной дозы, обусловленная продуктами взрывов, составляет величину около 1 мбэр/год, что равно примерно 1% от мощности дозы, обусловленной естественным радиационным фоном.

Основные источники облучения населения и обусловленные ими эффективные эквивалентные дозы, мбэр/год

Источники облучения	Среднее мире	в Среднее России	в
Природные			
Космическое излучение	30	32	
Внешнее облучение на местности и от стройматериалов	35	37	
Внутреннее облучение	37	37	
Радон-222, радон-220	97	126	
Всего	200	232	
Медицинские процедуры	100	169	
Испытания ядерного оружия	2	1,5	
Ядерная энергетика	0,01	0,01	
Итого	300	400	

Таким образом, из приведенных данных следует, что годовая доза фонового облучения составляет в среднем примерно 200 мбэр. На 2/3 она связана с внутренним воздействием естественных радионуклидов — в основном продуктов распада радона и тория, поступающих в организм человека с вдыхаемым воздухом.

Внешнее воздействие примерно поровну обусловлено космическим излучением и такими природными γ -излучателями, как калий-40 и радионуклиды ториевого и уранового рядов. В практическом применении искусственных радионуклидов и других источников ионизирующего излучения доминирует использование излучения в медицинской диагностике (100 мбэр/год), (рис. 14). Следует иметь в виду, что средние дозы в медицинской диагностике в разных странах неодинаковы и могут различаться в 3 раза.

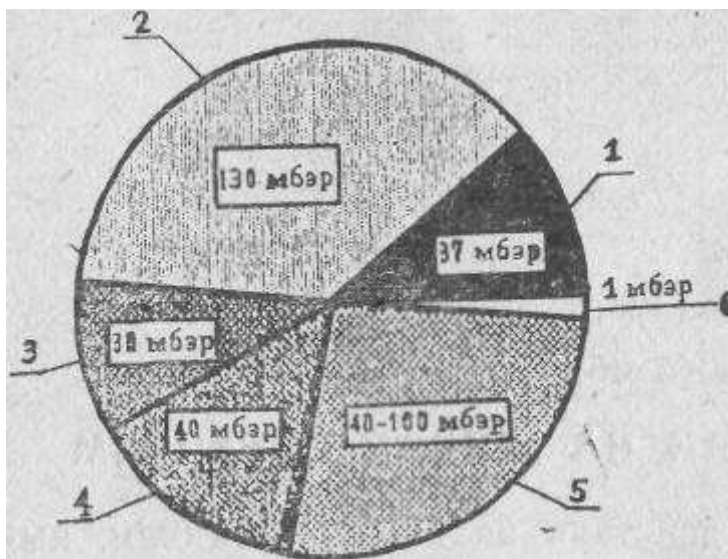


Рис. 14. Природные и искусственные источники излучения.

Годовые дозы, получаемые от природных источников излучения в районах с нормальным фоном:

Космические лучи на уровне моря

Облучение радоном

Облучение калием-40

Другие естественные радионуклиды

Годовые дозы, получаемые от техногенных источников излучения:

Медицинское использование излучений

Последствия испытаний ядерного оружия (глобальные выпадения Sr-90 и Cs-137).

По данным Томской санэпидстанции радиационный фон на территории города составляет величину не более 15 мкР/час (в настоящее время, по данным электронного табло, висящего на здании Облкомэкологии (перекрёсток Кирова и Белинского), гамма-фон в Томске составляет 9—11 мкР/час. — VG), что соответствует примерно 130 мбэр/год. И

это будет в том случае, если мы весь год будем находиться на улице (где измерения и проведены), не будем ходить в баню или принимать душ (радон), откажемся от флюорографии и телевизора, не будем летать в командировки, в отпуск.

В заключение читателю предлагаем вычислить свою радиоактивную дозу:

Радон в вашем доме 130

Космическое излучение 26

Поскольку доза от космического излучения зависит от высоты над уровнем моря, прибавить 1 на каждые 30 м выше уровня моря.

Прибрежные города, расположенные на уровне моря, плюс 0.

Томск — 160 м, плюс 5.

Радиация от земли 26

Радиоактивность воды, пищи и воздуха 24

Глобальные выпадения от испытаний ядерного оружия 4

Если вы проходили флюорографию грудной клетки, плюс 12 за каждый раз в течение года

Если вам проводили рентгеноскопию кишечной полости, плюс 300 за каждый раз в течение года.

Если вам проводили рентгенографию зубов, плюс 60 за каждый раз в течение года.

За каждый час полета на самолете в течение года, плюс 0,5.

Если вы живете в десятикилометровой зоне от АЭС, плюс 0,3.

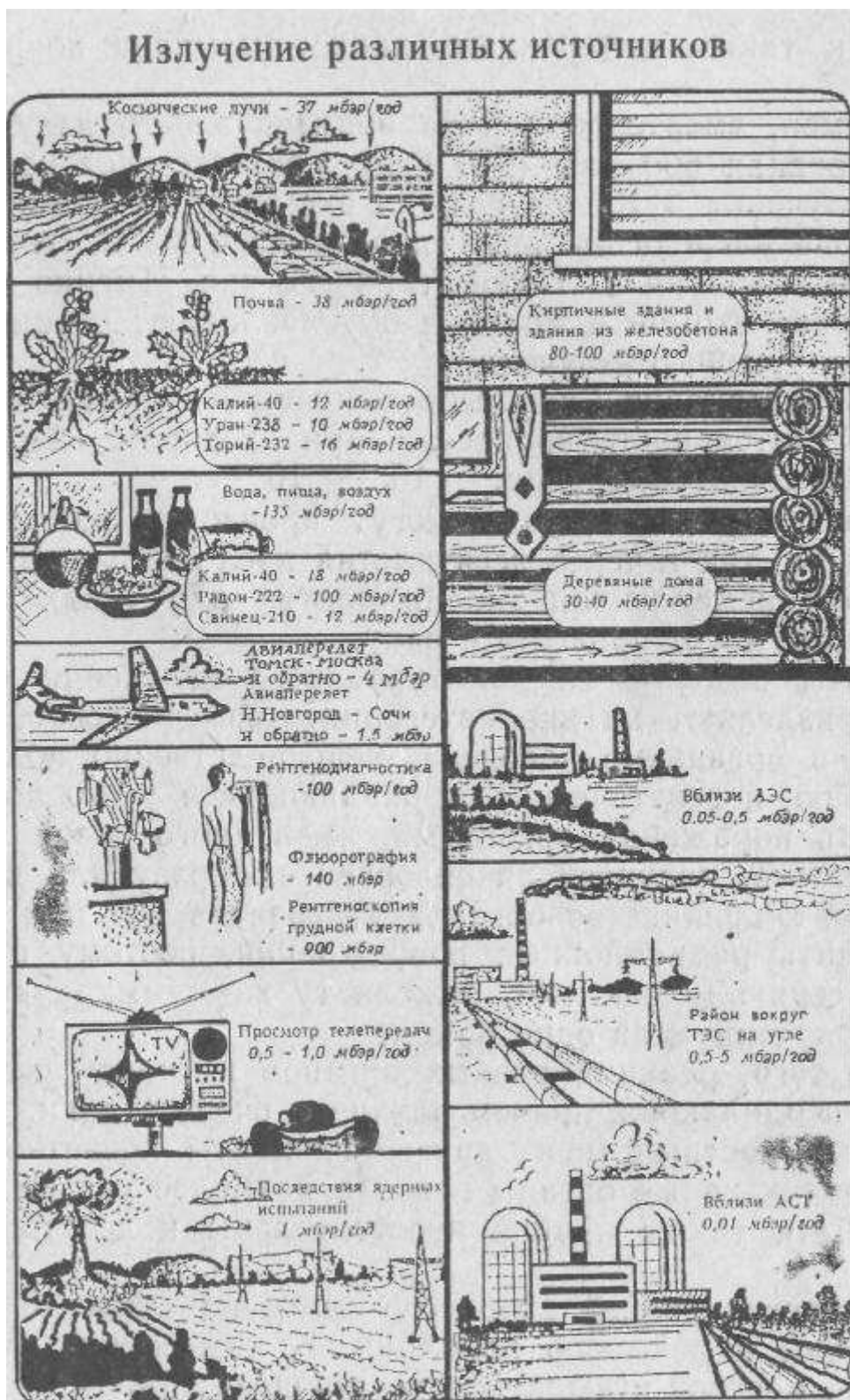
Если вы спите вместе с супругой (супругом), плюс 0,1.

ВОЗДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ

Ионизирующее излучение, действуя на живой организм, вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений, которые приводят к тем или иным биологическим последствиям. Первичным этапом, инициирующим многообразные процессы, происходящие в биологическом объекте, является ионизация (от атома отрывается электрон).

В процессе ионизации происходит разрушение молекул вещества, образуются «свободные радикалы» и сильные окислители с высокой химической активностью.

Получающиеся в процессе радиолиза воды (в биологической ткани 60—70% по массе составляет вода) свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению жизнедеятельности организма в целом.



Специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты заключается в том, что производимый им эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается (индуцированные свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением).

Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение.

Например, смертельная доза ионизирующего излучения для человека, равная 600 рад (600 бэр), соответствует поглощенной энергии излучения $6 \cdot 10^4$ эрг/г. Если эту энергию подвести в виде тепла, то она нагрела бы тело едва ли на $0,001^\circ\text{C}$. Это тепловая энергия, заключенная в стакане горячего чая. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул обуславливают специфику действия ионизирующего излучения.

Время протекания процесса ионизации составляет 10-16—10-14 с. Длительность процесса, при котором наблюдаются физико-химические изменения, — 10-10—10-6 с.

Биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений в них, которые могут привести к раку.

Эффекты воздействия ионизирующего излучения на живой организм разделяют на две категории: соматические, которые возникают в организме человека, непосредственно подвергнувшегося облучению, и генетические, проявляющиеся у его потомков.

Тяжесть поражения организма, вызванного дозой радиации, зависит от того, получает ли ее организм сразу или в несколько приемов. Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения, поэтому они лучше переносят серию мелких доз, нежели ту же суммарную дозу облучения, полученную за один прием.

Кроме того, реакция разных органов и тканей человека на облучение неодинакова, причем различия очень велики.

Красный костный мозг, другие элементы кроветворной системы, репродуктивные органы и глаза наиболее уязвимы при облучении. Дети также крайне чувствительны к действию радиации.

Большинство тканей взрослого человека относительно мало чувствительны к действию радиации. К ним можно отнести почки, печень, мочевой пузырь, зрелые хрящевые ткани.

Накопленный к настоящему времени большой материал, полученный в экспериментах на животных, а также на основе обобщения многолетних данных о состоянии здоровья рентгенологов, радиологов и других лиц, которые подвергались воздействию ионизирующих излучений, показывает, что при однократном равномерном гамма-облучении всего тела:

10000 бэр	— смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы,
1000—5000 бэр	— смерть наступает через одну—две недели вследствие внутренних кровоизлияний,
400—500 бэр	— 50% облученных умирает в течение одного—двух месяцев вследствие поражения клеток костного мозга,
100 бэр	— нижний уровень развития лучевой болезни,
75 бэр	— кратковременные незначительные изменения состава крови,
30 бэр	— облучение при рентгеноскопии желудка (разовое),
25 бэр	— допустимое аварийное облучение персонала (разовое),
10 бэр	— допустимое аварийное облучение населения (разовое),
5 бэр	— допустимое облучение персонала в нормальных условиях за год,
0,5 бэр	— допустимое облучение населения в нормальных условиях за год,
0,350 бэр	— годовая эквивалентная доза облучения за счет всех источников излучения в среднем для жителя России.

При установлении норм радиационной безопасности Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) был взят за основу следующий принцип: «Обеспечить защиту от ионизирующего излучения отдельных лиц, их потомство и человечество в целом, и в то же время создать соответствующие условия для необходимой практической деятельности человека, во время которой люди могут подвергаться воздействию ионизирующих излучений». Исходя из этого МКРЗ установила систему дозовых пределов,

которые легли в основу отечественных норм «Нормы радиационной безопасности НРБ-76/87».

Всего выделено три категории:

категория А — лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с источниками излучений,

категория Б — лица, которые не работают непосредственно с радиоактивными источниками, но по условиям проживания могут подвергаться воздействию радиоактивных веществ,

категория В — области, края, республики.

Для каждой категории облучаемых лиц установлены следующие нормативы: основные дозовые пределы и допустимые уровни, соответствующие дозовым пределам.

При облучении всего тела или наиболее радиочувствительных органов (гонады, костный мозг) предельно допустимые дозы равны: для категории А — 5 бэр/год (50 мЗв/год), для категории Б — 0,5 бэр/год (5 мЗв/год). В случае облучения некоторых органов и тканей установлены менее жесткие дозовые пределы с учетом различной радиочувствительности органов.

Дозовые пределы не включают дозы за счет естественного фона излучения и рентгенодиагностических процедур.

Для категории В дозовые пределы не установлены. Часто не представляется возможным непосредственно измерить дозу, например, в случаях внутреннего облучения. Это обуславливает необходимость введения допустимых уровней — нормативных значений поступления радиоактивных веществ в организм, содержание радиоактивных веществ в организме, их концентрации в воде и воздухе, мощности дозы, плотности потока.

В настоящее время среди ученых нет единой точки зрения по вопросу о биологических последствиях малых доз облучения. Некоторые считают, что зависимость доза — эффект имеет линейный вид, другие полагают, что вредные эффекты облучения выявляются, начиная с какого-то определенного порога. Третьи полагают, что небольшие дозы даже полезны. По-видимому, существуют как положительные, так и отрицательные радиационные эффекты малых доз. Науке еще только предстоит выяснить, какие — полезные или вредные для человека — эффекты будут преобладать в каждой конкретной ситуации и определить границу доз, за которой отрицательные эффекты доминируют.

При работе с радиоактивными источниками основное требование к обеспечению безопасных условий труда — сооружение защитных барьеров, обеспечивающих снижение дозы внешних потоков излучений на рабочих местах и в соседних помещениях, до допустимых уровней, или использование защиты временем и защиты расстоянием, чтобы за время проведения той или иной операции не произошло переоблучение персонала и ограниченной части населения.

РИСК ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ОПАСНОСТИ

Жизнь — очень рискованное дело. Рано или поздно мы все закончим эту счастливую игру и присоединимся к нашим собратьям, «по ком звонит колокол». Единственный вопрос состоит в том, уйдем ли мы из жизни по естественной причине, прожив отпущенный нам период, или же умрем преждевременно, став жертвой современной технологии. Жизнь в промышленно развитом обществе сталкивает нас со многими опасностями, причем одни из них очевидны, например, риск автомобильной или авиационной катастрофы, другие — более трудно различимы, далеки от нашего сознания и не оказывают моментального эффекта. Мы пытаемся решить данную проблему риска, делая выбор, основанный на нашем понимании значимости конкретной опасности и той выгоде, которую дает эта опасность при приемлемом риске. Очевидно, большинство из нас считают, что скорость и комфорт полета на пассажирском самолете, по-видимому, стоит риска смерти, равного приблизительно одному шансу из миллиона на каждый полет. А вождение собственного автомобиля стоит значительно более высокого уровня риска! Иногда наше суждение о

риске не особенно разумно. Многие люди продолжают курить, несмотря на явный риск для их здоровья, о чем, кстати, напечатано на каждой упаковке сигарет, и однозначную связь между курением и раком легкого. Ограничить распространение курения — дело наших рук. Мы можем воздержаться от курения и тем самым сильно снизить шанс заболевания раком легкого. Если мы хотим уменьшить трудности, связанные с ожирением и гипертонией, мы должны умеренно питаться и регулярно заниматься физкультурой. Мы можем жить не в городе, а в сельской местности и таким образом избежать различного риска, связанного с убийством или загрязнением атмосферы. Но наш контроль над степенью риска распространяется на ограниченную группу опасностей, подстерегающих нас каждый день, пока мы не изолируемся от гущи событий нашей жизни. Опасности, которым все мы подвергаемся, в большей части находятся за пределами нашего контроля. Принятый на Западе научный анализ медицинского риска от действия вредных факторов подразумевает получение ответа на три извечных вопроса, свойственных людям при выборе своего поведения:

- Что это такое (в данном случае риск)?
- Каков его уровень, приемлем он или нет?
- Что с ним делать - смириться, стараться снизить или избежать?

Если под риском понимать вероятность погибнуть в течение года по той или иной причине (а таких причин в современной жизни достаточно), то в условиях каких рисков мы живем? Прежде всего надо отметить, что риск, обусловленный внутренней средой обитания человека, т. е. в результате различных заболеваний и старения, составляет $1 \cdot 10^{-2}$ в год. Это значит, что в среднем один человек из 100 умирает ежегодно от болезней и старости. Наибольший вклад в этот риск дают сердечно-сосудистые ($4,7 \cdot 10^{-3}$) и онкологические ($1,6 \cdot 10^{-3}$ в год) заболевания.

Принято считать, что в среднем «жизненный» риск составляет $1 \cdot 10^{-4}$, то есть из 10 тыс. человек в течение года гибнет один (тонет, погибает при пожаре, землетрясении, наводнении, урагане и т. п.) в результате влияния естественной среды обитания.

Кроме того, человек рискует погибнуть и от искусственной среды обитания, т. е. транспортных происшествий, загрязнения окружающей среды и т. д. Так, риск от курения (более 20 сигарет в день) составляет $5 \cdot 10^{-3}$ в год. По оценке американских экспертов, риск от 100 угольных и нефтяных электростанций (мощностью по 1000 МВт) в условиях США составляет $3 \cdot 10^{-5}$ в год. Это в 50 раз больше, чем для АЭС ($6 \cdot 10^{-7}$ в год). Из этих данных видно, что население добровольно подвергается достаточно высокому риску (в результате курения, вождения автомобиля и т. п.), имеющему общее значение примерно $1 \cdot 10^{-3}$ в год. Риск же $1 \cdot 10^{-6}$ уже не вызывает тревоги и квалифицируется как «воля Божья».

Общепризнано, что единственным наблюдаемым последствием облучения большого числа людей малоинтенсивным облучением может быть индуцирование нескольких раковых заболеваний, помимо тысячи заболеваний, которые возникают естественным образом спустя годы и даже десятки лет после облучения. Часто забывают, что рак главным образом является характерным заболеванием для людей преклонного возраста. В странах, где продолжительность жизни составляет 60—70 лет, 20% и более всех смертей происходит вследствие заболевания раком, однако средний возраст умирающих составляет примерно 65 лет. Во-вторых, мы можем подвергаться воздействию тысяч факторов в нашей повседневной жизни (в дополнение к радиации), которые могут вызвать рак. Список канцерогенов включает, например, нитрозоамины в хорошо прожаренных бифштексах, дымовую сажу, мышьяк, парафиновое масло, угольный деготь, некоторые компоненты табачного дыма, ультрафиолетовое излучение, асбест, некоторые промежуточные соединения химических красителей, грибковые токсины пищевых продуктов, вирусы и даже тепло. Лишь в исключительных случаях можно убедительно определить причину конкретного ракового заболевания.

Необходимо понимать, что угроза, создаваемая для здоровья человека некоторыми из других факторов, гораздо более велика, нежели роль малоинтенсивного изучения, и что воздействие еще большего числа факторов остается почти неизвестным.

Биологические последствия облучения принято делить на два класса.

При кратковременных дозах, превышающих 100 бэр, возникает лучевая болезнь с поражением отдельных органов или всего организма. При дозах менее 100 бэр лучевая болезнь не возникает, но возможно перерождение поврежденных клеток в злокачественные с последующим развитием рака. Перерождение носит статистический характер, и сказать заранее, произойдет перерождение или нет, нельзя. Но чем больше доза, тем больше и вероятность перерождения.

Таблица

Риск, выраженный в сокращении средней продолжительности жизни

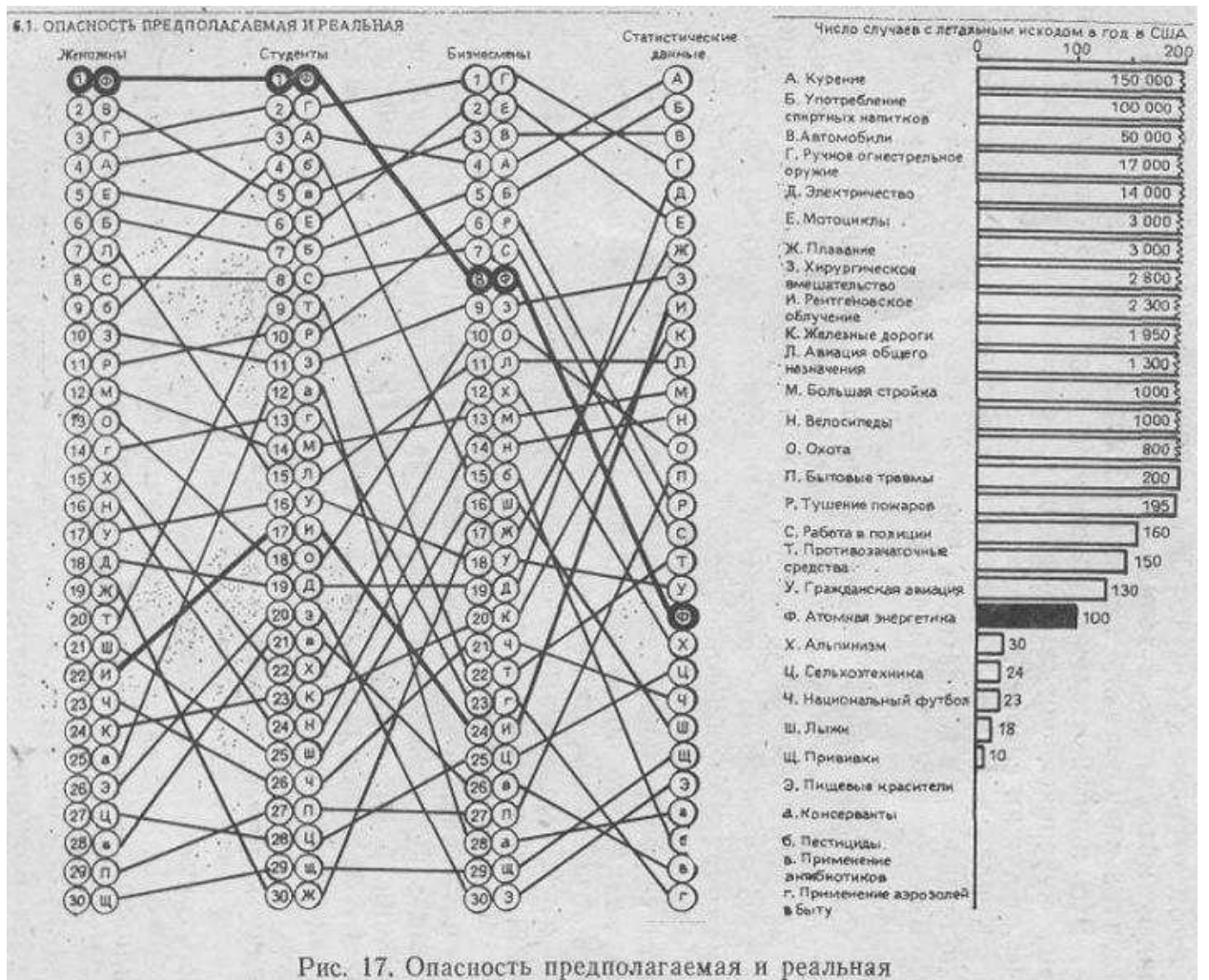
Деятельность, события	Сокращение средней продолжительности жизни в днях	Индивидуальный риск, 1/чел.год
Курение	1630	—
Работа в угольной шахте	1100	1,2·10 ⁻³ (США)
Излишний вес, 30 фунтов	920	—
Все несчастные случаи	450	5,8·10 ⁻⁴
Несчастные случаи на автотранспорте	200	2,8·10 ⁻⁴
Алкоголь	130	—
Самоубийство	85	2,2·10 ⁻⁴
Убийство	85	10 ⁻⁴
Профессиональные несчастные случаи	655	—
Несчастный случай на воде	42	4·10 ⁻⁵
Подъём ограничения скорости с 55 до 65 миль/час	40	—
Падения	40	4·10 ⁻⁵
Яды, удушья	38	—
Ожоги, пожар	28	4·10 ⁻⁵
Ядерная энергетика, вся энергетика США (оценка союза обеспокоенных учёных)	2	—
Вся жизнь рядом с АЭС	0,05	5·10 ⁻⁸ —3·10 ⁻⁷ (при дозе 1 мбэр на границе санитарной зоны)

Возникает ли рак при дозах облучения порядка 1 бэр и менее, в настоящее время неизвестно. Но в большинстве стран принято считать, что рак может возникнуть при любой дозе, лишь с разной вероятностью. Такое предположение получило название принципа беспороговости. Принцип этот скорее всего избыточный, перестраховочный, но, с практической точки зрения, несомненно полезный.

Чтобы проиллюстрировать риск для здоровья от фоновой радиации, мы можем сравнить его с риском от курения. Действительно, влияние радиации и курения на организм человека во многом сходно.



Рис. 1 6. Индивидуальный риск для населения от различных источников опасности.



источников, т. е. от космических лучей и от окружающих нас всех радиоактивных материалов, с точки зрения риска для здоровья, эквивалентна пяти затяжкам сигаретой каждую неделю.

Это приблизительно равноценно так называемому «пассивному курению», когда некурящие поневоле вдыхают табачный дым от чужих сигарет.

Курить в 100 раз опаснее, чем в течение жизни находиться в поле действия 10-кратного фона.

Владелец же автомобиля подвергает себя риску в 1000 раз больше.

Риск, связанный с облучением, при производстве ядерными реакторами электричества, следует сравнивать с альтернативными методами производства энергии и другими соответствующими видами опасности, с которыми мы имеем дело в современном индустриальном обществе.

Обобщая данные по смертности от различных видов риска, можно преобразовать их в сокращение средней продолжительности жизни. Это позволяет сравнивать различные виды риска, давать объективные их оценки и прогнозы.

Риск, выраженный в сокращении средней продолжительности жизни, приведен в таблице. Людям свойственно не только различное отношение к риску, но и различие в оценке величины грозящей опасности. Различия в суждениях зависят от возраста, пола, воспитания, образования, рода занятий и т. д., и т. п. При этом угрожающие здоровью и жизни факторы, кажущиеся некоторым группам общественности самыми опасными, не являются таковыми на самом деле и наоборот. Недостаток информации или образования приводит к тому, что ряд факторов человеческая психика склонна преувеличивать или недооценивать. По зарубежным данным, например, опасность электричества для жизни среди других причин женщины, студенты и бизнесмены дружно поставили на

девятнадцатое место, в то время как реально, по числу со смертельным исходом (14000 в год в США) данный фактор находится на пятом месте (рис. 17).

К радиации, как источнику опасности, отношение двойное, но в обоих случаях сопровождается значительными ошибками. Там атомную энергетику женщины и студенты оценивают как самую большую опасность, а рентгеновское облучение все категории помещают примерно на одно (17—20) место, тогда как по числу летальных исходов рентгенодиагностика находится на девятом месте, а атомная энергетика — на двадцатом! Видно, что опасность первого источника недооценивается, а второго значительно переоценивается. Обращает на себя внимание то, что общественное мнение меньше всего ошибается в случаях более простых и близких к обыденной жизни. Это, например, такие факторы, как курение, опасность хирургического вмешательства, травмы при строительстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Радиация не является каким-либо новым фактором воздействия на живые организмы, подобно многим химическим веществам, созданным человеком и ранее не существовавшим в природе.

Радиация — это один из многих естественных факторов окружающей среды. Естественный радиационный фон влияет на жизнедеятельность человека, как и все вещества окружающей среды, с которыми организм находится в состоянии непрерывного обмена. Поэтому при оценке опасности облучения крайне важно знать характер и уровни облучения от различных естественных источников излучения.

Роль естественного радиационного фона в жизни всего живого Земли еще до конца не выяснена.

Дополнительное облучение от техногенных источников радиации в глобальных масштабах пока еще невелико. Однако некоторые виды человеческой деятельности могут давать существенный вклад в естественный фон.

В сознании большинства людей радиация связана с атомными бомбами, разрушением Хиросимы и Нагасаки, аварией на Чернобыльской АЭС.

Уравновешенный взгляд на радиацию должен включать понимание существенной пользы от применения атома как в медицине, так во всех сферах человеческой деятельности.

В заключение приведем одно из высказываний физиков, долгое время работавших с радиоактивными веществами:

«Излучения не нужно бояться, но следует относиться к нему с должным уважением».

*Составлено Гедом на основе материала комитета по экологии и природопользованию
Томской области.*