

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ И ЭКОЛОГИИ

# РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА И ЭКОЛОГИЯ

Методические рекомендации

*Издание второе, исправленное*



Минск 2007

УДК 614.87 (075.8)  
ББК 53.6 я 73  
Р 15

Утверждено Научно-методическим советом университета в качестве  
методических рекомендаций 31.01.2007 г., протокол № 5

А в т о р ы: А. Н. Стожаров, Л. А. Квиткевич, А. Р. Аветисов, О. М. Жерко,  
О. А. Внукович, Т. М. Ваценко

Р е ц е н з е н т ы: доц. каф. общей гигиены, канд. мед. наук П. Г. Новиков; зав.  
2-й каф. терапевтической стоматологии и ВТС, канд. мед. наук, доц. А. Г. Третьякович

**Радиационная медицина и экология : метод. рекомендации / А. Н. Стожаров**  
Р 15 [и др.]. – 2-е изд., испр. – Минск: БГМУ, 2007. – 100 с.

Издание включает основные программные теоретические разделы радиационной медицины и экологии, необходимые для проведения профилактических мероприятий, снижающих негативные последствия воздействия факторов окружающей среды на население. Охватывает весь объем теоретического и практического материала по радиационной медицине и экологии, предусмотренный учебным планом и программой для студентов стоматологического факультета, и содержит все основные разделы, вплоть до вопросов для самоконтроля усвоения темы каждого занятия. Первое издание вышло в 2003 году.

Предназначено для студентов стоматологического факультета.

**УДК 614.87 (075.8)**  
**ББК 53.6 я 73**

© Оформление. Белорусский государственный  
медицинский университет, 2007

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 1

**Тема: Основы радиационной медицины**

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Усвоение особенностей взаимодействия ионизирующих излучений с веществом необходимо для понимания механизмов и закономерностей формирования лучевых повреждений организма человека и выбора соответствующих лечебно-профилактических мероприятий.

**Цель занятия:** усвоить основы патогенеза лучевых повреждений.

**Задачи:**

- 1) определить роль и место радиационной медицины в связи со сложившейся в Республике Беларусь радиоэкологической обстановкой;
- 2) усвоить использование основных методов регистрации ионизирующих излучений для группового и индивидуального дозиметрического контроля;
- 3) усвоить расчет прогнозируемого количества радионуклидов чернобыльского выброса в разное время после аварии.

**Требования к исходному уровню знаний.** Полноценное усвоение материала практического занятия возможно при наличии у студентов адекватных представлений о природе и свойствах ионизирующих излучений (медицинская и биологическая физика); строении атома и основных его характеристиках, радиолизе воды и влиянии его продуктов на биомолекулы (общая и биологическая химия).

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Основные характеристики атома (заряд ядра, атомная масса, атомный номер).
2. Понятия: «нуклон», «изотоп», «радионуклид»; их основные характеристики.
3. Понятие об ионизирующих излучениях.
4. Виды ионизирующих излучений.
5. Радиоактивность, традиционные и системные единицы радиоактивности и их соотношение.

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Роль и место радиационной медицины в связи со сложившейся радиоэкологической обстановкой в Республике Беларусь.
2. Характеристика основных видов ионизирующих излучений.
3. Типы радиоактивных превращений. Закон радиоактивного распада.
4. Физическая и физико-химическая стадии формирования лучевых повреждений.

5. Взаимодействие ионизирующих излучений с биологическими структурами.

6. Дозы: экспозиционная, поглощенная, эквивалентная, эффективная; системные и традиционные единицы доз, соотношения между ними. Коллективные дозы.

7. Основные методы регистрации ионизирующих излучений (ионизационный, стинцилляционный, фотографический).

8. Общая и индивидуальная дозиметрия. Контроль доз внешнего облучения.

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

### ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

**Радиационная медицина** — наука, изучающая особенности воздействия ионизирующего излучения на организм человека, принципы лечения лучевых повреждений и профилактики возможных последствий облучения населения.

**Ионизирующее излучение** — излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе и образует при взаимодействии со средой ионы разных знаков.

По природе ионизирующие излучения делятся на два основных вида:

- а) корпускулярные (от лат. *corpuscula* — частица) (альфа, бета и др.);
- б) электромагнитные (волновые) — гамма и рентгеновское.

Основа характеристики ионизирующих излучений:

- для корпускулярных излучений — заряд частицы, ее масса, а также энергия;
- для электромагнитных излучений — энергия.

По способу ионизации ионизирующие излучения также делятся на два вида:

а) прямо ионизирующие (альфа, бета) — поток заряженных частиц производят ионизацию непосредственно;

б) косвенно ионизирующие (гамма, рентгеновское, нейтронное) — электрически нейтральные излучения ионизируют атомы среды в результате вторичных процессов.

Ионизирующие излучения отличаются пространственным распределением актов ионизации, которое характеризуется линейной плотностью ионизации (ЛПИ). *Линейная плотность ионизации* — это число пар ионов, образованных заряженной частицей на микрометр пробега в веществе. ЛПИ определяется линейной передачей энергии (ЛПЭ). *Линейная передача энергии* — средняя энергия, теряемая заряженной частицей на единице

длины ее пробега в веществе. За единицу измерения принимают килоэлектронвольт на микрометр пути (кэВ/мкм).

В зависимости от величины ЛПЭ все излучения делят на два вида:

а) редкоизионизирующие (ЛПЭ < 10 кэВ/мкм) — бета-, гамма- и рентгеновское излучения;

б) плотноизионизирующие (ЛПЭ > 10 кэВ/мкм) — альфа- и нейтронное излучения.

Таблица 1.1

### Характеристика основных видов ионизирующих излучений

Излучение	Вид излучения	Масса (а.е.м.)	Заряд	Защитные материалы
Альфа (ядро атома гелия)	корпускулярное	4	+2	Бумага, кожа, одежда
Бета (электроны, позитроны)	корпускулярное	1/1836	-1, +1	Пластмасса, стекло, легкие металлы
Гамма, рентгеновское	электромагнитное	0	0	Тяжелые металлы, бетон, грунт
Нейтрон	корпускулярное	1	0	Для замедления быстрых нейтронов: вода, парафин, бетон, пластмассы; для поглощения тепловых нейтронов: бораль, борная сталь, борный графит, сплав кадмия со свинцом

**Радиоактивность** — самопроизвольное превращение ядер одних элементов в другие, при котором ядро переходит в более устойчивое состояние. Процесс сопровождается испусканием ионизирующих излучений (корпускулярных либо электромагнитных).

Радиоактивные превращения характеризуются:

1) способом выделения избыточной энергии, которая отдается либо в виде альфа- или бета-частиц определенной энергии, либо электромагнитного излучения;

2) временем протекания радиоактивного распада и вероятностью распада ядра за единицу времени.

Радиоактивный распад — явление статистическое. Нельзя предсказать, когда именно распадется данное нестабильное ядро.

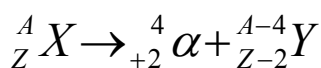
За единицы радиоактивности приняты:

а) системная — Беккерель (Бк). 1 Бк равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 акт распада (1 Бк = 1 расп/сек);

б) традиционная (внесистемная) — Кюри (Ки, Ci). Означает такое количество радиоактивного вещества, которое распадается с интенсивностью  $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в 1 секунду, т. е. 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

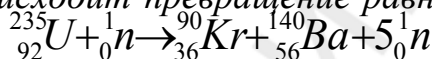
Таблица 1.2

### Основные типы радиоактивных превращений



Тип превращения		Схема превращения	Примеры ядер претерпевающих превращение
Альфа-распад			Am-241; Ra-226; Rn-222; U-238 и 235; Th-232; Pu-239 и 240
Бета-превращение	Электронный распад		тритий (H-3); C-14; Na-22, Na-24; P-30, P-32; S-35, S-37; K-40, K-44, K-45;
	Позитронный распад		Rb-87; Sr-89, Sr-90; I-125, I-129, I-131, I-134; Cs-134, Cs-137
	Электронный захват (К-захват)		
Гамма-превращение			Rb-81m; Cs-134m; Cs-135m; In-113m; Y-90m. Индекс «m» означает метастабильное состояние ядра.
Спонтанное деление тяжелых ядер		$e^{-} + {}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z-1} + \nu$	возможно у ядер, начиная с массового числа 232

Уменьшение количества активных ядер с течением времени происходит в соответствии с законом радиоактивного распада — за равные промежутки времени происходит превращение равных долей активных атомов (рис. 1).



Периодом полураспада ( $T_{1/2}$ ) называется время, в течение которого число радиоактивных ядер уменьшается вдвое (распадется половина активных атомов).

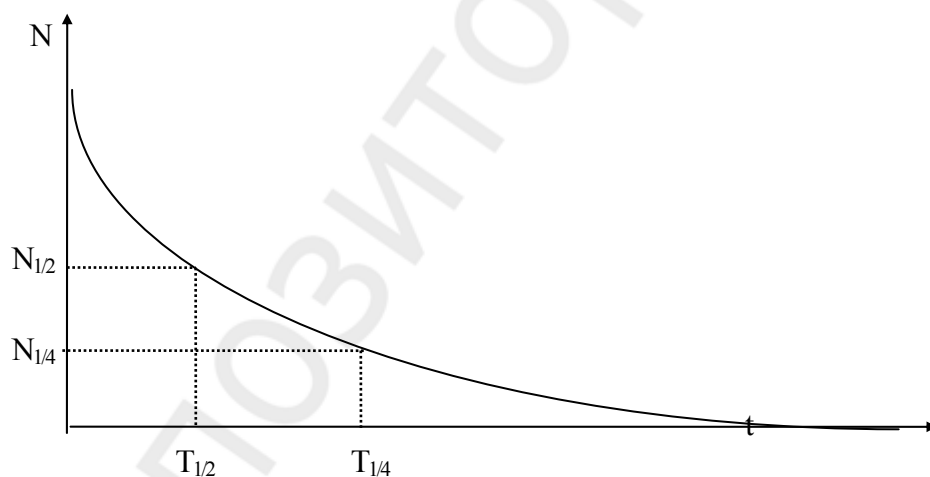


Рис. 1.1. Изменение количества радиоактивных ядер с течением времени

Этим законом пользуются для практических целей, когда дают рекомендации о возможности использования загрязненных радионуклидами территорий, продуктов питания, воды и т. п. Так как через 10 периодов полураспада остается практически чистая среда (т. е. остается меньше 0,1 % от исходного количества радионуклида).

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ВЕЩЕСТВО И БИОМОЛЕКУЛЫ**

Особенность действия ионизирующих излучений — их способность проникать в биологические ткани, клетки, субклеточные структуры и повреждать их. Биологическое действие ионизирующих излучений нельзя рассматривать как элементарный акт. В его формировании выделяют несколько следующих друг за другом стадий:

1) физическая стадия, в течение которой происходит поглощение энергии излучения облучаемой средой с возбуждением и ионизацией ее молекул;

2) физико-химическая стадия, заключающаяся в возникновении активных в химическом отношении свободных радикалов, которые взаимодействуют между собой и с органическими молекулами клетки;

3) химическая стадия, на протяжении которой появляются биохимические повреждения биологически важных макромолекул (белков, нуклеиновых кислот, липидов, углеводов);

4) биологическая стадия, заключающаяся в формировании повреждений на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях.

### **Физическая стадия**

Физические механизмы, при помощи которых частицы вызывают ионизацию атомов, различны и зависят от вида частиц и их энергии.

**Альфа-излучение.** Обладает высокой ионизирующей способностью. По мере продвижения альфа-частицы в веществе плотность ионизации возрастает в несколько раз, а затем резко падает в конце пробега. Траектории альфа-частиц в веществе прямолинейны, что связано с их большой массой. В зависимости от энергии альфа-частиц длина их пробега в биологической ткани достигает десятков микрометров. Несмотря на небольшую глубину проникновения альфа-частиц в живую ткань, их разрушительное действие весьма значительно из-за высокой линейной плотности ионизации. Эти особенности взаимодействия альфа-частиц с веществом используют при лечении опухолей, что позволяет сосредоточить значительную энергию на глубине пораженной ткани при минимальном рассеянии в здоровых тканях.

**Бета-излучение** представляет собой поток  $\beta$ -частиц. Бета-излучение обладает меньшей ионизирующей способностью по сравнению с  $\alpha$ -излучением. Бета-частица образует несколько десятков пар ионов на микрометр пробега в веществе. Кроме ионизации, за счет торможения электронов в веществе (особенно в веществе, состоящем из атомов с большим порядковым номером), возникает тормозное рентгеновское излучение. Из-за малой массы  $\beta$ -частицы при продвижении в веществе отклоняются на большие углы, поэтому траектория их очень извилиста. Проникающая способность  $\beta$ -частиц в биологической ткани составляет несколько сантиметров.

**Гамма-излучение** представляет собой поток  $\gamma$ -квантов. Его проникающая способность зависит как от энергии  $\gamma$ -квантов, так и от свойств вещества. В процессе прохождения через вещество  $\gamma$ -кванты (фотоны) взаимодействуют с электронами атомов, электрическим полем ядра, а также с нейтронами и протонами, входящими в состав ядра. В результате этих взаимодействий происходит ослабление плотности потока излучения благодаря рассеянию  $\gamma$ -квантов и передачи их энергии атомам среды. По отношению к фотонному излучению говорить о длине свободного пробега неверно, так как, какой бы толщины ни была среда, данное излучение полностью не поглощается, а лишь ослабляется в любое заданное число раз. Ослабление гамма-излучения в веществе происходит за счет различных эффектов взаимодействия: фотоэффекта, эффекта Комптона, эффекта образования пары «электрон–позитрон».

При **фотоэлектрическом поглощении** (фотоэффекте) фотоны ( $\gamma$ -кванты) полностью передают свою энергию электронам внутренней орбитали атома. При этом фотон поглощается, а его энергия расходуется на отрыв электрона и сообщение ему кинетической энергии. В результате электрон вырывается из поля атома и производит в дальнейшем ионизацию вещества. Место выбитого фотоэлектрона занимает другой электрон с более высокой орбитали, что сопровождается испусканием низкоэнергетического характеристического рентгеновского излучения. Возникновение фотоэффекта наиболее характерно для мягкого  $\gamma$ -излучения (до 0,5 МэВ).

Суть **комптоновского рассеивания** (Комптон-эффекта) заключается в том, что фотон ( $\gamma$ -квант) передает электрону лишь часть своей энергии, а сам меняет направление своего движения. В отличие от фотоэффекта такое рассеивание происходит в основном на электронах внешних оболочек атомов с минимальной энергией связи. Выбитый электрон производит в дальнейшем ионизацию. Вторичный фотон может вновь претерпевать эффект Комптона и т. д. Этот эффект наиболее вероятен при энергии  $\gamma$ -квантов 0,5–1,0 МэВ.

**Образование пары электрон-позитрон** возможно только при значительной энергии  $\gamma$ -кванта ( $>1,0$  МэВ). Такой квант взаимодействует с атомным ядром и в его поле преобразуется в пару частиц — электрон и позитрон. Эти частицы производят в дальнейшем ионизацию. Позитрон, встречая на своем пути электрон, может соединиться с ним и превратиться в 2 фотона (эффект аннигиляции). Образующиеся фотоны поглощаются средой в результате эффекта Комптона или фотоэффекта.

### **Физико-химическая стадия**

Действие ионизирующих излучений на вещество может быть прямым и косвенным. При прямом действии молекула получает энергию непосредственно от ионизирующего излучения. При косвенном — молекула полу-



чает энергию при взаимодействии с молекулами, подвергшимися прямому воздействию излучения.

Косвенное действие на живые организмы можно рассматривать через взаимодействие ионизирующих излучений с молекулами воды, а образующиеся при этом активные продукты радиолиза атакуют молекулы растворенного вещества и вызывают их изменения.

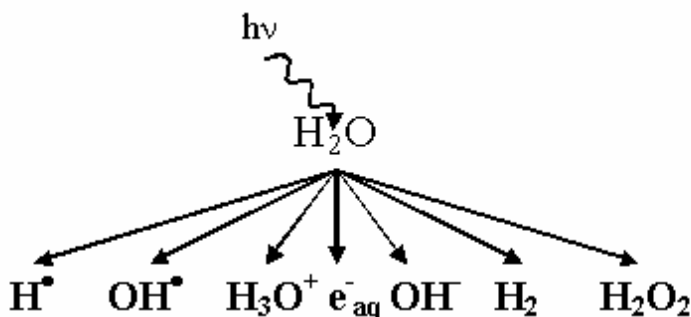


Рис. 1.2. Продукты радиолиза воды

При воздействии ионизирующего излучения в воде идут процессы ионизации и возбуждения (рис. 1.2), что приводит к образованию положительно и отрицательно заряженных молекул воды ( $H_2O^+$ ,  $H_2O^-$ ), возбужденной молекулы воды ( $H_2O^*$ ) и гидратированного электрона ( $e^-_{aq}$ ). Возбужденная молекула воды распадается на атомарный водород  $H^\bullet$  и гидроксильный радикал  $OH^\bullet$ . Далее радикалы могут реагировать друг с другом (это, в первую очередь, касается радикалов  $H^\bullet$  и  $OH^\bullet$ ) или с другими молекулами воды. Продукты радиолиза воды способны вырывать атом водорода из органических молекул, превращая их в радикалы и могут также реагировать с молекулами растворенного кислорода, в результате чего образуются перекисные радикалы, обладающие высокой реакционной способностью — гидроперекисный ( $HO_2^\bullet$ ) и супероксидный ( $O_2^\bullet$ ).

В целом, для продуктов радиолиза воды наиболее характерны реакции окисления или восстановления субстрата, ведущие к образованию радиотоксинов. К окислителям относят перекись водорода, гидроксильный, гидроперекисный и супероксидный радикалы. К восстановителям — атомарный водород и гидратированный электрон.

Необходимо отметить, что в присутствии кислорода образуются дополнительные реакционноспособные радикалы. Кроме того, молекула кислорода обладает электронацепторными свойствами, активно взаимодействует с образующимися при действии излучения радикалами биологических молекул — как бы фиксирует возникшие в них потенциальные повреждения. Все это приводит к явлению известному в радиобиологии как кислородный эффект.

*Кислородный эффект* — это усиление лучевого поражения при повышении концентрации кислорода по сравнению с поражением, наблюдаемым в результате облучения в анаэробных условиях.

Однако в дальнейшем кислород необходим для пострадиационного восстановления.

### **Воздействие ионизирующих излучений на биомолекулы (химическая стадия)**

#### ***Действие ионизирующих излучений на белки***

До 20 % поглощенной энергии ионизирующих излучений расходуется на повреждение белков. Под действием ионизирующего излучения из молекулы белка выбивается электрон. Образуется дефектный участок, лишенный электрона, который мигрирует по полипептидной цепи за счет переброски соседних электронов до тех пор, пока не достигнет участка с повышенными электрон-донорными свойствами. В этом месте в боковых цепях аминокислот возникают свободные радикалы. Такие события происходят в результате прямого действия ионизирующих излучений. При косвенном действии образование свободных радикалов происходит при взаимодействии белковых молекул с продуктами радиолиза воды. Образование свободных радикалов влечет за собой изменения структуры белка: разрыв водородных, гидрофобных, дисульфидных связей; модификация аминокислот в цепи; образование сшивок и агрегатов; нарушение вторичной и третичной структуры белка. Такие нарушения в структуре белка приводят к нарушению его функций (ферментативной, гормональной, рецепторной и др.).

#### ***Действие ионизирующих излучений на липиды***

Под влиянием облучения происходит образование свободных радикалов ненасыщенных жирных кислот, которые при взаимодействии с кислородом образуют перекисные радикалы, а они, в свою очередь, реагируют с нативными жирными кислотами. Это процесс перекисного окисления липидов. Так как липиды — основа биомембран, то перекисное окисление повлечет за собой изменение их свойств, в том числе и проницаемости. А поскольку клетка представляет собой систему взаимосвязанных мембран и многие процессы клеточного метаболизма проходят именно на мембранах, то в клетке нарушаются биохимические процессы. Выражено нарушение энергетического обмена, что связано с повреждением митохондрий.

#### ***Действие ионизирующих излучений на нуклеиновые кислоты***

Около 7 % поглощенной дозы приходится на ядерную ДНК. Механизм повреждения сходен с повреждением белка: выбивание электрона, миграция дефектного участка по полинуклеотидной цепи (несколько сотен азотистых оснований) до участка с повышенными электрон-донорными свойствами. Такое место — чаще всего участок локализации тимина или цитозина, где и образуются свободные радикалы этих оснований. образова-

ние свободных радикалов приводит к нарушению структуры ДНК, в основе которого лежат одно- и двунитевые разрывы, модификация азотистых оснований, образование тиминовых димеров, сшивки ДНК–ДНК, ДНК–белок.

Определенное число одиночных разрывов образуется даже при малых дозах излучения, но они не приводят к поломкам молекулы ДНК, т. к. куски поврежденной молекулы прочно удерживаются на месте водородными связями с комплементарной нитью ДНК и хорошо поддаются восстановлению. Механизмы репарации повреждений ДНК представляют собой сложную продублированную систему защиты генетической информации клетки и являются основой обеспечения надежности биологических систем. Именно поэтому большинство одиночных разрывов репарируется даже в летально облученных клетках. Однако нерепарированные одиночные разрывы могут в последующем привести к образованию двойных разрывов. Двойные разрывы опасны для клетки, т. к. они не всегда поддаются репарации и служат непосредственной причиной возникновения хромосомных aberrаций. Часть aberrаций (например, мосты) механически препятствуют делению клетки. Появление обменов, ацентрических фрагментов приводит к неравномерному разделению хромосом и утрате генетического материала, а это вызывает гибель клеток из-за недостатка метаболитов, синтез которых кодировался утраченной частью ДНК.

#### ***Действие ионизирующего излучения на углеводы***

Углеводы в целом достаточно устойчивы к действию ионизирующего излучения. Так, окислительный распад, укорочение цепи и отщепление альдегидов от простых сахаров наблюдаются при очень больших дозах ионизирующих излучений.

#### **Реакция клеток на облучение (биологическая стадия)**

Возможны три типа реакции клетки на облучение: радиационный блок митозов; митотическая (репродуктивная) гибель клетки; интерфазная гибель клетки.

***Радиационный блок митозов*** (временная задержка деления) — наиболее универсальная реакция клетки на воздействие ионизирующих излучений. Длительность его зависит от дозы: на каждый Грей поглощенной дозы клетка отвечает задержкой митоза в 1 час. С увеличением дозы облучения увеличивается не число реагирующих клеток, а именно время задержки деления каждой облученной клетки. Эта реакция имеет огромное приспособительное значение: увеличивается длительность интерфазы, оттягивается вступление клетки в митоз, создаются благоприятные условия для нормальной работы системы репарации ДНК.

***Митотическая гибель клетки*** — это полная потеря клеткой способности к размножению. Данный тип реакции не относится к клеткам, не делящимся или делящимся редко. В клетке не выражены дегенеративные процессы. Показатель выживаемости клетки — ее способность проходить

5 и более делений. Варианты митотической гибели: а) клетка гибнет в процессе одного из первых четырех пострадиационных митозов, невзирая на отсутствие видимых изменений; б) облученные клетки после первого пострадиационного митоза формируют так называемые «гигантские» клетки (чаще в результате слияния «дочерних» клеток), способные делиться не более 2–3 раз, после чего погибают. Основная причина митотической гибели клетки — повреждение хромосомного аппарата клетки, приводящее к дефициту синтеза ДНК.

**Интерфазная гибель клетки** наступает до вступления клетки в митоз. Для большинства соматических клеток человека она регистрируется после облучения в дозах в десятки и сотни Гр. Лимфоциты (радиочувствительные клетки) гибнут по этому механизму даже при небольших дозах. За счет разрывов в молекуле ДНК нарушается структура хроматина. В мембранах идет процесс перекисного окисления липидов. Изменения ДНК-мембранного комплекса вызывают остановку синтеза ДНК. Повреждение мембраны лизосом приводит к выходу из них ферментов — протеаз и ДНК-аз. Эти ферменты разрушают ДНК, что ведет к пикнозу ядра. Повреждение мембран митохондрий ведет к выходу из них кальция, который активирует протеазы. Перечисленные процессы приводят к гибели (аутолизу) клетки.

## **МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. ДОЗИМЕТРИЯ**

По характеру измеряемой физической величины приборы делятся на дозиметры (позволяют измерять дозу излучения и ее мощность) и радиометры (регистрируют активность источников излучений).

**Дозиметрия** — это измерение дозы или ее мощности (т. е. дозы в единицу времени).

Все методы регистрации ионизирующих излучений основаны на способности этих излучений ионизировать вещество среды, в которой они распространяются. Ионизация, в свою очередь, приводит к ряду физических или химических изменений в веществе, а именно: изменению электропроводности газов и проводников; люминесценции некоторых веществ; засвечиванию фотопленок; изменению окраски некоторых химических веществ и др.

К основным методам регистрации ионизирующих излучений относятся: ионизационный; сцинтилляционный; фотографический; термолюминесцентный.

### ***Ионизационный метод***

Применение этого метода основано на измерении ионизации газов, наступающей под действием ионизирующих излучений. Проводимость многих газов при отсутствии ионизирующего излучения настолько мала,

что ее можно считать равной нулю, что позволяет обнаружить сравнительно небольшое число пар ионов, образовавшихся под действием излучения. Наиболее широко в качестве детекторов ионизирующих излучений используются *ионизационные камеры* и *газоразрядные счетчики* (пропорциональные и счетчики Гейгера-Мюллера), представляющие собой некоторый ограниченный объем газа, помещенный в электрическое поле.

### ***Люминесцентные методы***

Переход атомов и молекул из возбужденного состояния в стабильное в некоторых случаях может сопровождаться испусканием ультрафиолетового, видимого или инфракрасного излучения. Люминесцентные методы основаны на измерении интенсивности этих излучений. Наиболее широкое распространение получили *сцинтилляционные* и *термолюминесцентные дозиметры*. При использовании данного метода в качестве датчиков используются вещества-люминофоры.

Сцинтилляционный дозиметр состоит из детектора — сцинтиллятора, реагирующего на большинство видов ионизирующих излучений вспышками света и фотоэлектронного умножителя, представляющего собой цилиндрическую стеклянную колбу, из которой откачан воздух и установлена система электродов, помещенную в непрозрачный кожух. Разогнанные в электрическом поле электроны попадают на анод и регистрируются измерительным устройством.

В настоящее время известно большое количество веществ, обладающих «послесвечением» и требующих для высвечивания воздействия (к примеру, теплового) извне, что используется в термолюминесцентных дозиметрах. После облучения ионизирующим излучением дозиметр нагревается. Световой выход фосфоресценции однозначно связан с количеством энергии ионизирующего излучения, поглощенной дозиметром. Дозиметр помещается в пластиковый футляр, обеспечивающий полную светонепроницаемость, и носится в карманах одежды.

### ***Фотографический метод***

Подобно действию света ионизирующее излучение вызывает в фотоэмульсии образование скрытого изображения. После проявления оно чернеет. Степень почернения зависит от дозы облучения. Определение степени почернения производится путем сравнения интенсивности светового потока падающего на пленку с интенсивностью светового потока прошедшего через пленку. Фотографический метод используется для создания дозиметров индивидуального контроля облучения.

В настоящее время различают следующие дозы:

**Экспозиционная доза (X)** — количественная характеристика поля источника ионизирующего излучения (гамма или рентгеновского), характеризующая величину ионизации сухого воздуха при нормальных условиях.

Единицы экспозиционной дозы: традиционная — рентген (Р, R);

системная — кулон на килограмм (Кл/кг, C/kg). Соотношение единиц:  $1 \text{ P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  (точно);  $1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ P}$  (приблизительно).

Часто пользуются понятием мощность экспозиционной дозы — величиной, выраженной в мР/ч или мкР/ч. Обычные фоновые показатели мощности экспозиционной дозы для Беларуси — до 18–20 мкР/ч.

Экспозиционная доза позволяет лишь ориентировочно оценивать степень повреждения объекта, поскольку оно может вызываться только поглощенной объектом энергией. Поэтому необходимо определять поглощенную дозу.

**Поглощенная доза (D)** представляет количество энергии, поглощаемое единицей массы облучаемого вещества. Используется для определения взаимодействия ионизирующих излучений со средой и определяет степень радиационного воздействия, т. е. является мерой ожидаемых последствий облучения. Поглощенная доза не зависит от вида и энергии ионизирующего излучения.

Единицы поглощенной дозы: системная — джоуль на килограмм (Дж/кг) со специальным наименованием Грей (Гр, Gy);  $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ ; традиционная — рад (rad, rd), равный 0,01 Гр.

Одна и та же поглощенная доза может дать более или менее выраженный биологический эффект, поскольку разные виды излучения по разному взаимодействуют с веществом. Для количественной оценки такого различия вводится эквивалентная доза.

**Эквивалентная доза (H)** — мера выраженности эффекта облучения. Эквивалентная доза в органе или ткани, созданная определенным видом ионизирующего излучения, равна произведению средней поглощенной дозы от этого излучения в ткани или органе на *взвешивающий коэффициент для данного вида излучения*.

**Взвешивающие коэффициенты для различных видов излучения** — это множители поглощенной дозы, учитывающие повреждающую способность различных видов излучения. Наибольшей повреждающей способностью обладают альфа-частицы и нейтроны с энергией от 100 кэВ до 2 МэВ. Взвешивающий коэффициент для них равен 20.

Единицы эквивалентной дозы: системная — Зиверт (Зв, Sv); традиционная — бэр (rem), равный 0,01 Зв.

Риск развития отдаленных последствий облучения организма человека зависит не только от эквивалентной дозы, но и от радиочувствительности тканей или органов, подвергшихся облучению. Для количественной оценки такого различия вводится эффективная доза.

**Эффективная доза (E)** — это величина воздействия ионизирующего излучения, используемая как мера риска возникновения отдаленных (стохастических) последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Эффективная доза представ-

ляет собой сумму произведений эквивалентных доз в тканях и органах тела на соответствующие взвешивающие коэффициенты, учитывающие вклад данного органа или ткани в суммарный ущерб здоровью из-за развития стохастических эффектов.

Единицы эффективной дозы: системная — зиверт (Зв, Sv); традиционная — бэр (rem), равный 0,01 Зв.

Для оценки эффектов облучения группы людей используют коллективные дозы:

а) **коллективная эквивалентная доза ( $S_T$ )** в ткани Т применяется для выражения общего облучения конкретной ткани или органа у группы лиц;

б) **коллективная эффективная доза (S)** относится к облученной популяции в целом; она равна произведению средней эффективной дозы на число лиц в облученной группе.

Коллективные дозы используют для оценки лучевой нагрузки на популяцию и риска развития отдаленных последствий действия ионизирующих излучений. Единицы коллективных доз — человеко-зиверт и человеко-бэр.

Таблица 1.3

Соотношение между системными и внесистемными единицами доз

Величина	Единица СИ	Традиционная единица	Соотношение между единицами
Экспозиционная доза	Кл/кг	Р	1 Кл/кг = $3.88 \cdot 10^3$ Р 1 Р = $2.58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
Поглощенная доза	Гр (Дж/кг)	рад	1 Гр = 100 рад 1 рад = 0.01 Гр
Эквивалентная доза	Зв	бэр	1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 0.01 Зв
Эффективная доза	Зв	Бэр	1 Зв = 100 бэр 1 бэр = 0.01 Зв

**Типовая задача** по расчету количества радионуклидов после аварийного выброса.

В результате аварии на ЧАЭС было выброшено в окружающую среду  $8,7 \cdot 10^{16}$  Бк Cs-137. Рассчитайте, какой процент первоначального количества радионуклида остался (распался) на 26.04.99 г.

**Решение:** расчет проводится по формуле:  $N_t = N_0 \cdot e^{-\frac{0.693t}{T_{1/2}}}$ ,

где  $N_0$  — первоначальное количество радиоактивных атомов,  $N_t$  — количество активных атомов спустя время распада  $t$ ,  $T_{1/2}$  — период полураспада,  $e$  — основание натурального логарифма.

По условию задачи за время с момента чернобыльской аварии прошло: 1999–1986 = 13 лет. Период полураспада Cs-137 — 30 лет.

Расчет начинаем с показателя степени основания натурального

логарифма:

$$-0,693 \cdot 13 \text{ лет} : 30 \text{ лет} = -0,3003;$$

затем рассчитываем  $e$  в степени  $-0,3003$ , оно равно  $0,7406$ . С учетом этого рассчитываем  $N_t$ :

$$N_t = 8,7 \cdot 10^{16} \text{ Бк} \cdot 0,7406 = 6,44 \cdot 10^{16} \text{ Бк}.$$

Затем рассчитываем процент оставшегося количества радионуклидов:

$$8,7 \cdot 10^{16} \text{ — } 100 \%$$

$$6,44 \cdot 10^{16} \text{ — } x \%,$$

отсюда  $x = 74,02 \%$ . Следовательно, распалось  $100 - 74,02 = 25,98 \%$ .

### САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

#### I. Что такое радионуклид?

1. Ядро радиоактивного элемента.
2. Самопроизвольно распадающееся ядро.
3. Ядро нестабильного атома.

#### II. Что такое изотопы?

1. Химические элементы, имеющие одинаковую массу и разный атомный номер.
2. Химические элементы, имеющие одинаковую массу и разное количество нейтронов.
3. Химические элементы, имеющие одинаковую массу и разное количество протонов.

#### III. Период полураспада — это...

1. Время, в течение которого распадается половина всех атомов данного радиоактивного изотопа.
2. Время, в течение которого из организма выводится половина введенного радионуклида.
3. Суммарное время, в течение которого распадается половина всех атомов в смеси радиоактивных изотопов.

#### IV. Что такое альфа-частица?

1. Частица, состоящая из двух протонов и двух нейтронов.
2. Частица, состоящая из четырех электронов.
3. Частица, состоящая из четырех позитронов.

#### V. Что такое бета-излучение?

1. Корпускулярное излучение, состоящее из ядер атомов гелия.
2. Корпускулярное излучение, состоящее из частиц с пренебрежимо малой массой и с зарядом  $+1$  или  $-1$ .
3. Корпускулярное излучение, состоящее из электронов или позитронов.

#### VI. Что такое бета-превращение ядер?

1. Процесс самопроизвольного испускания ядром электрона.
2. Процесс самопроизвольного испускания ядром позитрона.



3. Процесс поглощения ядром одного из электронов с ближайших к ядру орбиталей.

#### **VII. Что такое косвенное действие ионизирующих излучений?**

1. Эффект, когда молекула получает энергию от других молекул.
2. Эффект, когда молекула получает энергию непосредственно от излучений.
3. Эффект, когда молекула претерпевает изменения от продуктов радиолитического распада воды.

#### **VIII. Что такое радиационный блок митозов?**

1. Гибель клетки до вступления в митоз, наступающая под действием ионизирующих излучений.
2. Полная потеря клеткой способности к размножению.
3. Гибель клетки в процессе первого митоза после облучения.

#### **IX. Что можно отнести к митотической гибели клетки?**

1. Полная потеря клеткой способности к размножению.
2. Гибель клетки в процессе одного из первых четырех пострadiационных митозов.
3. Задержка клеточного деления, наступившая под действием ионизирующего излучения.

#### **X. Единицы эквивалентной дозы:**

1. Ки.
2. Зв.
3. Гр.

### **ЛИТЕРАТУРА**

#### *Основная*

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Стожарова. 2-е изд., пераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 143 с.; С. 5–15, 27–42.
2. *Текст лекции № 1.*

#### *Дополнительная*

1. *Кротков, Ф. Г.* Руководство к лабораторным занятиям по радиационной гигиене / Ф. Г. Кротков. М.: Медицина, 1980. 173 с.
2. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]; под общ. ред. А. Н. Стожарова. Минск: МГМИ, 2000. 154 с.; С. 5–16, 29–47.

### **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 2**

#### **Тема: Радиоэкологическая ситуация в Республике Беларусь до и после аварии на ЧАЭС**

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Изучение принципов фор-

мирования дозовых нагрузок за счет различных составляющих радиационного фона и основных радионуклидов чернобыльского выброса необходимо для выбора адекватных мероприятий по снижению лучевых нагрузок на организм человека.

**Цель занятия:** усвоить принципы формирования дозовых нагрузок на организм человека за счет разных источников радиационного фона и в условиях радиационной аварии.

**Задачи:**

- 1) разобрать основные составляющие радиационного фона Земли;
- 2) знать радиационную обстановку в Республике Беларусь до 1986 г. и после аварии на ЧАЭС;
- 3) рассмотреть характеристику радионуклидов аварийного выброса и их миграцию в биосфере;
- 4) усвоить пути поступления радионуклидов и типы их распределения в организме;
- 5) усвоить расчет годовой эффективной дозы внешнего облучения населения за счет радионуклидов чернобыльского выброса и оценку полученных результатов.

**Требования к исходному уровню знаний.** Полноценное усвоение материала практического занятия возможно при наличии у студентов адекватных представлений о закономерностях круговорота веществ в природе (биология), физико-химических свойствах элементов первой, второй, седьмой и восьмой групп периодической системы элементов Менделеева (общая и биологическая химия). Для полного усвоения темы студентам необходимо повторить понятие и основные свойства биогенных макро- и микроэлементов (биоорганическая химия).

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Круговорот веществ в природе.
2. Понятие «биогенные макро- и микроэлементы».
3. От чего зависит растворимость различных химических элементов.

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Естественный и техногенно измененный радиационный фон Земли, их составляющие. Уровни облучения населения за счет разных компонентов радиационного фона.
2. Радон: физико-химические свойства, снижение дозовых нагрузок на организм за счет радона.
3. Авария на ЧАЭС, динамика выброса во времени и в пространстве;

основные радионуклиды аварийного выброса.

4. Характеристика основных дозообразующих радионуклидов, выброшенных при аварии на ЧАЭС: I-131, Cs-137, Sr-90. Понятие «горячие частицы».

5. Миграция радионуклидов в биосфере.

6. Пути поступления радионуклидов в организм человека.

7. Типы распределения радионуклидов в организме.

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

### РАДИАЦИОННЫЙ ФОН ЗЕМЛИ

Ионизирующие излучения от природных источников, а также от радионуклидов, рассеянных в биосфере в результате деятельности человека, создают радиационный фон (РФ).

Облучению от радиации фона Земли подвергается любой житель планеты, а население нашей республики получает дополнительные дозы за счет радиационных загрязнений после Чернобыльской аварии. РФ состоит из естественного и техногенно измененного. Оба компонента РФ участвуют в формировании эффективных доз облучения человека как за счет внешнего, так и за счет внутреннего облучения.

Естественный радиационный фон (ЕРФ) — совокупность ионизирующих излучений от естественных источников внеземного и земного происхождения. Средняя глобальная эффективная доза за год, создаваемая естественными источниками излучения, составляет 2,4 мЗв. Однако индивидуальные дозы распределены в широком диапазоне.

Источник ионизирующих излучений внеземного происхождения — первичное космическое излучение, которое состоит в основном из протонов (90%) и альфа-частиц; встречаются ядра лития, бериллия, бора и другие. В небольшом количестве присутствуют электроны, позитроны и гамма-кванты. Магнитное поле Земли заметно влияет на первичное излучение, препятствуя вхождению в атмосферу низкоэнергетических частиц. Взаимодействуя с атмосферой Земли частицы, составляющие первичное космическое излучение, образуют вторичное высокоэнергетическое излучение, состоящее из пионов, протонов, нейтронов, мюонов, электронов и фотонов. При взаимодействии первичного космического излучения с ядрами элементов, входящих в состав атмосферы, образуются космогенные радионуклиды, к которым относятся тритий ( $^3\text{H}$ ),  $^{14}\text{C}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{22}\text{Na}$  и др. Они поступают на землю с атмосферными осадками.

Естественные источники ионизирующего излучения земного происхождения представлены радионуклидами 2-х групп: а) радионуклиды, входящие в радиоактивные ряды; б) радионуклиды, не входящие в радиоактивные ряды.

#### *А. Радионуклиды, входящие в радиоактивные ряды*

Радиоактивный ряд — это последовательность радионуклидов, образующихся в результате альфа- или бета-распада предыдущего элемента. Наиболее долгоживущие изотопы называются начальными для каждого из радиоактивных рядов.

Существует 4 радиоактивных ряда и, соответственно, 4 их родоначальника: торий-232 (Th-232), уран-238 (U-238), уран-235 (U-235), нептуний-237 (Np-237). В процессе превращения этих элементов, в качестве промежуточных продуктов распада образуются радиоактивные изотопы радия, радона, полония, висмута, свинца, которые формируют значительную дозу облучения человека. Глобальная средняя эффективная доза внешнего облучения, которую человек получает за год за счет гамма-излучения земного происхождения, составляет 0,5 мЗв. Продукты распада урана и тория по пищевым цепочкам, а также с воздухом и водой поступают в организм человека, обуславливая внутреннее облучение. Наибольшее значение в формировании дозы внутреннего облучения имеют радий-226; радон-220; полоний-210; свинец-210.

**Радий-226** (Ra-226) претерпевает альфа-распад с образованием Rn-222; период полураспада Ra-226 — 1620 лет; широко распространен в природе, может поступать в организм через желудочно-кишечный тракт, органы дыхания и неповрежденную кожу. Его источником для человека в основном служат зерновые культуры и хлеб, куриные яйца. Независимо от химической формы соединения при поступлении депонируется в костной ткани, из которой выводится с  $T_6$ , равным 17,13 лет.

**Радон** — это инертный газ, тяжелее воздуха. Существует три естественных изотопа радона: радон-222 ( $T_{1/2}$  — 3,8 дня; ряд распада U-238), радон-220 или торон ( $T_{1/2}$  — 55 секунд; ряд распада Th-232), радон-219 или актинон ( $T_{1/2}$  — 4 секунды; ряд распада U-235). Все изотопы радона — альфа-излучатели; дальнейший распад их дочерних продуктов сопровождается испусканием альфа- и бета-частиц или гамма-квантов. Основные источники радона следующие: грунт, уголь, рудники; строительные материалы; грунтовые воды; природный газ; предприятия ядерного топливного цикла. Концентрация радона в воздухе помещений зависит от активной и пассивной диффузии радона из грунта: эксгаляции радона из строительных материалов, воды и газа; влияния климата, образа жизни, степени вентиляции помещений.

*Меры, направленные на снижение концентрации радона в воздухе помещений:* тщательная изоляция жилых помещений от почвы и грунта; обычная покраска и оклеивание стен обоями; улучшение вентиляции жилых помещений и активная вентиляция погребов; использование материалов, отвечающих требованиям радиационной безопасности.

В закрытых помещениях основную часть дозы облучения от радона и продуктов его распада человек получает за счет ингаляционного поступления

ния в организм, что связано с хорошей поглощающей способностью органов дыхания. Наибольшую дозовую нагрузку формируют продукты распада радона, сорбирующиеся на аэрозольных частицах и накапливающиеся при дыхании (в зависимости от размеров частиц) в носоглотке, трахее, легочной паренхиме.

В настоящее время имеются эпидемиологические данные о связи радона с заболеваемостью раком легких и о связи между активностью радона, накапливающегося в жировых клетках костного мозга, и лейкозом.

**Полоний-210** (Po-210) подвергается альфа-распаду с образованием стабильного Pb-206,  $T_{1/2}$  — 138,38 сут. В среднем за сутки в организм человека с пищей поступает 0,037–0,37 Бк Po-210 (т. н. нормальное поступление). В регионах, где человек потребляет пищу морского происхождения, а также питается мясом северных оленей наблюдается повышенное поступление Po-210 в организм. Курение увеличивает поступление Po-210 в организм человека: в легких курильщика, выкуривающего 10–60 сигарет в сутки, создаются концентрации Po-210 в 2–3 (вплоть до 7–9) раза выше, чем у некурящих, и соответствует дозам 0,027–0,04 мГр/год. Из организма человека Po-210 выводится с  $T_6$ , равным приблизительно 80 сут.

**Свинец-210** (Pb-210) претерпевает бета-превращение (электронный распад) с образованием Bi-210 и распадается с  $T_{1/2}$  — 22,3 года, хорошо всасывается в желудочно-кишечном тракте (все соединения); элемент остеотропен, его обмен связан с обменом кальция и фосфора; из организма (в том числе и из костной ткани) выводится с  $T_6$ , равным 12–10000 сут. Pb-210 — один из источников появления в организме Po-210.

#### ***Б. Радионуклиды, не входящие в радиоактивные ряды***

Эта группа в основном состоит из 11 долгоживущих радионуклидов (период полураспада от  $10^7$  до  $10^{15}$  лет). Из них наибольший вклад в формирование эффективной дозы вносят K-40 и Rb-87.

**Калий-40** — бета- и гамма-источник облучения биоты и занимает 2 место как источник излучений, обуславливающих природный радиоактивный фон. В природе K-40 всегда сопутствует стабильному K-39 (около 0,01 %), формируя годовую эффективную дозу за счет внешнего и внутреннего облучения. Из почвы K-40 поступает в растения, а затем, с пищей — в организм животных и человека. Наибольшая активность K-40 регистрируется в клюкве, орехах, фасоли, картофеле. Калий практически полностью всасывается из желудочно-кишечного тракта и равномерно распределяется в органах и тканях. Период полураспада калия составляет  $1,32 \cdot 10^9$  лет, а период биологического полувыведения ( $T_6$ ) — 58 суток.

**Рубидий-87** входит в состав продуктов спонтанного деления урана (до 6 %). Ядро рубидия-87 претерпевает  $\beta$ -превращение. При пероральном поступлении практически полностью всасывается из желудочно-кишечного тракта и равномерно распределяется в органах и тканях. Период полурас-

пада составляет  $4,8 \cdot 10^{10}$  лет, а  $T_6$  из мягких тканей человека составляет 44 (от 32 до 57) суток.

**Техногенно измененный радиационный фон** формируется в результате деятельности человека, в основном за счет источников ионизирующих излучений, используемых в медицине; глобальных выпадений радионуклидов; стройматериалов; телевидения; авиации.

*Источники ионизирующего излучения, используемые в медицине,* — основная составляющая искусственного облучения, широко распространены во всем мире. Диагностическое облучение характеризуется довольно низкими дозами, получаемыми каждым из пациентов (типичные эффективные дозы находятся в диапазоне 1–10 мЗв), что достаточно для получения требуемой клинической информации. Терапевтическое облучение сопряжено с гораздо большими дозами, точно подводимыми к объему опухоли (типичные назначаемые дозы находятся в диапазоне 20–60 Гр).

Среднемировое значение индивидуальной дозы облучения всего тела вследствие медицинских процедур (главный вклад дает диагностика) составляет 0,4–1,0 мЗв/год. В 1996 году облучение населения Беларуси за счет медицинских источников оценивалось в 2,0–2,5 мЗв/год. Для жителей Беларуси важно снижать дозовые нагрузки за счет медицинских источников.

**Стройматериалы** формируют эффективную дозу, равную 0,1 мЗв/год. В зависимости от концентрации К-40, Ra-226, U-238 и Th-232 в различных стройматериалах мощность дозы в домах меняется. В среднем в кирпичных, бетонных зданиях мощность дозы в 2–3 раза больше, чем в деревянных домах и в домах из синтетических материалов. Необходимо отметить, что чем больше отходов производства пошло на изготовление стройматериала, тем выше может быть его удельная активность. Снижение облучения населения достигается регламентацией эффективной удельной активности природных радионуклидов в строительных материалах.

**Глобальные выпадения радионуклидов** делят на 2 группы: глобальные выпадения радионуклидов за счет испытаний ядерного оружия (ЯО) и глобальные выпадения радионуклидов за счет деятельности предприятий ядерно-топливного цикла (ЯТЦ).

***А. Глобальные выпадения радионуклидов за счет испытаний ядерного оружия***

Дозы облучения при испытаниях ЯО в разные периоды после взрыва формируются за счет разных радионуклидов:

а) максимальное значение в ближайшее время после взрыва имеют радионуклиды с  $T_{1/2}$  от нескольких суток до 2 месяцев, такие как I-131, Ba-140, Sr-89, т. е. они имеют максимальное значение в ближайшее время после взрыва; сюда примыкает Zr-95 ( $T_{1/2} = 64$  дня);

б) Cs-137 и Sr-90 ( $T_{1/2}$  примерно 30 лет) представляют наибольшую потенциальную опасность;

в) С-14 ( $T_{1/2} = 5730$  лет) будет оставаться источником радиоактивных излучений (хотя и с низкой мощностью дозы) даже в отдаленном будущем, так как к 2000 году он потерял лишь 7 % своей активности.

### ***Б. Глобальные выпадения радионуклидов за счет деятельности предприятий ядерно-топливного цикла***

ЯТЦ включает следующие стадии: добыча урановой руды; переработка ее в ядерное топливо; производство тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ); нормальная эксплуатация АЭС; переработка отработанного ядерного топлива, переработка и захоронение образующихся радиоактивных отходов. Обязательно надо помнить о транспортировке радиоактивных материалов для обеспечения всех этих стадий. Загрязнение окружающей среды радионуклидами происходит на всех стадиях ЯТЦ, но наибольший вклад вносят переработка отработанного ядерного топлива на радиохимических заводах и нормальная эксплуатация АЭС. Основное значение имеют радионуклиды I-131, Cs-137 и 134, Sr-90, а также радиоактивные инертные газы. В настоящее время рассчитанное значение максимальной подушной дозы за счет использования ядерной энергетики составляет менее 0,2 мкЗв/год.

**Телевидение** — источник мягкого рентгеновского излучения. Мощность эффективной дозы облучения всего тела от цветного телевизора на расстоянии 250 см от экрана равна 2,5 нЗв/ч. Ежедневный в течение года трехчасовой просмотр цветных телепрограмм формирует дозу 5–7 мкЗв. За счет телевидения формируется средняя взвешенная годовая эффективная доза, равная 0,01 мЗв/год.

Использование **авиации** увеличивает облучение человека за счет радиационного фона, создаваемого космическими лучами, что ведет к формированию годовой эффективной дозы, равной 0,05 мЗв/год.

## **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС**

26 апреля 1986 г. на 4-м блоке ЧАЭС произошла крупная авария (7 уровень по шкале МАГАТЭ), которая сопровождалась выбросом в окружающую среду значительного количества радиоактивных веществ, что привело к резкому изменению радиозэкологической ситуации в нашей республике. В постоянно меняющихся метеоусловиях (направление ветра, осадки) выброс газо-аэрозольной струи был длительным (10 суток) и неравномерным по количеству выбрасываемых радионуклидов, что привело к неравномерному «пятнистому» характеру загрязнения территории республики. При этом 23 % территории Республики Беларусь с 3221 населенными пунктами, в том числе 27 городов, где проживало 2,2 млн. человек,

оказалось загрязненной цезием-137 более 37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Ки/км<sup>2</sup>). Максимальные уровни загрязнения были обнаружены в 30-километровой зоне вокруг АЭС: по цезию-137 — 18500 кБк/м<sup>2</sup> (500 Ки/км<sup>2</sup>), по стронцию-90 — более 455 кБк/м<sup>2</sup> (более 12 Ки/км<sup>2</sup>), по плутонию-239,240 — около 150 кБк/м<sup>2</sup> (около 4 Ки/км<sup>2</sup>). Самые пострадавшие от Чернобыльской катастрофы области Беларуси следующие: Гомельская, Могилевская и Брестская.

В результате аварии в окружающую среду были выброшены: летучие радиоактивные инертные газы; сотни осколочных продуктов деления, накопившихся в зоне реактора; изотопы наведенной радиоактивности за счет веществ, которые сбрасывали на реактор; частички ядерного топлива.

Из огромного количества выброшенных при аварии на ЧАЭС в окружающую среду радиоактивных веществ выделяют группу основных дозобразующих радионуклидов: I-131, Cs-137, Sr-90, C-14, H-3, Pu-106, Ce-144, Rb-87, Zr-95, Pu-239, Am-241, «горячие» частицы. Рассмотрим характеристики некоторых из них.

**Цезий-137 (Cs-137)** принадлежит к бета- и гамма-излучателям.  $T_{1/2}$  — 30 лет. Очень летуч, поэтому загрязнил обширные территории в нашей стране и в мире в целом. Соединения его хорошо растворимы. В организм поступает через ЖКТ. По химическим свойствам похож на калий, поэтому может его заменять. Распределяется в организме равномерно. Период биологического полувыведения из организма взрослого человека — 100 дней; эффективный период — 0,26 года.

**Стронций-90 (Sr-90)** распадается по типу бета-превращения атомных ядер.  $T_{1/2}$  — 29 лет. Конечный продукт распада — радиоактивный иттрий-90, тоже является бета-излучателем, но с коротким периодом полураспада (64 часа) и высокой энергией излучения. Иттрий-90 избирательно накапливается в гонадах, создавая значительную дозу облучения. Стронций-90 менее летуч, загрязнил меньшую территорию. Как и цезий, плохо фиксируется почвами. По химическим свойствам близок к кальцию, поэтому накапливается в зонах роста костей, представляя тем самым наибольшую опасность для детей. Период биологического полувыведения — около 20 лет. Эффективный период — 11,8 лет.

**Йод-131 (I-131)** относится к бета- и гамма-излучателям с  $T_{1/2}$  около 8 дней. В организм попадает через желудочно-кишечный тракт, легкие, неповрежденную кожу. Токсичность радионуклида при ингаляционном поступлении примерно в 2 раза выше, что связано с большей площадью контактного  $\beta$ -облучения. Обладает большой миграционной способностью. Накапливается в щитовидной железе. Накопление зависит от возраста и обеспеченности организма стабильными изотопами йода. Йод-131 легко проходит плацентарный барьер. С увеличением срока беременности уровни перехода повышаются. В щитовидной железе накапливается до 50–60 %



йода, содержащегося в теле плода, таким образом в железе плода формируются дозы, в десятки раз большие, чем в железе беременной женщины. Основной путь выведения йода из организма — почки. Йод выводится так же с калом, а так же с женским молоком в период лактации. Период биологического полувыведения — 138 суток. Эффективный период — 0,019 года.

**Плутоний-239** (Pu-239) — трансурановый элемент, претерпевающий  $\alpha$ -превращение;  $T_{1/2}$  — 24065 лет. Стабильных изотопов плутония не обнаружено. Соединения плутония плохо растворимы. Поступает в организм, в основном, ингаляционным путем, создавая тем самым значительную нагрузку на легкие за счет альфа-излучения. Тип распределения — скелетный, частично — ретикуло-эндотелиальный (лимфоузлы, печень). Некоторое количество плутония захватывается макрофагами и переходит в костный мозг. Период биологического полувыведения — 197 лет. Эффективный период — 195,4 года.

**Америций-241** (Am-241) распадается с испусканием высокоэнергетических альфа-частиц.  $T_{1/2}$  — 433 года. Стабильные изотопы не известны. Является дочерним продуктом распада плутония-241, но его соединения более растворимы и более подвижны. Основной путь поступления — ингаляционный. Химические соединения америция быстро перемещаются из легких в кровь с  $T_6$  от нескольких дней до нескольких недель. Затем накапливается в скелетной ткани, частично в печени, почках, селезенке. Эффективный период — 133,97 года. Период биологического полувыведения — 194 года.

**«Горячие» частицы** — это аэрозоль диспергированного ядерного топлива. Они бывают различной величины, активности и радионуклидного состава. После аварии «горячие» частицы разнеслись атмосферным воздухом на значительные расстояния от ЧАЭС, но основная масса их сосредоточилась в зоне отчуждения и Гомельской области. В организм «горячие» частицы попадают преимущественно ингаляционным путем, но возможен и алиментарный путь поступления. Основное количество активных частиц (до 70 %) находится в верхнем 1 см слое почвы, что представляет опасность для всего живого ввиду высокой концентрации в них радионуклидов с разными видами излучений.

Сразу после аварии радиационная обстановка в республике и формирование дозовых нагрузок на население определялись действием короткоживущих радионуклидов: молибдена, технеция, лантана, бария, благородных инертных газов, радиоизотопов йода-131, 132, 133, 134, 135, 123, 125, 126. По расчетным данным в окружающую среду было выброшено 50–60 % накопившихся в реакторе радиоизотопов йода. Уровни радиоактивного загрязнения короткоживущими радионуклидами йода во многих регионах республики были настолько велики, что вызванное ими облучение миллио-

нов людей квалифицируется специалистами как период «йодного удара».

Выделяют несколько основных **типов воздействия** радионуклидов чернобыльской аварии на организм человека:

1) внешнее гамма-облучение от радиоактивного облака было недолгим и продолжалось до формирования радиоактивного следа на местности и объектах окружающей среды;

2) ингаляционное поступление радионуклидов в организм человека можно разделить на 2 этапа: а) кратковременный — поступление радионуклидов из радиоактивного облака; б) непрерывный — поступление радионуклидов за счет загрязнения атмосферы из-за ветрового подъема пыли, что представляет особую опасность для населения, постоянно проживающего и работающего на загрязненной территории

3) внешнее гамма-излучение от осевших на земную поверхность и объекты окружающей среды радионуклидов — самое длительное и интенсивное, формирующее около 50–60 % дозы облучения населения; в настоящее время доза на организм человека формируется за счет долгоживущих радионуклидов Cs-137 (период полураспада 30 лет); Sr-90 (период полураспада 29,1 лет); H-3 ( $T_{1/2}$  — 12 лет); C-14 ( $T_{1/2}$  — 5730 лет); Pu-239 ( $T_{1/2}$  — более 24000 лет).

4) внутренне облучение за счет поступления радионуклидов в организм по пищевым цепочкам, т. к. в легких почвах республики радионуклиды цезия-137 и стронция-90 аномально подвижны, что определяет высокие уровни их накопления в местных продуктах питания и высокие дозовые нагрузки на организм человека.

*Поведение радионуклидов в организме (пути и способы поступления, распределения по органам и системам, скорость и пути выведения) обусловлены их химическими свойствами.*

**Пути поступления** радиоактивных изотопов в организм: ингаляционный, алиментарный, перкутанный (через неповрежденную и поврежденную кожу).

Ингаляционное поступление радионуклидов происходит при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха. Между размером частицы и глубиной ее проникновения установлена следующая зависимость: чем меньше диаметр вдыхаемых частиц, тем глубже они проникают в дыхательные пути. Радиоактивные вещества, осевшие на слизистой оболочке верхних дыхательных путей, трахеи, бронхов (вне зависимости от их растворимости), при помощи мерцательного эпителия элиминируются в глотку и ротовую полость, откуда поступают в желудок. В альвеолярном отделе легких растворимые радионуклиды хорошо и быстро всасываются и поступают в кровоток. Труднорастворимые и нерастворимые радионуклиды фагоцитируются и распределяются неравномерно в легочной ткани и проникают в лимфатические сосуды, затем поступают в лимфатические

узлы легкого, трахеи и средостения. Общая величина труднорастворимых радиоактивных веществ, поступающих в организм через легкие, гораздо выше, чем через кишечник, из-за большой поверхности всасывания легких.

Алиментарный путь поступления (через желудочно-кишечный тракт с водой и пищей) типичен для растворимых радионуклидов (водород, щелочные металлы, галогены, благородные газы, все элементы второго периода, кроме бериллия). Плохорастворимые радионуклиды покидают кишечник в течение 1–4 дней, не успевая создать значительные дозы облучения (элементы третьей группы, частично четвертой, пятой, лантаноиды, актиноиды), но та часть радионуклида, которая попала в организм, по типу коллоидальной адсорбции очень прочно удерживается в тканях ( $T_6$  для таких радионуклидов в большинстве случаев составляет десятки лет).

Проницаемость кожи для радиоактивных веществ зависит от агрегатного состояния радионуклидов, склонности их к гидролизу и комплексообразованию, кислотности раствора, в котором находятся радиоактивные вещества, и состояния кожного барьера. Водорастворимые и жирорастворимые соединения радионуклидов всасываются через кожу быстро. Наибольшая скорость проникновения у I-131. В некоторых случаях через кожу всасывается большее количество радионуклида, чем через кишечник. Количество радиоактивных веществ, проникающих через кожу в организм, зависит от длительности ее контакта с радиоактивным веществом и целостности.

Стабильные и радиоактивные изотопы одних и тех же элементов абсолютно одинаково ведут себя в организме, поэтому накапливаются они в одних и тех же органах и тканях. В зависимости от максимального или преимущественного содержания радионуклида в органе различают следующие **типы распределения радионуклидов** в организме:

- равномерный (Cs-137, C-14, H-3, Ru-106);
- скелетный (Sr-90, Zr-95, Ce-144, Pu-239, Am-241, Ra-226, Pb-210);
- щитовидный (I-131);
- ретикуло-эндотелиальный (Pu-239, Am-241, Zn-65, Fe-55);
- почечный (U-238, Pb-210, Be-7).

Описанные типы распределения в организме касаются только той доли радионуклидов, которые поступают в кровь. Совершенно иной тип распределения в организме радионуклидов наблюдается при их ингаляционном поступлении. В этом случае, как правило (особенно в начальной фазе, а для некоторых радиоактивных элементов всегда), содержание и концентрация максимальны в легких.

Время пребывания радионуклида в организме определяется длительностью облучения тканей, в котором локализован изотоп. Это время зависит от периода полураспада изотопа ( $T_{1/2}$ ) и от скорости его выведения из организма, которая характеризуется периодом полувыведения ( $T_6$ ), т. е.

$$T_{эфф} = \frac{T_{1/2} * T_6}{T_{1/2} + T_6}$$

временем в течение которого из организма выводится половина введенного радионуклида. **Эффективный период** ( $T_{эфф}$ ) — время, в течение которого активность изотопа в организме уменьшается вдвое. Эффективный период рассчитывается по следующей формуле:

**Типовая задача** по расчету годовой эффективной дозы внешнего облучения населения за счет радионуклидов чернобыльского выброса по известной мощности экспозиционной дозы.

Рассчитайте годовую эффективную дозу (ГЭД) внешнего облучения за счет чернобыльских выпадений радионуклидов для жителей села N, если средняя мощность экспозиционной дозы в данном населенном пункте равна 25 мкР/ч (до аварии на ЧАЭС средний уровень фона гамма-излучения в данном селе равен 0,008 мР/ч).

**Решение.** ГЭД внешнего облучения за счет чернобыльских выпадений определяется следующим соотношением:

$$ГЭД = K_{об} \cdot K_{защ} \cdot (X - X_0),$$

где ГЭД — годовая эффективная доза внешнего облучения, мЗв/год;  $K_{об}$  — обобщенный коэффициент перехода от мощности экспозиционной дозы (МЭД) в воздухе на высоте 1 м к годовой эффективной дозе внешнего облучения тела человека, равный 0,053 мЗв·ч/(год·мкР);  $K_{защ}$  — безразмерный коэффициент, характеризующий сезонные колебания уровня МЭД, различные режимы поведения и защитные свойства рабочих и жилых помещений критической группы населения. Значения  $K_{защ}$  для разных типов населенных пунктов: село — 0,41; ПГТ — 0,30; город — 0,24 (таблица);  $X$  — средняя МЭД в населенном пункте, мкР/ч;  $X_0$  — средний уровень фона гамма-излучения в населенном пункте до аварии на ЧАЭС, мкР/ч. При неизвестном значении фона до аварии он принимается равным 10 мкР/ч.

$$ГЭД = 0,053 \cdot 0,41 \cdot (25 - 8) = 0,37 \text{ мЗв/год.}$$

**Оценка результата:** Суммарная ГЭД (за счет внешнего и внутреннего облучения) не должна превышать дозового предела (ПД), равного 1 мЗв/год.

### САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

- I. Какой уровень гамма-фона в городе Минске считается допустимым?
  1. 15 мкР/ч.
  2. 18 мкР/ч.
  3. 30 мкР/ч.
- II. Глобальная средняя годовая эффективная доза облучения человека за счет естественных источников радиационного фона составляет...
  1. 2,4 мЗв/год.
  2. 0,24 бэр/год.

3. 2400 мкЗв/год.

**III. Что из перечисленного относится к космогенным радионуклидам?**

1. Калий-40.
2. Радий-226.
3. Тритий.

**IV. Первичное космическое излучение...**

1. Состоит, в основном, из протонов, альфа-частиц и ядер легких элементов.
2. Состоит только из электромагнитных излучений.
3. Состоит из радионуклидов цезия, стронция, урана, йода.

**V. Что из перечисленного является родоначальником радиоактивного ряда?**

1. Уран-235.
2. Торий-232.
3. Радон-222.

**VI. Что из компонентов техногенно-усиленного радиационного фона формирует наибольшую дозу на население?**

1. Рентгено- и радиодиагностические процедуры.
2. Глобальные выпадения от предприятий ядерного топливного цикла.
3. Стройматериалы.

**VII. Какой тип воздействия радионуклидов чернобыльского выброса на организм человека является самым кратковременным?**

1. Облучение при ингаляционном поступлении радионуклидов.
2. Облучение от выпавших на объекты окружающей среды радионуклидов.
3. Облучение от радиоактивного облака.

**VIII. Какие из перечисленных радионуклидов, выброшенных во время аварии на ЧАЭС, загрязнили наибольшую часть территории республики?**

1. Стронций-90 и стронций-89.
2. Плутоний-239 и плутоний-240.
3. Цезий-134 и цезий-137.

**IX. Радионуклиды чернобыльского выброса, имеющие равномерный тип распределения в организме человека:**

1. Цезий-137.
2. Америций-241.
3. Стронций-90.

**X. «Горячие» частицы...**

1. Бывают разной величины, активности и радионуклидного состава.
2. Имеют одинаковую активность и радионуклидный состав.
3. Являются источниками только электромагнитного ионизирующего излучения.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Стожарова. 2-е изд., пераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 143 с.; С. 15–27, 64–81.
2. *Тексты лекций* № 1 и 2.
3. *Инструкции к лабораторным работам по радиационной медицине и экологии* / А. Н. Стожаров [и др.]. Минск: МГМИ, 2001. 32 с.; С. 14–16.

### *Дополнительная*

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]; под общ. ред. А. Н. Стожарова. Минск: МГМИ, 2000. 154 с.; С. 16–29, 72–90.
2. *Люцко, А. М.* Фон Чернобыля / А. М. Люцко. Минск: Белорусская советская энциклопедия, 1990. 68 с.; С. 9–26, 35–46.
3. *Булдаков, Л. А.* Радиоактивные вещества и человек / Л. А. Булдаков. М.: Энергоатомиздат, 1990. 160 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 3

**Тема: Основы радиационной медицины.  
Радиоэкологическая ситуация в Республике Беларусь  
до и после аварии на чернобыльской аэс**

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Знание основ патогенеза лучевых поражений необходимо для правильной оценки возможных последствий облучения организма человека.

**Цель занятия:** усвоить основы патогенеза лучевых повреждений и научиться оценивать дозы облучения человека.

**Задачи занятия:**

- 1) усвоить понятие «радиочувствительность»;

2) разобрать основы патогенеза детерминированных и стохастических последствия облучения;

3) рассмотреть изменение структуры заболеваемости населения, подвергнувшегося воздействию ионизирующих излучений и усвоить основы его диспансеризации;

4) рассмотреть методы контроля доз внутреннего облучения человека;

5) ознакомиться с экспресс-методикой определения радиоцезия в организме с помощью прибора СРП-68-01.

**Требования к исходному уровню знаний.** Полноценное усвоение материала практического занятия возможно при наличии у студентов адекватных представлений о строении органов и тканей организма человека, строении клетки и клеточном цикле (биология).

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Строение клетки (ядро, органеллы, ДНК клетки).
2. Что такое митоз?
3. Митотический цикл клетки. Фазы митоза.
4. Что такое интерфаза?

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Радиочувствительность и определяющие ее факторы.
2. Радиочувствительность различных тканей и органов, правило Бергонье–Трибондо.
3. Детерминированные радиационные последствия.
4. Основные радиационные синдромы, их связь с дозой облучения.
5. Типы и характеристика стохастических радиационных последствий.
6. Заболеваемость населения Республики Беларусь, подвергнувшегося воздействию ионизирующих излучений в результате катастрофы на ЧАЭС.
7. Диспансеризация населения, подвергнувшегося воздействию радиации.
8. Понятие «радиометрия». Методы контроля доз внутреннего облучения человека.

## **УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ**

### **РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ**

Проблема радиочувствительности занимает центральное место в радиобиологии и радиационной медицине. Познание природы радиочувствительности и механизмов ее регуляции имеет как теоретическое, так и практическое значение, т. к. позволяет разрабатывать методы управления лучевыми реакциями тканей.

**Радиочувствительность** — это чувствительность биологических объектов к действию ионизирующих излучений.

Наиболее часто в качестве меры радиочувствительности используется  $LD_{50}$  — доза облучения, вызывающая гибель 50 % облученных организмов

за различное время после облучения (в зависимости от вида живых организмов). Различные виды живых организмов существенно различаются по своей радиочувствительности.

Степень радиочувствительности существенно варьирует в пределах одного вида (индивидуальная радиочувствительность); в пределах одного организма клетки и ткани также значительно различаются по своей радиочувствительности.

На клеточном уровне радиочувствительность зависит от ряда факторов:

- организация генома (в т. ч. карิโอпикнотический индекс);
- состояние системы репарации ДНК;
- содержание в клетке антиоксидантов;
- активность ферментов, утилизирующих продукты радиолиза воды (каталазы, супероксиддисмутазы и т. д.);
- интенсивность окислительно-восстановительных процессов.

На тканевом уровне выполняется **правило Бергонье–Трибондо**: *радиочувствительность ткани прямо пропорциональна пролиферативной активности и обратно пропорциональна степени дифференцировки составляющих ее клеток*. Следовательно, наиболее радиочувствительными в организме будут ткани, имеющие резерв активно размножающихся малодифференцированных клеток (кровотворная ткань, гонады, эпителий тонкого кишечника). Наиболее радиорезистентными будут высокоспециализированные малообновляющиеся ткани (мышечная, костная, нервная). Исключение из правила Бергонье–Трибондо — лимфоциты. Эти высоко специализированные клетки отличаются высокой радиочувствительностью.

На органном уровне радиочувствительность зависит не только от радиочувствительности тканей, составляющих данный орган, но и от его функций. На популяционном уровне радиочувствительность зависит от следующих факторов:

1. особенностей генотипа (в человеческой популяции 10–12 % людей отличаются наследственно обусловленной повышенной радиочувствительностью);
2. физиологического (сон, бодрствование, беременность) или патологического состояния организма (хронические заболевания, ожоги, травмы);
3. пол (наиболее радиочувствительны мужчины);
4. возраст (наименее чувствительны люди зрелого возраста).

### **Особенности радиочувствительности во внутриутробном периоде развития**

Опасность внутриутробного облучения обусловлена высокой радиочувствительностью малодифференцированных тканей плода. Эффекты могут выявиться либо сразу после рождения, либо в отдаленные сроки после облучения.



Характер развивающихся отдаленных эффектов будет зависеть от физических характеристик ионизирующего излучения и от возраста плода на момент облучения. Особенно важна стадия внутриутробного развития, на которую пришлось облучение, т. к. дифференцировка систем и органов происходит в определенные сроки развития, что и определяет тип повреждения.

При облучении беременных женщин выделяют четыре классических эффекта у потомства:

эмбриональная, неонатальная и постнатальная гибель плода (наиболее высокий риск внутриутробной смерти наблюдается при облучении в преимплантационный период; чтобы избежать облучения на ранних, нераспознанных стадиях беременности плановые рентгенодиагностические процедуры у женщин детородного возраста рекомендуется проводить только в первые 10 суток после начала менструации);

врожденные пороки развития (наблюдаются в основном при облучении в период основного органогенеза);

нарушения роста и физического развития (задержка внутриутробного развития);

нарушение функции центральной нервной системы (радиационные эффекты могут возникать при гибели глиальных или нейронных клеток-предшественников, в результате гибели постмитотических, но все еще незрелых нейронов или гибели «клеток-поводырей» — мигрирующих нейронов, в результате чего повышается риск развития умственной отсталости у детей).

Кроме перечисленных выше эффектов, при внутриутробном облучении возможно развитие и другой патологии, в том числе онкологических заболеваний, нарушения течения беременности; отклонение функции иммунной (нарушения лимфопоэза) и эндокринной систем (снижение йод-поглотительной и гормонсинтезирующей функции щитовидной железы).

## **Последствия действия ионизирующей радиации на человека**

Последствия действия ионизирующих излучений делятся по времени возникновения на ближайшие и отдаленные, а по характеру проявления — на детерминированные (ранее обозначаемые как нестохастические) и стохастические (соматостохастические и генетические). Ближайшие появляются спустя часы, дни или недели после облучения. Отдаленные — спустя годы или даже десятки лет.

Отличительная особенность проявления биологических последствий облучения — наличие порога дозы для детерминированных эффектов и его отсутствие для стохастических. Отсюда следует, что риск возникновения детерминированных эффектов может быть сведен к нулю путем снижением дозы облучения ниже пороговых значений. Риск же возникновения сто-

хастических и генетических эффектов не может быть сведен к нулю, но может быть уменьшен снижением дозы облучения. К настоящему времени известна вероятность заболевания раком при получении человеком поглощенной дозы в 1 Гр. Известно также, что радиационный риск при полном отсутствии облучения равен нулю.

### **Детерминированные последствия**

Детерминированные (от латинского *determinare* — определять) эффекты возникают в организме вскоре после облучения и, следовательно, являются ближайшими. Тяжесть проявления детерминированных эффектов зависит от индивидуальной дозы, которая была получена пострадавшим в результате облучения. В основе механизма возникновения детерминированных эффектов после облучения лежит превышение количества погибших клеток над числом вновь образованных. Если ткань жизненно важна и существенно повреждена, то конечным результатом может быть смерть организма. Клинические проявления детерминированных эффектов определяются специфической функцией облученной ткани. Некоторые из детерминированных эффектов могут быть обратимы при условии, что повреждение не слишком тяжелое. Пример таких функциональных эффектов — сосудистые реакции (например, ранняя эритема или подкожный отек); неврологические эффекты (например, изменение ЭЭГ) и уменьшение секреции экзо- и эндокринных желез (например, слюнных).

К детерминированным эффектам относят:

- опустошение красного костного мозга, что проявляется лучевой болезнью;
- нарушение репродуктивной функции;
- лучевая катаракта;
- неопухолевые формы поражения кожи (лучевой дерматит, изменения пигментации, уплотнение и атрофия эпидермиса, атрофия или фиброз дермы, хроническое изъязвление, дисфункция потовых и сальных желез, повышенная чувствительность кожи к травме, поседение и выпадение волос);
- сокращение продолжительности жизни.

### **Радиационные синдромы**

Поражение организма в целом определяется двумя факторами:

- 1) радиочувствительностью тканей, органов и систем, непосредственно подвергающихся облучению;
- 2) поглощенной дозой излучения и ее распределением во времени.

При облучении страдают все органы и ткани, но ведущее для организма — поражение одного или нескольких критических органов.

**Критические органы** — это жизненно важные органы и системы, которые повреждаются первыми в данном диапазоне доз, что обусловли-

*вает гибель организма в определенные сроки после облучения.*

В зависимости от критического органа выделяют 3 основных радиационных синдрома: костно-мозговой, желудочно-кишечный и церебральный.

**Костно-мозговой синдром** развивается при облучении в диапазоне доз 1–10 Гр, средняя продолжительность жизни — не более 40 суток, на первый план выступают нарушения гемопоэза. Уменьшение численности клеток костного мозга начинается тотчас после облучения. Основная причина катастрофического опустошения костного мозга на самых ранних стадиях после облучения состоит в резком торможении клеточного деления при продолжающемся поступлении зрелых элементов на периферию.

На характер изменения морфологического состава крови влияет время жизни зрелых клеток. Наиболее долгоживущие форменные элементы — эритроциты (среднее время жизни 120 дней). Их численность падает довольно медленно, т. к. даже при полном отсутствии продукции их количество уменьшается со скоростью 1 % в сутки.

Число гранулоцитов падает значительно быстрее, т. к. продолжительность их жизни короче. В динамике их изменения можно выделить несколько фаз:

1) фаза дегенерации характеризуется небольшим порогом и быстрым спадом, в крови обнаруживаются только поврежденные клетки;

2) фаза abortивного подъема обусловлена размножением в костном мозге поврежденных облучением клеток со сниженной способностью к пролиферации, когда эти клетки и все их потомки погибнут, число гранулоцитов вновь снизится до минимального (или нулевого) уровня;

3) фаза восстановления обеспечивается небольшим количеством стволовых клеток, сохранившихся в костном мозге и полностью восстановивших пролиферативную способность.

Тромбоциты по своей кинетике занимают промежуточное положение между гранулоцитами и эритроцитами.

Лимфоциты — наиболее радиочувствительные клетки крови — гибнут даже при небольших дозах не только в местах их образования (лимфоузлы, костный мозг), но и в периферической крови.

**Желудочно-кишечный синдром** развивается при облучении в диапазоне доз 10–80 Гр, средняя продолжительность жизни около 8 суток. Наиболее важные изменения возникают в тонком кишечнике и заключаются в клеточном опустошении ворсинок и крипт, основную роль в котором играет интерфазная гибель клеток сразу после облучения. Результат данного процесса — развитие язвенно-некротической энтеропатии и последующая аутоинтоксикация в результате прорыва «кишечного барьера». Для летального исхода важны также такие факторы как инфекционные осложнения, поражение кровеносных сосудов, нарушение баланса жидкостей и электролитов.

**Церебральный синдром** развивается при облучении в дозах более 80–100 Гр, продолжительность жизни менее 2 суток, развиваются необратимые изменения в ЦНС. ЦНС состоит из высокодифференцированных непролиферирующих клеток, отличающихся высокой радиорезистентностью, поэтому при облучении выраженных клеточных потерь не будет. Гибель нервных клеток происходит при огромных дозах порядка сотен Гр. В летальном исходе важную роль играет поражение кровеносных сосудов с быстрым развитием отека мозга.

### **Стохастические эффекты**

Стохастические (от латинского *stochasticus* — случайный, вероятностный) эффекты радиационного воздействия возникают в отдаленные сроки после облучения. Они носят вероятностный характер и могут быть обнаружены при длительном наблюдении больших контингентов людей.

*Дозовая зависимость для стохастических эффектов проявляется не в изменении тяжести заболевания, а в увеличении частоты той или иной патологии. При этом значение имеет не индивидуальная, а коллективная доза облучения на определенную популяцию или когорту лиц.*

В патогенезе стохастических эффектов существенную роль играет принцип вероятностных событий. В их основе лежит появление в организме выжившей, но поврежденной в результате облучения соматической клетки. При этом вероятность событий выражается в том, что у *одинаковых индивидуумов с одинаковыми молекулярными повреждениями на уровне ДНК процессы репарации могут, в силу определенных генетических особенностей, протекать с разной интенсивностью.*

В зависимости от вида клеток, в которых происходят наследственные изменения, различают сомато-стохастические и наследуемые или генетические эффекты.

Генетические эффекты — это последствия, связанные с повреждением половых клеток. Они проявляются в последующих поколениях и носят также вероятностный характер.

К сомато-стохастическим последствиям облучения относят злокачественные новообразования, которые могут возникать практически во всех органах. Установлено, что ионизирующая радиация индуцирует лейкозы, рак щитовидной железы, рак легких, желудка, эндокринно-зависимые опухоли (рак молочной железы и яичников). При местном облучении чаще всего развиваются злокачественные опухоли кожи и костей.

По имеющимся данным, первыми в группе раковых заболеваний, поражающих население в результате облучения, будут лейкозы. От дозы облучения в 1 Гр в среднем два человека из тысячи умрут от лейкозов. Самыми распространенными видами рака, вызванными действием радиации, оказались рак щитовидной и молочной железы. Примерно у десяти человек из тысячи облученных отмечается рак щитовидной железы, а у десяти

женщин из тысячи — рак молочной железы. Однако обе разновидности рака, в принципе, излечимы, и поэтому смертность от рака щитовидной железы особенно низка.

Дети более чувствительны к облучению, чем взрослые, а при облучении плода риск заболевания раком, по-видимому, еще больше.

**Генетические последствия** действия радиации можно разделить на 3 группы:

1) серьезные нарушения развития у потомства облученных родителей (эмбриональная и ранняя постнатальная гибель; врожденные пороки и задержка развития; снижение фертильности; изменение морфологических и биохимических признаков — в их основе лежат «крупные» мутации: хромосомные, геномные, доминантные генные; эти эффекты проявляются преимущественно в первом и втором поколениях после облучения);

2) физиологическая неполноценность потомства (снижение устойчивости к неблагоприятным воздействиям; функциональные сдвиги; дестабилизация генетического аппарата);

3) увеличение риска канцерогенеза, поскольку мутагенные воздействия на родителей создают наследственную предрасположенность к бластомогенезу у потомства.

### **Заболеваемость населения в Республике Беларусь после катастрофы на Чернобыльской АЭС**

Детерминированные эффекты в виде острых лейкозов (237 случаев) были зарегистрированы среди сотрудников станции, пожарных и участников ликвидации последствий аварии, принимавших участие в тушении пожара, дезактивации территории. Помимо этого наблюдались радиодерматиты за счет облучения кожи  $\beta$ -активными радионуклидами.

Острых радиационных синдромов среди населения отмечено не было. Одним из стохастических эффектов, отличающимся от описанных выше известных данных, вскоре после чернобыльской катастрофы был рост злокачественной патологии щитовидной железы у детей, а позже и взрослых. Среднегодовая заболеваемость раком щитовидной железы у детей к середине 90-годов возросла приблизительно в 50 раз, у взрослых — более чем в 2 раза.

В последние годы заметно увеличилась частота заболевания опухолями щитовидной железы, органов дыхания, опухолями молочной железы, мочеполовых органов, ободочной и прямой кишки и др. За 1986–1996 гг. показатели заболеваемости злокачественными опухолями у мужчин увеличились на 24,1 %, у женщин — на 22,6 %.

После Чернобыльской катастрофы отмечается увеличение частоты рождаемости детей с врожденными пороками развития (ВПР). Показатель частоты ВПР за 1986–1994 гг. на загрязненной радионуклидами территории превысил таковой в контрольной зоне в 1,81 раза. Частота рождения

детей с ВПР строгого учета увеличилась по всей республике. Однако, если показатель такого увеличения на «чистых» территориях составляет 39 %, то на территориях с большей плотностью загрязнения по цезию-137 — от 44 до 79 %.

### **Соматическая заболеваемость**

У взрослого населения Беларуси на первом месте в структуре общей заболеваемости находятся болезни органов дыхания, на втором — болезни системы кровообращения, на третьем — болезни нервной системы и органов чувств.

Соматическая заболеваемость среди групп взрослого населения, которые различаются по величине полученных доз облучения, различается, но имеет некоторые общие тенденции.

Общая заболеваемость участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС (УЛПА) отличается от таковой взрослого населения Беларуси не только значимостью заболеваний, но и более высокими показателями. Первое ранговое место в разные годы у УЛПА занимают болезни системы кровообращения или болезни органов пищеварения. На третьем месте регистрируются болезни нервной системы и органов чувств. Сравнение показателей общей заболеваемости УЛПА и взрослого населения Беларуси показывает, что относительный риск быть больным у них выше, чем у взрослого населения Беларуси более чем в два раза почти по всем классам заболеваний. Соответственно этому происходил и рост смертности среди УЛПА. Темп прироста смертности от новообразований у ликвидаторов превышает таковой у взрослого населения Беларуси более чем в 8 раз, от болезней системы кровообращения — более чем в 6 раз.

В течение 1993–1999 гг. общая заболеваемость взрослого эвакуированного населения возросла в 2 раза. В 2000 г. ее уровень несколько снизился, но по-прежнему превышает соответствующий показатель по республике в целом. В структуре общей заболеваемости преобладают болезни системы кровообращения. Далее, по убывающей регистрируются болезни органов пищеварения, нервной и костно-мышечной систем. Смертность взрослого населения среди данной группы в течение последних 8 лет имела тенденцию к снижению, однако ее интенсивные показатели существенно превышают республиканский уровень.

В структуре общей заболеваемости взрослых данной группы населения первые ранговые места также занимают болезни органов кровообращения, болезни органов пищеварения и органов дыхания. Расчеты показывают, что риск быть больным у данной группы населения по всем классам выше в 1,3 раза. Смертность взрослого населения в этой группе также имела, в целом, тенденцию к росту.

## ДИСПАНСЕРИЗАЦИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, ПОДВЕРГШЕГОСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ

31 августа 2001 г. было принято Постановление Министерства здравоохранения РБ № 57 «О диспансеризации граждан, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС, и приравненных к ним категорий населения» и утверждено Положение о диспансеризации граждан.

**Цель диспансеризации — сохранение и укрепление здоровья граждан, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС.**

Наблюдение проходит на четырех уровнях: республиканском, областном, районном и уровне лечебно-профилактического учреждения, осуществляющего диспансеризацию.

**Основные задачи специальной диспансеризации:**

- активное выявление заболеваний в ранних стадиях, уточнение диагноза, организация лечения;
- выявление лиц с факторами риска, способствующими возникновению и развитию заболеваний;
- динамическое наблюдение за состоянием здоровья пострадавшего населения;
- проведение профилактических, реабилитационных и оздоровительных мероприятий среди наблюдаемого населения.

**Основные показатели диспансеризации:**

- полнота и своевременность проведения диагностических, лечебно-реабилитационных и оздоровительных мероприятий;
- периодичность динамического наблюдения.

Диспансерные осмотры и наблюдения за лицами, пострадавшими от катастрофы на ЧАЭС, оказание им медицинской помощи и проведение лечебно-профилактических мероприятий, а также учет граждан, подлежащих диспансеризации и распределение их по группам риска (А, Б, В, Г) осуществляются лечебно-профилактическими учреждениями по месту жительства или работы.

Объемы и кратность профилактических осмотров населения, предусмотренные настоящим положением — минимальны и обязательны для выполнения на всей территории республики.

**Группы первичного учета:**

- 1) первая группа первичного учета: лица, принимавшие участие в работах по ликвидации аварии и ее последствий.
- 2) вторая группа первичного учета: лица, эвакуированные или самостоятельно покинувшие зоны эвакуации в 1986 году;
- 3) третья группа первичного учета: лица, проживающие в зонах первоочередного и последующего отселения или самостоятельно выехавшие из этих зон после катастрофы;
- 4) четвертая группа первичного учета: дети, родившиеся от лиц, отне-

сенных к 1–3 группам первичного учета и их последующие поколения, в т. ч. родившиеся от лиц группы риска А и лиц второй группы первичного учета групп риска Б и В и их последующие поколения;

5) пятая группа первичного учета: лица, проживающие в зоне с правом на отселение и зоне проживания с периодическим радиационным контролем, а также выехавшие из этих зон, но имеющие установленную причинную связь заболевания, приведшего к инвалидности, и выехавшие, отнесенные прежде к группе риска В;

6) шестая группа первичного учета: лица, участвовавшие в ликвидации или пострадавшие от аварий и их последствий на других атомных объектах гражданского или военного назначения, что подтверждается соответствующими документами;

7) седьмая группа первичного учета: дети и подростки при обнаружении у них заболеваний кроветворных органов (острые лейкозы), щитовидной железы (аденома, рак) и злокачественных опухолей, а также инвалиды вследствие катастрофы на ЧАЭС из числа граждан, не имевших прежде статуса «пострадавший от катастрофы на ЧАЭС» независимо от места проживания.

Группы риска:

1) группа риска А — лица, принимавшие в 1986 году участие в ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в пределах зоны эвакуации;

2) группа риска Б — лица, получившие за первый год после катастрофы дозовые нагрузки за счет внешнего и внутреннего облучения по спискам, сформированным Республиканским диспансером радиационной медицины;

3) группа риска В по эндокринной патологии — лица, подвергшиеся воздействию радиоактивного йода вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, в возрасте от 0 (внутриутробно) до 18 лет на момент аварии (1968–1986 годов рождения), которые не отнесены к группе риска Б;

4) группа риска Г — лица, у которых вследствие внутреннего облучения результаты измерения на СИЧ в течение года превышают допустимые уровни и не имеют тенденции к снижению.

## САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

### I. Что из перечисленного является верным?

1. Радиочувствительность ткани прямо пропорциональна степени дифференцировки составляющих ее клеток.
2. Радиочувствительность ткани прямо пропорциональна митотической активности составляющих ее клеток.
3. Ткани, имеющие резерв активно делящихся молодых клеток, являются радиорезистентными.



- II. Что влияет на радиочувствительность клетки?**
1. Содержание антиоксидантов в клетке.
  2. Состояние системы репарации ДНК.
  3. Активность ферментов, инактивирующих продукты радиолиза воды.
- III. Что характерно для детерминированного эффекта радиационного воздействия?**
1. Степень тяжести эффекта снижается с увеличением дозы облучения.
  2. При облучении выше порогового уровня эффект проявляется обязательно.
  3. В основе развития лежит гибель большого количества функциональных клеток.
- IV. Что характерно для стохастического эффекта радиационного воздействия?**
1. С увеличением индивидуальной дозы увеличивается степень тяжести клинического эффекта.
  2. С увеличением коллективной дозы увеличивается вероятность развития эффекта.
  3. Частота проявлений зависит от коллективной дозы облучения.
- V. Что характерно для соматико-стохастического эффекта радиационного воздействия?**
1. Связан с появлением мутаций в соматических клетках.
  2. Носит вероятностный характер.
  3. Проявляется при превышении пороговой дозы.
- VI. Каковы возможные последствия при облучении эмбриона в периоде органогенеза?**
1. Лучевая болезнь.
  2. Врожденный порок развития.
  3. Внутриутробная гибель.
- VII. Что из перечисленного относится к стохастическим последствиям радиационного воздействия?**
1. Лейкоз.
  2. Рак щитовидной железы.
  3. Рак легких.
- VIII. Основные показатели, характеризующие качество диспансеризации граждан, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС, следующие:**
1. Своевременность взятия на диспансерный учет.
  2. Полнота охвата диспансерным наблюдением.
  3. Периодичность динамического наблюдения.
- IX. В соответствии с Положением о диспансеризации граждан, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС, и приравненных к ним категорий населения...**

1. Выделяют четыре группы риска.
2. Не выделяют никаких групп риска.
3. Выделяется только группа риска по развитию эндокринной патологии.

**Х. Задачи диспансеризации граждан, пострадавших вследствие катастрофы на ЧАЭС:**

1. Активное выявление заболеваний в ранних стадиях, уточнение диагноза, организация лечения.
2. Выявление лиц с факторами риска, способствующими возникновению и развитию заболеваний.
3. Проведение профилактических и реабилитационно-оздоровительных мероприятий среди наблюдаемого контингента населения.

## ЛИТЕРАТУРА

### *Основная*

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Стожарова. 2-е изд., пераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 143 с.; С. 42–64, 82–101.
2. *Тексты лекций* № 1 и 2.
3. *Инструкции* к лабораторным работам по радиационной медицине и экологии / А. Н. Стожаров [и др.]. Минск: МГМИ, 2001. 32 с.; С. 20–24.

### *Дополнительная*

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Стожарова. Минск: МГМИ, 2000. 154 с.; С. 47–71, 91–110.
2. *Радиация*. Дозы, эффекты, риск. Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 79 с.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 4

### **Тема: Контроль радиационной безопасности**

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Знание материала занятия необходимо для сведения к минимуму возможных неблагоприятных последствий воздействия ионизирующих излучений на человека.

**Цель занятия:** усвоить основные принципы обеспечения радиационной безопасности и снижения лучевых нагрузок на население.

### **Задачи:**

- 1) усвоить основные принципы радиационной безопасности;

2) познакомиться с основными принципами проживания населения на загрязненной радионуклидами территории;

3) усвоить основные положения концепции защиты населения при авариях на ядерно-физических установках;

4) усвоить принципы предупреждения поступления и ускорения выведения радионуклидов из организма.

**Требования к исходному уровню знаний.** Для усвоения учебного материала студенты должны повторить методы защиты от ионизирующих излучений (мед физика), механизмы формирования лучевых повреждений при действии электромагнитных ионизирующих излучений (занятие № 1).

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Понятия «риск», «безопасность».
2. Методы защиты от ионизирующих излучений.

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Принципы радиационной безопасности. Основные документы, регламентирующие воздействие ионизирующих излучений на человека (Закон РБ «О радиационной безопасности населения», НРБ-2000, ОСП-2002).

2. Категории облучаемых лиц и соответствующие им основные дозовые пределы.

3. Категории пациентов, выделяемые при проведении рентгенодиагностических исследований. Рекомендуемые дозовые контрольные уровни облучения пациентов.

4. Концепция защиты населения при авариях на ядерно-физических установках.

5. Принципы проживания населения на загрязненной радионуклидами территории.

6. Принципы предупреждения попадания и способы ускорения выведения радионуклидов из организма.

## **УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ**

### **КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Широкое распространение и применение источников ионизирующего излучения в науке, промышленности, медицине и сельском хозяйстве диктует необходимость применения и постоянного совершенствования системы мер государственного и международного контроля за обеспечением радиационной безопасности. Мировая общественность проявляет серьезную озабоченность по поводу правового регулирования использования радиоактивных материалов, регламентации дозовых нагрузок на человека. Создан ряд межправительственных (МАГАТЭ, ЕВРАТОМ, ВОЗ, МОТ, НКДАР ООН) и неправительственных (МКРЗ, ФИРЭ) международных организаций, на рекомендациях которых основано правовое регулирование

использования источников ионизирующего излучения в различных странах.

Для предотвращения появления детерминированных эффектов облучения и сведения к минимуму вероятности появления стохастических последствий необходимо ограничивать дозы внешнего и внутреннего облучения персонала и всего населения при применении, хранении и транспортировке радиоактивных веществ, использовании ядерных реакторов, ускорителей заряженных частиц, рентгеновских аппаратов и других источников ионизирующих излучений. Система радиационной безопасности предприятия призвана обеспечивать уменьшение радиоактивного загрязнения окружающей среды и снижение дозовых нагрузок на людей до соответствующих пределов.

**Радиационная безопасность** — это состояние защищенности настоящего и будущего поколений людей от вредного воздействия ионизирующих излучений. Радиационная безопасность обеспечивается комплексом мероприятий (административных, технических, санитарно-гигиенических и других), ограничивающих облучение различных категорий населения в пределах допустимых порогов и снижающих радиоактивное загрязнение окружающей среды до наиболее низких уровней, достигаемых приемлемыми для общества средствами (с учетом социальных и экономических факторов).

В настоящее время все страны, использующие атомную энергию, имеют национальные нормы и правила радиационной безопасности, основанные на рекомендациях МКРЗ. Основным документом, определяющим основы правового регулирования в области обеспечения радиационной безопасности населения, — Закон РБ «О радиационной безопасности населения» (1998 г.). Закон направлен на создание условий, обеспечивающих охрану жизни и здоровья людей от вредного воздействия ионизирующих излучений. В соответствии с этим документом с 2000 г. введены в действие «Нормы радиационной безопасности» (НРБ-2000), которые применяются для обеспечения безопасности человека во всех условиях воздействия на него ионизирующих излучений искусственного или природного происхождения.

НРБ-2000 базируются на трех основных принципах радиационной безопасности:

1) **принцип нормирования** — непревышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения человека от всех источников излучения;

2) **принцип обоснования** — исключение всякого необоснованного облучения: запрещение всех видов деятельности по использованию источников излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным облучением;

3) **принцип оптимизации** — поддержание на возможно низком и

достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника излучения. Доза должна быть настолько низкой, насколько это возможно и достижимо с учетом социально-экономического и научного потенциала страны.

Нормирование радиационного воздействия осуществляется дифференцированно для разных категорий облучаемых лиц. **Категория облучаемых лиц** — это условно выделяемая группа населения, отличающаяся по степени контакта с ионизирующим излучением.

НРБ-2000 установлены 2 категории облучаемых лиц:

- **персонал**, т. е. лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с ИИИ (пример: врач-рентгенолог, лаборант радиоизотопной лаборатории).
- **все население**, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.

Уровень облучения лиц этих категории определяется по критической группе. **Критическая группа** — небольшая по численности группа лиц из населения (не менее 10 человек) однородная по одному или нескольким признакам: условиям проживания, возрасту, полу, социальным или профессиональным условиям, которая подвергается наибольшему радиационному воздействию по данному пути облучения от данного источника излучения.

Для категорий облучаемых лиц установлены **три класса нормативов**:

- 1) основные пределы доз (ПД);
- 2) допустимые уровни монофакторного воздействия (для одного радионуклида, пути поступления или одного вида внешнего облучения), являющиеся производными от основных пределов доз: пределы годового поступления (ПГП), допустимые среднегодовые объемные активности (ДОВА), среднегодовые удельные активности (ДУА) и другие;
- 3) контрольные уровни (дозы, уровни, активности, плотности потоков и др.). Их значения должны учитывать достигнутый в организации уровень радиационной безопасности и обеспечивать условия, при которых радиационное воздействие будет ниже допустимого.

**Предел дозы (ПД)** — величина годовой эффективной или эквивалентной дозы техногенного облучения, которая не должна превышать в условиях нормальной работы. Соблюдение предела годовой дозы предотвращает возникновение детерминированных эффектов, а вероятность стохастических эффектов сохраняется при этом на приемлемом уровне. Основные пределы доз облучения приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Основные пределы доз

Нормируемые величины*	Пределы доз	
	Персонал	Население

Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год:		
в хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
коже	500 мЗв	50 мЗв
кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

*Примечание:* \* — допускается одновременное облучение до указанных пределов по всем нормируемым величинам.

***Основные пределы доз не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий.***

На эти виды облучения устанавливаются специальные ограничения. Эффективная доза для персонала не должна превышать за период трудовой деятельности (50 лет) 1000 мЗв, а для населения за период жизни (70 лет) — 70 мЗв.

Требования НРБ-2000 не распространяются на источники излучения, создающие при любых условиях обращения с ними индивидуальную годовую эффективную дозу не более 10 мкЗв и коллективную эффективную годовую дозу не более 1 чел.-Зв. Требования Норм не распространяются также на космическое излучение на поверхности Земли и внутреннее облучение человека, создаваемое природным калием, на которые практически невозможно влиять.

В отношении всех источников облучения населения следует принимать меры как по снижению дозы облучения у отдельных лиц, так и по уменьшению числа лиц, подвергающихся облучению, в соответствии с принципом оптимизации. Ограничение облучения населения осуществляется регламентацией или контролем:

- радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды (воды, воздуха, пищевых продуктов и т.п.);
- радиационной безопасности технологических процессов, которые могут привести к загрязнению радионуклидами объектов окружающей среды;
- доз облучения, полученных при проведении медицинских диагностических и лечебных процедур;
- техногенно-повышенного фона, обусловленного строительными материалами, химическими удобрениями, сжиганием органического топлива и т. п.

Основной документ, регламентирующий требования по защите людей от вредного радиационного воздействия при всех условиях облучения от источников ионизирующего излучения, на которые распространяется действие НРБ-2000, — «Основные санитарные правила обеспечения радиаци-

онной безопасности (ОСП–2002)». Выполнение требований ОСП-2002 обеспечивает неперевышение установленных основных дозовых пределов. ОСП-2002 регламентируют обеспечение безопасности персонала и населения при эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений; при воздействии природных источников ионизирующих излучений; при радиационных авариях.

Мероприятия по обеспечению радиационной безопасности зависят от типа используемого источника: закрытый или открытый источник ионизирующего излучения.

**Закрытый источник ИИ** — радионуклидный источник излучения, устройство которого исключает поступление содержащихся в нем радионуклидов в окружающую среду в условиях применения и износа, на которые он рассчитан. Кроме радионуклидных источников к закрытым источникам ионизирующего излучения относят устройства, генерирующие ионизирующее излучение (например: рентгеновский аппарат). При работе с закрытыми источниками ионизирующего излучения человек подвергается только внешнему облучению.

**Открытый источник ИИ** — радионуклидный источник излучения, при использовании которого возможно поступление содержащихся в нем радиоактивных веществ в окружающую среду. При работе с открытыми источниками ионизирующего излучения возможно загрязнение окружающей среды и попадание радионуклидов внутрь организма, поэтому человек подвергается не только внешнему, но и внутреннему облучению.

Радиационный дозиметрический контроль (контроль за соблюдением допустимых уровней облучения и индивидуальный дозиметрический контроль) проводится службой радиационной безопасности, либо специально выделенным лицом. Основные контролируемые параметры следующие: годовая эффективная и эквивалентная дозы; поступление радионуклидов в организм и их содержание в организме для оценки годового поступления; объемная или удельная активность радионуклидов в воздухе, воде, продуктах питания, строительных материалах и других; радиоактивное загрязнение кожных покровов, одежды, обуви, рабочих поверхностей; доза и мощность дозы внешнего излучения; плотность потока частиц и фотонов.

### **ОБЛУЧЕНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЯХ**

В соответствии с законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» один из основных элементов организации безопасности населения республики — создание системы контроля и учета степени облучения населения при проведении медицинских рентгенологических исследований. Этот вид радиационного воздействия определяет более 40–50 % дополнительно к фоновому облучению населения. В соответствии с постановлением Совета Министров Республики Беларусь «О еди-

ной государственной системе контроля и первичного учета индивидуальных доз облучения» организация контроля и первичного учета индивидуальных доз облучения при проведении рентгенологических исследований осуществляется администрацией лечебного учреждения.

Во избежание необоснованного переоблучения пациентов рекомендуются допустимые контрольные уровни для трех категорий обследуемых, нуждающихся в рентгенологической помощи разной степени. В зависимости от цели и показаний к проведению рентгенодиагностических исследований выделяют три категории пациентов: АД, БД, ВД. Отнесение обследуемых лиц к той или иной категории определяет индивидуальную предельную дозу, устанавливаемую по значению эффективной дозы.

**Категория АД** — пациенты, которым рентгенодиагностические исследования назначаются в связи с наличием или подозрением онкологического заболевания, а так же в ургентной практике (травмы, кровотечения и др.). Для этой категории дозовый контрольный уровень рекомендован таким образом, чтобы облучение не могло вызвать непосредственных лучевых поражений.

**Категория БД** — пациенты, которым рентгенодиагностические исследования проводятся по клиническим показаниям с целью установления (уточнения) диагноза или выбора тактики лечения при заболеваниях неонкологического характера. Для этой категории дозовый контрольный уровень рекомендован в 10 раз ниже, чем для категории АД, для предотвращения риска появления стохастических (соматических и генетических) последствий облучения.

**Категория ВД** — пациенты, которым рентгенодиагностические исследования проводятся с профилактической целью, а также периодические исследования после радикального лечения по поводу злокачественных опухолей. В категорию ВД также включены группы риска: работающие во вредных условиях, связанных с воздействием ионизирующих излучений, с предопухолевыми заболеваниями (фиброаденоматоз, лейкоплакия и др.).

Величины дозовых контрольных уровней, рекомендуемых для пациентов при рентгенодиагностических исследованиях приведены в таблице 4.2.

*Таблица 4.2*

**Величины дозовых контрольных уровней, рекомендованных для пациентов при рентгенодиагностических исследованиях**

Категории пациентов	Рекомендуемый дозовый контрольный уровень, эффективная доза, мЗв/год
АД	150
БД	15
ВД	1,5

Допускается многократное обследование пациентов в течение года при условии, что суммарное значение эффективной дозы не превысит ре-



комендуемого контрольного уровня для данной категории. Рентгенодиагностические исследования не проводятся (за исключением жизненных медицинских показаний) женщинам, относящимся к категориям БД и ВД в период установленной или возможной беременности и детям до 15 лет, относящимся к категории ВД.

### Рентгенография в стоматологии

Стоматологическая рентгенография — самый распространенный вид рентгенологических процедур. Радиационные нагрузки на пациентов небольшие. Несмотря на относительно низкие индивидуальные уровни облучения при стоматологической рентгенографии, на получаемые пациентом дозы, могут существенно влиять используемое оборудование и методики.

При планировании операции по стоматологической имплантации часто требуются томографические изображения, позволяющие оценить размеры области планируемого нахождения имплантата и локализацию анатомических структур. При челюстно-лицевой стоматологической рентгенографии применяется как конвенциональная томография, так и компьютерная томография (КТ). При этом, при использовании конвенциональной томографии, поглощенные дозы на радиочувствительные органы составляют менее 0,3 мГр, тогда как дозы при КТ могут быть значительно выше; например, дозы на поверхность кожи и околоушную железу — 38 мГр и 31 мГр соответственно. В ортодонтии при диагностике и лечении аномалий прикуса используется стандартный метод получения изображений — краниометрия, позволяющая получать воспроизводимые изображения черепа, зубов и мягких тканей лица. Для получения таких краниометрических снимков используется рентгенография черепа в боковой проекции с фиксированного расстояния. Примерные значения эффективных доз при рентгенодиагностических исследованиях в стоматологии представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

#### Примерные значения эффективных доз E (мЗв) при рентгенодиагностических исследованиях в стоматологии

Область исследования	Время, проекция	Возраст (лет)					
		0–0,5	0,5–1	1–5	5–10	10–15	более 15
<b>Пленочная рентгенография</b>							
<i>Зубы (интраорально)</i>							
Верхняя челюсть 1–5	1 снимок	–	–	0,02	0,01	0,01	0,26
Верхняя челюсть 6–8	1 снимок	–	–	0,02	0,01	0,01	0,33
Полный зубной статус	0 снимков	–	–				1,7
Нижняя челюсть 1–5	1 снимок	–	–	0,02	0,02	0,02	0,26
Нижняя челюсть 6–8	1 снимок	–	–	0,02	0,02	0,02	0,15
Полный зубной статус	0 снимков	–	–				1,0
<i>Ортопантомография</i>		–	–		0,06	0,07	0,07

<i>Череп</i>	боковая	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05
<b>Компьютерная томография</b>							
<i>Голова</i>	исследование	–	–	0,2	0,3	0,4	0,4
<b>Цифровая рентгенография (сканирование)</b>							
<i>Череп</i>	Прямая (сканирование 4 секунды)						0,004
	Прямая (сканирование 8 секунд)						0,008
	Боковая (сканирование 4 секунды)						0,005
	Боковая (сканирование 8 секунд)						0,009

При превышении пределов доз необходимость проведения дополнительного рентгенодиагностического исследования должна подтверждаться консилиумом врачей-специалистов и рентгенологов.

### **ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА ЯДЕРНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ (ЯФУ)**

При возникновении опасности повышенного, по сравнению с естественным фоном, облучения отдельных контингентов населения в результате радиационной аварии Министерство здравоохранения устанавливает временные дозовые пределы и допустимые уровни облучения населения для данного региона и участвует в выработке необходимых организационных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности на данных территориях.

В 1990 году группой экспертов МАГАТЭ и ЕВРАТОМ была предложена **Международная шкала ядерных событий**, включающая 7 уровней. События, классифицируемые в шкале, относятся только к радиационной безопасности. Промышленные аварии или другие события, не связанные с ядерными или радиационными операциями, не классифицируются.

В случае аварии на ядерном реакторе или другой ядерно-физической установке на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, проводится комплекс мероприятий по защите населения и персонала. В зависимости от складывающейся обстановки могут быть приняты следующие **меры по защите людей и окружающей среды от ионизирующих излучений:**

- 1) ограничение пребывания на открытой местности (временное укрытие в домах и убежищах);
- 2) проведение экстренных мер защиты:
  - защита органов дыхания специальными (респиратор, противогаз) и подручными средствами (носовые платки, полотенца, бумажные салфетки);
  - герметизация жилых и служебных помещений на время рассеивания радиоактивных веществ в воздухе и формирования радиоактивного загрязнения территории;
- 3) йодная профилактика;
- 4) эвакуация и переселение;

- 5) дезактивация территорий, зданий и сооружений;
- 6) захоронение образовавшихся в результате дезактивационных мероприятий радиоактивных отходов, а также отходов промышленного и сельскохозяйственного производства с повышенным содержанием радионуклидов;
- 7) ограничение свободного доступа населения на территории с высокими уровнями радиоактивного загрязнения и прекращение хозяйственной деятельности;
- 8) реперофилирование в лесном и сельском хозяйстве, и обеспечение радиационно-безопасных условий труда;
- 9) исключение или ограничение потребления загрязненных пищевых продуктов;
- 10) меры по снижению содержания радиоактивных веществ в сельхозпродукции общественного сектора и продуктах ее переработки;
- 11) меры по снижению загрязненности сельхозпродукции из личных подсобных хозяйств;
- 12) благоустройство населенных пунктов;
- 13) информирование населения о радиационной обстановке;
- 14) социальные и другие дополнительные меры.

В Республике Беларусь в настоящее время нет атомных электростанций и других объектов ядерно-энергетического цикла. Однако в приграничных районах сопредельных государств (Россия, Украина, Литва) функционируют четыре АЭС (Смоленская, Чернобыльская, Ровенская, Игналинская). Опыт Чернобыльской катастрофы показал, что аварии на них могут привести к масштабному загрязнению территории Беларуси и дополнительному облучению населения, что требует разработки превентивных мер защиты. В связи с этим в республике была принята «Концепция защиты населения Республики Беларусь при авариях на ядерных физических установках (ЯФУ)». Ее цель — обоснование защитных мероприятий, предотвращающих возникновение детерминированных эффектов (острая лучевая болезнь, лучевой гипотиреоз, лучевая катаракта и др.), а также ограничивающих риск стохастических эффектов (онкологические заболевания) и гигиенических последствий.

При радиационной аварии на АЭС рассматриваются следующие основные **факторы радиационного воздействия**:

- внешнее гамма-излучение от радиоактивного облака;
- внутреннее облучение при поступлении радиоактивных веществ через органы дыхания;
- контактное облучение вследствие радиоактивного загрязнения кожных покровов и одежды;
- внешнее гамма-излучение от радиоактивных веществ, осевших на поверхность земли и местные объекты;

- внутреннее облучение в результате потребления загрязненных пищевых продуктов и воды.

Концепция предусматривает защитные мероприятия *на период первых 10 дней после аварии*. Основным критерий для принятия решения о мерах защиты — индивидуальная доза облучения, прогнозируемая от начала аварии до 10 суток после нее и мощность экспозиционной дозы на местности.

При мощности экспозиционной дозы, превышающей ее фоновое значение для данной местности на 20 мкР/час, проводятся следующие мероприятия:

- 1) запрещение потребления молока местного производства и листовых овощей;

- 2) ограничение пребывания людей на открытой местности;

- 3) герметизация жилых и служебных помещений (плотное закрытие дверей, окон, дымоходов, вентиляционных отверстий, отключение вентиляции при отсутствии фильтров);

- 4) проведение йодной профилактики.

При мощности экспозиционной дозы, равной 2,5 мР/час, к перечисленным выше мероприятиям добавляют прекращение работы детских дошкольных учреждений, школ и учебных заведений, прекращаются все виды деятельности, кроме необходимых для жизнеобеспечения населения; при необходимости пребывания вне помещения проводится защита органов дыхания и кожных покровов.

Если мощность экспозиционной дозы достигает 5 мР/час, помимо использования вышеперечисленных защитных мероприятий, принимается решение об эвакуации детей и беременных женщин. Эвакуация детей и беременных женщин осуществляется при ожидаемой дозе на щитовидную железу, равной 200 мЗв. Решение об эвакуации остального (взрослого) населения принимается, если мощность экспозиционной дозы составляет 25 мР/час и при ожидаемой дозе на щитовидную железу — 500 мЗв. Решение об эвакуации в зависимости от дозы облучения щитовидной железы принимается на основании дозиметрических замеров, выполненных в первые сутки после аварии с учетом эффективности проводимой йодной профилактики. Эвакуация населения проводится за пределы 100 км зоны АЭС.

### **Защита щитовидной железы при радиационных авариях**

Блокада щитовидной железы проводится препаратами стабильного йода: йодидом калия (KI), антиструмином, водным раствором KI или 5% спиртовым раствором йода.

Однократный прием для взрослого человека — 125 мг йодида калия. Защитный эффект однократного приема йодида калия длится 24 ч. Взрослому человеку допускается прием йодида калия по 125 мг в течение 10 суток. При отсутствии KI можно провести его замену приемом 5 % спиртового раствора йода, антиструмином (125 мг KI) или нанесением сетки 5 %

спиртовым раствором йода на внутреннюю поверхность предплечья (закрашенная поверхность должна быть диаметром 3–5 см).

Дети старше 3 лет принимают 60–65 мг йодида калия 1 раз в день в течение 10 суток (суммарная доза 600–650 мг). Дети моложе 3 лет принимают 60–65 мг йодида калия 1 раз в день в течение 2 суток (суммарная доза 120–130 мг).

Беременные и кормящие новорожденных женщины принимают по 125 мг 1 раз в день в течение 2 суток (суммарная доза 250 мг). Новорожденным, находящимся на грудном вскармливании, йодид калия не назначается: они получают необходимое количество йода с молоком матери, которая принимает препарат в дозе 125 мг 1 раз в сутки (но не более 2 раз за 2 суток).

При проведении йодной блокады щитовидной железы особое внимание следует уделять беременным женщинам. Беспрепятственно проникая через плаценту, йод в большом количестве поглощается фетальной щитовидной железой, подавляет ее функцию и дальнейшее развитие. Поэтому, при необходимости продления йодной профилактики для беременных, наряду с введением блокирующей дозы йода необходим дополнительный прием перхлората калия. Это соединение снижает захват любых изотопов йода (в том числе стабильного), что обеспечивает в последующем ускоренное его выведение. В этом случае беременным можно проводить йодную профилактику до 7 суток приемом 125 мг KI в комбинации с дополнительным приемом перхлората калия в дозе 750 мг один раз в день.

Блокаду щитовидной железы препаратами стабильного йода проводят до устранения прямой угрозы поступления в организм радиоактивных изотопов йода (но не более 10 дней). Прием алкоголя во время йодной профилактики категорически запрещен.

Для обеспечения высокой эффективности блокады щитовидной железы необходимо обеспечить прием препарата стабильного йода в возможно более короткие сроки после поступления в организм его радиоактивных изотопов. Практически стопроцентная блокада щитовидной железы наблюдается при профилактическом приеме препаратов стабильного йода за 6 часов до поступления радиоизотопов йода. Прием йодида калия через 1 час после попадания в организм радиоактивного йода (с вдыхаемым воздухом или пищевыми продуктами) уменьшает дозу облучения щитовидной железы на 90 %, через 2 часа — на 85 %, через 3 часа — на 60 %, через 6 часов — на 50 %, через 8 часов — на 0 %.

В результате Чернобыльской катастрофы значительная часть территории Республики Беларусь (около 23 %) оказалась загрязненной радионуклидами. Население пострадавших районов (свыше 2 млн. человек) подвергается избыточному, по отношению к естественному фону, радиационному воздействию. Суммарная доза облучения, получаемая населением, форми-

руется за счет внешнего и внутреннего облучения.

**Внешнее облучение** преобладает при высоких плотностях загрязнения территории. Наиболее эффективно ограничить воздействие внешнего облучения можно за счет отселения людей с загрязненных земель. Однако процесс этот весьма дорогостоящий, требующий значительных финансовых вложений.

В основном **внутреннее облучение** формируется за счет поступления радионуклидов с продуктами питания (около 94 %), в меньшей степени — с водой (около 5 %) и лишь очень небольшая часть приходится на ингаляционное поступление (около 1 %). Большая часть населения нашей республики получает дозу именно за счет внутреннего облучения. Для ограничения внутреннего облучения на пути радионуклидов в организм необходимо поставить целый ряд барьеров, которые будут препятствовать проникновению радионуклидов в организм, способствовать ускоренному выведению уже попавших в организм радионуклидов, а также снижать их неблагоприятное воздействие.

#### **СНИЖЕНИЕ ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА ОРГАНИЗМ ПРИ ПРОЖИВАНИИ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЯХ**

Все мероприятия по снижению дозовых нагрузок на население при проживании на загрязненных радионуклидами территориях можно условно разделить на две группы: мероприятия, проводимые государством на национальном уровне и мероприятия, проводимые населением самостоятельно.

Снижение дозовых нагрузок на уровне государства обеспечивается системой радиационного контроля, рациональным ведением сельского хозяйства, технологической переработкой сельскохозяйственного сырья, использованием пищевых добавок в пищевой промышленности, проведением санитарно-просветительной работы среди населения, назначением энтеросорбентов и комплексообразователей.

В процессе радиационного контроля измеряют мощность экспозиционной дозы; плотность потока частиц; активность радионуклидов в воде, воздухе, почве, продуктах питания, организме человека. Продукты питания и сырье для их производства, заготовленное на территории радиоактивного загрязнения, должны иметь сертификат с указанием места производства и содержания радионуклидов. Содержание радионуклидов в продукции не должно превышать республиканские допустимые уровни (РДУ) содержания радионуклидов цезия и стронция в пищевых продуктах и питьевой воде, которые регулярно пересматриваются.

Технологическая переработка сельскохозяйственного сырья позволяет снизить содержание радионуклидов в продуктах питания в несколько раз: в сливках, твороге в 4–6 раз; в сыре в 8–10 раз; в сливочном масле в 8–10

раз; в топленом масле в 90–100 раз.

Для медикаментозного ускорения выведения радионуклидов из организма используют энтеросорбенты (полифепан, белосорб-П и др.) и комплексообразователи (фerrацины и альгинаты).

Для снижения дозовых нагрузок на индивидуальном уровне население должно проводить мероприятия по снижению поступления радионуклидов в организм и ускорению их выведения. Их можно разделить на несколько групп.

1. *Мероприятия по снижению поступления радионуклидов в организм:*

а) ограничение и/или исключение из рациона продуктов питания, накапливающих радионуклиды в значительных количествах. По способности накапливать Cs-137 в порядке убывания основные овощные культуры распределяются следующим образом: сладкий перец, капуста, картофель, свекла, щавель, салат, редис, лук, чеснок, морковь, огурцы, помидоры. Обычно фрукты не содержат значительного количества радионуклидов. Черника, брусника, черная и красная смородина, клюква более интенсивно, а земляника, крыжовник, белая смородина, малина и рябина менее интенсивно накапливают радионуклиды. Больше всего радионуклидов накапливают грибы-аккумуляторы: польский гриб, горкуша, краснушка, моховик желто-бурый, рыжик, масленок осенний (особенно поздние), козляк, колпак кольчатый. Больше цезия содержится в мясе старых животных, стронция — в костях молодых. Наибольшая концентрация радионуклидов определяется в легких, почках, печени, наименьшая — в сале, жире. Содержание радиоактивных веществ относительно меньше в свинине, чем в говядине, баранине и мясе птицы. Загрязнение рыб цезием-137 зависит от места их обитания. Наиболее загрязненные — хищные и придонные рыбы (щука, окунь, карп, карась, сом, линь);

б) кулинарная и технологическая переработка продуктов питания (тщательная очистка грибов, корнеплодов и другой растительной продукции, промывание и вымачивание в солевом растворе, кипячение несколько раз со сливом отвара; снизить концентрацию радионуклидов в мясе можно путем следующей обработки: промыть в проточной воде, замочить в солевом растворе воды на 2–3 часа, слить, залить новой порцией воды, довести до кипения, опять слить, залить новой водой и варить до готовности; не рекомендуется употреблять мясо-костные бульоны, сало содержит меньше радионуклидов, чем другие продукты животноводства);

в) ограничение употребления «местных» продуктов, особенно лесных: грибов и ягод (для всех собираемых грибов и ягод проверка на содержание радионуклидов обязательна).

2. *Мероприятия, ограничивающие всасывание радионуклидов в организм:*

а) конкурентное замещение радионуклидов стабильными элементами:

цезия — калием и рубидием; стронция — кальцием; плутония — трехвалентным железом; при введении в рацион продуктов, содержащих эти стабильные элементы, они будут конкурировать с радиоактивными элементами, и снижать их всасывание;

б) связывание радионуклидов в желудочно-кишечном тракте достигается употреблением продуктов, богатых пектинами, фитатами, антоцианами.

3. *Мероприятия, направленные на ускорение выведения радионуклидов из организма:*

а) усиление перистальтики кишечника, которое обеспечивается употреблением продуктов, богатых клетчаткой: хлеб грубого помола, овощи (капуста, свекла, морковь), фрукты (чернослив), крупы (гречка, овсянка, пшено);

б) регулярный пассаж желчи и мочи обеспечивается употреблением дополнительного количества жидкостей (чай, соки, морсы, компоты); настоев трав, обладающих мочегонным и желчегонным действием (ромашка, зверобой, бессмертник, мята, шиповник, укроп);

в) стимуляция лимфатического дренажа проводится различными лекарственными травами: овес обыкновенный (семена, овсяные хлопья), листья черной смородины, плоды шиповника, подорожник, цветки календулы, кукурузные рыльца.

4. *Мероприятия по предотвращению действия радионуклидов на биологические молекулы:*

а) насыщение организма антиоксидантами, препятствующими перекисному окислению липидов (витамины А, С и Е);

б) исключение из рациона продуктов, содержащих прооксиданты (ревене и красная смородина);

в) насыщение организма микроэлементами (йод, цинк, медь, селен, кобальт).

5. *Рациональное питание*, основные элементы которого — сбалансированность и правильный режим питания. В действующих рекомендациях принято соотношение «белки : жиры : углеводы» как 1 : 2,5 : 4,3 по энергетической ценности. Употребление достаточного количества полноценного белка повышает устойчивость к хроническому внутреннему облучению; снижает всасывание радионуклидов; повышает резистентность организма к инфекциям. Нельзя злоупотреблять пищей, богатой жирами, так как они — основа для перекисного окисления липидов; участвуют в образовании радиотоксинов (поражается иммунная система); проводники в организм и накопители гидрофобных ксенобиотиков, которые потенцируют действие ионизирующего излучения (пестициды).

6. *Употребление пищевых добавок* (зерна проросшей пшеницы, мипровит, абисиб, спирулина) направлено на повышение устойчивости организма к радиационному воздействию и выведение радионуклидов из ор-



ганизма.

7. *Мероприятия по повышению адаптационно-компенсаторных возможностей организма:* соблюдение режима труда и отдыха; прием адаптогенов; уменьшение психологической дизадаптации; массаж; гидротерапия; светолечение; электролечение; теплогрязелечение; минеральные воды; витаминoproфилактика.

## САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ

- I. Основными принципами обеспечения радиационной безопасности при практической деятельности являются:**
  1. Принцип нормирования.
  2. Принцип обоснования.
  3. Принцип невмешательства.
- II. Законом Республики Беларусь «О радиационной безопасности населения» устанавливаются следующие пределы доз облучения:**
  1. Для населения средняя годовая эффективная доза равна 0,001 Зв.
  2. Для населения эффективная доза за период жизни (70 лет) равна 35 бэр.
  3. Для работников средняя годовая эффективная доза равна 0,02 Зв.
- III. В случае радиационной аварии на АЭС блокада щитовидной железы у детей младше трех лет проводится...**
  1. Йодидом калия по 125 мг на прием в течение 10 суток.
  2. Йодидом калия по 60–65 мг на прием в течение 10 суток.
  3. Йодидом калия по 125 мг на прием в течение 2 суток.
- IV. Что из перечисленных физико-технических мероприятий способствует снижению дозовых нагрузок на пациентов при рентгенологических исследованиях?**
  1. Фильтрация первичного пучка с целью задержки длинноволновой части рентгеновского излучения.
  2. Фильтрация первичного пучка с целью задержки коротковолновой части рентгеновского излучения.
  3. Уменьшение кожно-фокусного расстояния.
- V. В НРБ-2000 величина дозового предела при равномерном облучении всего тела для населения установлена:**
  1. 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год.
  2. 1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год.
  3. 2,4 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 24 мЗв в год.
- VI. Нормы радиационной безопасности НРБ-2000 устанавливают сле-**

**дующие категории облучаемых лиц:**

1. Персонал; все население, включая лиц из персонала, вне сферы и условий их производственной деятельности.
2. Население, проживающее на территориях с плотностью загрязнения Cs-137 от 1 до 40 Ки/кв.км.
3. Население, получающее дополнительно, за счет техногенно измененного фона, более 1 мЗв в год.

**VII. Какие источники ионизирующих излучений относятся к открытым?**

1. Радионуклидные источники излучения, устройство которых исключает поступление содержащихся в них радиоактивных веществ в окружающую среду.
2. Радионуклидные источники излучения, при использовании которых возможно поступление содержащихся в них радиоактивных веществ в окружающую среду.
3. Радионуклидные источники излучения, при работе с которыми персонал может подвергаться только внешнему облучению.

**VIII. Какие требования предъявляются к рентгенологическим исследованиям беременных женщин?**

1. Возможно проведение исследования с профилактической целью.
2. Исследования проводятся только по клиническим показаниям с участием лечащего врача.
3. По возможности исследование должно проводиться во вторую половину беременности.

**IX. Каковы должны быть мотивы для проведения повторных рентгенологических исследований пациентов?**

1. Появление нового заболевания, ургентные состояния.
2. Направление на МРЭК (медико-реабилитационную экспертную комиссию).
3. Уточнение диагноза при его недостаточной обоснованности.

**X. Стронций-90 можно конкурентно замещать...**

1. Калием.
2. Кальцием.
3. Цезием.

**ЛИТЕРАТУРА**

**Основная**

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под общ. ред. А. Н. Стожарова. 2-е изд., пераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 143 с.; С. 101–119, 130–137.
2. *Текст лекции № 2.*

*Дополнительная*

1. *Нормы радиационной безопасности (НРБ–2000). ГН 2.6.1.8.–127–2000.* Минск: РЦГЭ МЗ РБ, 2000. 115 с.
2. *Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП–2002) Санитарные правила и нормы 2.6.1.8–8–2002.* Минск: РЦГЭ МЗ РБ, 2002. 100 с.
3. *Радиационная медицина : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.]; под общ. ред. А. Н. Стожарова.* Минск: МГМИ, 2000. 154 с.; С. 110–129, 140–148.

Репозиторий БГМУ

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 5

### Тема: ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Знание механизмов взаимосвязи между воздействием человека на окружающую среду и его заболеваемостью позволит выяснять причину заболевания и выбрать оптимальные для пациента лечебно-профилактические мероприятия.

**Цель занятия:** научить студентов видеть непосредственную связь между воздействием факторов среды на организм человека и возникновением у него определенной патологии; понимать подходы к устранению подобного влияния.

#### **Задачи:**

- 1) рассмотреть роль и место общей экологии и экологической медицины в современной системе знаний.
- 2) разобрать основные понятия общей и медицинской экологии.
- 3) подчеркнуть роль экологической медицины в понимании механизма возникновения «средовых заболеваний».

**Требования к исходному уровню знаний.** Для полного освоения темы занятия необходимо повторить основные понятия общей экологии (биология и медицинская генетика), свойства тяжелых металлов (общая химия), основные характеристики неионизирующих электромагнитных излучений (медицинская физика).

#### **Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Понятия: «биосфера», «экосистема».
2. Понятие «тяжелые металлы». Перечислить наиболее распространенные из них.
3. Характеристика неионизирующих электромагнитных излучений. Назвать спектр электромагнитных излучений по мере увеличения длины волны.

#### **Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Основные понятия общей экологии: экосистема и ее составляющие, продуценты, консументы, редуценты, трофические уровни, пищевые цепи.
2. Основные типы экосистем, особенности городских экосистем и агроэкосистем.
3. Экологические факторы: определение, классификация, краткая ха-

рактеристика, понятие о лимитирующем факторе.

4. Экологическая медицина: определение, цели, задачи. Экологические факторы и здоровье населения.

5. Экологическая характеристика гидросферы. Эвтрофикация водоемов. Роль качества питьевой воды в формировании стоматологической патологии.

6. Экологическая оценка состояния водных ресурсов в Республике Беларусь, экологически зависимая заболеваемость населения.

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

### ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ЭКОЛОГИИ

Термин «экология» предложен в 1869 г. немецким биологом Эрнстом Геккелем. В буквальном смысле слова экология — это наука о живых организмах в местах их обитания. В современном понятии **экология — наука о взаимоотношениях между живыми организмами и средой их обитания с учетом изменений, вносимых в среду деятельностью человека.**

Классификация экологии осуществляется по конкретным объектам и средам исследования. Выделяют экологию микроорганизмов, растений, человека и животных.

Согласно учению В. И. Вернадского, **биосфера представляет собой оболочку Земли, включающая в себя как область распространения живого вещества, так и само живое вещество.** Биосфера возникла на Земле около 4 млрд. лет назад. При этом отдельные организмы не только сами приспосабливались к физической среде, но и своей деятельностью приспосабливали среду к собственным биологическим потребностям. Путь развития биосферы именуется **биогеозом**. На конечном этапе развития биосферы появился человек и своей деятельностью стал вносить изменения в окружающую среду. Этот период «разумного развития биосферы» принято называть **ноогенезом** и, следовательно, биосфера трансформируется в **ноосферу**.

Нижняя граница биосферы опускается на 2–3 км ниже поверхности суши, на 1–2 км ниже дна океана, а верхней служит озоновый слой на высоте 20–25 км, выше которого жизнь исключена из-за мощного УФ излучения.

Основная структурная единица в экологии — экосистема.

**Экосистема — совокупность различных видов организмов и среды их обитания, находящихся во взаимосвязи друг с другом.**

Любая экосистема включает в себя две главные составляющие:

а) **биоценоз** — совокупность живых организмов;

б) **экоtop** — совокупность абиотических факторов места обитания.

Экосистемы характеризуются потоком энергии, круговоротом веществ и развитыми информационными связями (потоки физических и хи-

мических сигналов).

По способу получения энергии живые организмы, входящие в состав биоценоза, делятся:

- на *продуценты*, которые способны из простых неорганических соединений ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ) и минеральных биогенов синтезировать сложные органические соединения;
- *консументы* (первого, второго и т. д. порядков), использующие в качестве источника вещества и энергии готовые органические соединения;
- на *редуценты*, питающиеся органическим веществом и при этом разлагающие его до простых неорганических соединений.

Сообщество организмов, использующих одну и ту же форму энергии (лучистую, или энергию в форме эквивалентного количества вещества), называется **трофическим уровнем**. Перенос энергии в виде эквивалентного ей количества вещества от одного вида организмов к другим называют **пищевой цепью**. Функционирование пищевых цепей имеет свои особенности. Среди них наибольшее значение с точки зрения медицинской экологии имеют:

- 1) принцип концентрирования токсических веществ в трофической цепи;
- 2) принцип прогрессивного уменьшения биомассы и доступной энергии при движении вещества по пищевой цепи — чем длиннее пищевая цепь, тем меньше вещества на выходе можно получить.

Каждое звено уменьшает количество доступной энергии и увеличивает количество ксенобиотиков примерно на порядок.

В зависимости от источника энергии выделяют 4 типа экосистем:

1. Природные, субсидируемые только солнечной энергией. К ним относятся океаны, занимающие огромные площади и являются гомеостатом Земли.
2. Природные, субсидируемые не только Солнцем, но и другими дополнительными природными источниками энергии (приливы, течения). К ним относятся экосистемы мелководий, тропические леса.
3. Природные, дополнительно субсидируемые человеком. К ним относятся агроэкосистемы. Для них характерно преобладание искусственного отбора над естественным и обедненный видовой состав (высевание сельскохозяйственных культур с заданными свойствами); ежегодное изъятие из круговорота веществ биогенных элементов в виде урожая сельскохозяйственной продукции; неустойчивость и зависимость от регулярного внесения в почву органических и неорганических удобрений с целью сохранения экологического равновесия; зависимость от дополнительного орошения и использования гербицидов.
4. Индустриально-городские, субсидируемые сжиганием ископаемого топлива. Они характеризуются:

- интенсивным расходом энергии на единицу площади (в городе расходуется около 87 млн. ккал на человека в год) и большими потребностями поступления веществ извне (продукты питания, питьевая вода);
- способностью к разрушению и деградации окружающих естественных экосистем (эрозии почв, эвтрофикации водоемов);
- мощным и более ядовитым потоком отходов.

В силу этих и других причин нагрузки, которые испытывает популяция городского населения, во много раз превышают те, которым подвергается коренное население естественных экосистем. В городах повышен уровень заболеваемости населения. Особенности заболеваемости связаны с тем, что:

- 1) городское население подвергается более мощному экологическому и психоэмоциональному стрессу на фоне десинхронизации биологических ритмов;
- 2) деформированность видимой среды сопровождается нарушениями движения глаз, ухудшением самочувствия и возникновением ощущения дискомфорта;
- 3) повышенная интенсивность шума нарушает равновесие возбуждающих и тормозных процессов в ЦНС, приводит к снижению внимания и работоспособности, и к переутомлению;
- 4) тесный контакт людей приводит к изменению инфекционной заболеваемости и росту вирусных и внутрибольничных инфекций.

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ

*Экологический фактор* — любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живые организмы.

Экологические факторы делятся на две категории:

- **абиотические** (факторы неживой природы);
- **биотические** (факторы живой природы).

Степень присутствия или отсутствия каждого из них существенно отражается на жизнеспособности организмов. Фактор, значение которого (как максимальное, так и минимальное) выходит за пределы устойчивости биологического вида и жестко ограничивает его распространение, называется лимитирующим.

К **биотическим** факторам относят взаимоотношения между живыми организмами. Особый вид биотических факторов — социально-культурные факторы.

К основным **абиотическим** факторам относятся *физические* (лучистая энергия, освещенность; температура; влажность воздуха; атмосферное давление; магнитное поле Земли; ионизирующее излучение; рельеф местности и др.) и *химические* (состав атмосферы, почвы и др.). Рассмотрим некоторые абиотические факторы с точки зрения их возможного негатив-

ного влияния на здоровье человека.

### **Лучистая энергия Солнца**

Вся энергия, получаемая поверхностью Земли, исходит от Солнца. У поверхности земли ультрафиолетовая часть составляет 1 %, видимая — 40 % и инфракрасная часть — 59 %.

#### ***А. Видимый свет. Освещенность***

Недостаточная освещенность приводит к так называемой «зимней депрессии», что особенно характерно для женщин. Основные признаки «зимней депрессии» (сезонного эмоционального заболевания): депрессия, снижение работоспособности, увеличенная потребность в углеводах и увеличение веса, трудности с пробуждением, уменьшение социальных контактов.

Реализация действия видимой части спектра на организм человека происходит путем модуляции активности *циркадных циклов* или биологических часов, что осуществляется за счет изменений уровня *мелатонина* (синтезируется в эпифизе из триптофана). Максимальные уровни мелатонина обнаруживаются в крови людей в период между 23 и 5 часами утра. Мелатонин тормозит выработку тропных гормонов гипофиза, что сказывается на таких функциях как частота дыхания, давление крови, температура, сон, половые функции, обмен воды, жиров, других метаболических процессах.

Зимняя депрессия этиотропно лечится только светом (светотерапия в утренние часы с интенсивностью в 10000 люкс 15 минут).

#### ***Б. Ультрафиолетовое излучение (УФИ)***

Выделяют 3 диапазона УФИ:

1) **УФА** — 400–320 нм — длинноволновое, хорошо проникающее в кожу; доминирующая часть солнечной радиации, почти не поглощается в атмосфере и достигает поверхности Земли, основное действие — эритемно-загарное;

2) **УФВ** — 320–280 нм — средневолновое, оказывает антирахитическое и слабое бактерицидное действие; легко поглощается и рассеивается в запыленном воздухе, поэтому жители промышленных городов испытывают «ультрафиолетовое голодание»;

3) **УФС** — 280–200 нм — коротковолновая, бактерицидная радиация; повреждает биологическую ткань; поглощается в стратосфере; испускается бактерицидными лампами и при электросварке.

Главная мишень действия УФИ — кожа человека, так как глубже оно не проникает. На клеточном уровне существует 3 «мишени» для УФИ: ДНК, белки и липиды.

#### ***Естественные механизмы защиты от УФИ:***

1) образование загара, связанного с появлением меланина (меланин



синтезируется из тирозина, способен поглощать фотоны, является «ловушкой» свободных радикалов; связывает ионы железа и тем самым препятствует перекисному окислению липидов);

2) ороговение верхнего слоя кожи;

3) образование из транс- цис-формы урокановой (уроканиновой) кислоты, которая выделяется с потом человека и способна захватывать кванты УФИ.

Критерий чувствительности кожи к действию УФИ — **ожоговый порог загара (ОПЗ)** — время первичного воздействия УФИ (до формирования пигментации), после которого возможна безошибочная репарация ДНК. По степени чувствительности к действию УФИ различают 4 типа кожи:

- особо чувствительная светлая кожа — ОПЗ 5–10 минут;
- чувствительная кожа — ОПЗ 10–20 минут;
- нормальная кожа — ОПЗ 20–30 минут;
- нечувствительная кожа ОПЗ — 30–40 минут.

С целью снижения риска повреждающего действия УФИ на кожу необходимо:

- 1) ограничивать время нахождения на солнце между 10 и 16 часами;
- 2) помнить, что солнечный свет сильно отражается от песка, снега, льда, бетона, что может увеличивать повреждающее действие УФИ до 50 %;
- 3) носить стеклянные солнцезащитные очки, отфильтровывающие до 100 % УФИ;
- 4) применять солнцезащитные кремы с фактором защиты от солнечного излучения (SPF) по крайней мере 15, их следует наносить за 30 минут перед принятием солнечных ванн;
- 5) вводить в организм достаточное количество антиоксидантов.

### **Последствия действия УФ излучения на организм человека**

Эффекты действия УФИ могут быть разделены на 2 основные группы: детерминированные и стохастические. Степень тяжести клинических проявлений детерминированных эффектов изменяется соответственно дозе УФИ; существует порог, ниже которого эффекты не проявляются. Из-за ограниченной проникающей способности квантов УФИ первичные эффекты у человека будут ограничены кожей и глазами. Ранние детерминированные эффекты действия УФИ на глаз — фотокератит и конъюнктивит, которые проявляются спустя 2–14 часов после облучения. К поздним эффектам относится катаракта (УФИ при длительном воздействии вызывает димеризацию нерастворимого белка хрусталика). Считается, что УФВ наиболее активно индуцирует развитие катаракты. Люди с удаленным хрусталиком обладают повышенным риском повреждения сетчатки даже от воздействия УФА.

К стохастическим эффектам относятся злокачественные новообразо-

вания кожи: базально-клеточная и сквамозно-клеточная карцинома и меланома. Факторы риска развития опухолей кожи: светлая, слабо пигментированная кожа; солнечные ожоги, полученные в возрасте до 15 лет; наличие большого количества родимых пятен, особенно пятен более 1,5 см в диаметре.

С воздействием УФИ связывают и иммунодепрессивный эффект. УФИ изменяет распространение субпопуляции циркулирующих лимфоцитов, уменьшает число и ингибирует функцию клеток Лангерганса в коже.

### **Геомагнитные факторы**

Воздействие магнитного поля на человека тесно связано с солнечной активностью. В результате процессов, происходящих на Солнце, в межпланетное пространство испускается излучение широкого спектра (от инфракрасного до рентгеновского), а также поток ускоренных заряженных частиц, которые образуют первичное космическое излучение.

В результате осевого вращения и движения по орбите в металлическом ядре Земли протекают токи в триллионы ампер, которые и обуславливают наличие магнитного поля. Магнитное поле Земли служит защитой от солнечного ветра, который весьма сложно взаимодействует с магнитосферой Земли. В результате этого взаимодействия изменяется напряженность магнитного поля Земли.

С солнечной активностью связано развитие мировой магнитной бури. На человека во время магнитной бури воздействуют:

- 1) микропульсация магнитного поля Земли (наибольшее влияние на нервную систему человека оказывает пульсация с частотой 0,1 Гц);
- 2) инфразвук (распространяется из области высоких широт);
- 3) изменение интенсивности УФИ, метеоусловий, атмосферного электричества;
- 4) изменение радиоактивности за счет эксгаляции радона.

Геомагнитные бури давно уже учитываются, в частности, при лечении кардиологических больных — магнитные бури в сочетании с пониженным атмосферным давлением дают преобладание числа инфарктов, в сочетании же с резким повышением атмосферного давления рост числа инсультов. Имеет место увеличение числа обострений хронических неспецифических заболеваний легких, увеличивается частота преждевременных родов. Помимо этого в организме человека происходит образование свободных радикалов, приводящих к окислительному стрессу.

*Основные принципы профилактики неблагоприятного действия магнитных бурь:*

- организационные мероприятия (составление прогнозов магнитных

бурь, постановка больных на диспансерный учет);

- ограничение физической нагрузки и снижение калорийности питания во время магнитной бури;
- заблаговременный прием антиоксидантов, седативных средств и легких антикоагулянтов.

## ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

*Экологическая медицина (медицинская экология) — комплексная научная дисциплина, рассматривающая все аспекты воздействия окружающей среды на здоровье населения с акцентом внимания на средовых заболеваниях. Как самостоятельная дисциплина оформилась в Кливленде в 1986 году. Тесно связана с биологией, терапией, эпидемиологией, гигиеной, физикой, химией, биохимией и др.*

**Основные задачи медицинской экологии следующие:**

- формирование у медиков экологического мировоззрения и мышления;
- сохранение среды обитания человека;
- экологическая индикация загрязнения природных сред;
- прогнозирование и оценка возможных отрицательных последствий воздействия деятельности человека на окружающую среду в непосредственной связи со здоровьем населения;
- исследование связи между заболеваемостью населения и антропогенными воздействиями на окружающую среду.

После 19 столетия в структуре заболеваемости населения стала возрастать доля хронических заболеваний, которые в настоящий момент времени преобладают. К ним следует отнести онкологические заболевания, заболевания соединительной ткани, иммунной системы, нейродегенеративные и аутоиммунные заболевания, эффект хронической усталости и др. Причин этому, как считают, несколько:

- накопление в окружающей среде чужеродных химических соединений (в настоящий момент в природе уже присутствует 60000 химических соединений и каждый год добавляется еще 2000);
- истощение систем, отвечающих за обезвреживание токсических соединений.

По мнению многих ученых, основные причины ухудшения состояния здоровья населения — отрицательное влияние факторов окружающей среды и неправильное отношение человека к своему здоровью. С этими факторами связано около 70 % всех случаев заболеваний, около 60% случаев неправильного физического развития и более половины случаев смерти. Становится очевидным, что диагностика, лечение и профилактика ряда хронических заболеваний будет иметь свои особенности.

*Развитие средового заболевания индуцируется пролонгированным*

воздействием экологических факторов, часто действующих на уровне ниже порогового.

Хроническое воздействие факторов внешней среды способно инициировать патологический процесс за счет декомпенсации процессов обезвреживания, повреждения иммунной и других систем организма (ЖКТ, эндокринной системы), непосредственного повреждения органа-мишени.

Важную роль в развитии экологического заболевания играют наследственность, пищевой статус, особенности токсического воздействия, действие аллергенов, свободно-радикальный стресс (обусловлен действием физических факторов, а также нахождением в организме тяжелых металлов, органических соединений). Примерами средовых заболеваний могут служить множественная химическая чувствительность, синдром «больного здания», «болезнь легионеров», болезнь Минамата.

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОСФЕРЫ

*Гидросферой называют совокупность всех вод Земли: материковых (поверхностных, почвенных, глубинных), океанических и атмосферных.*

Общий объем запасов воды на Земле 1,4 млрд. куб. км. Из всего этого объема 91–92 % — соленая морская вода, в которой содержится примерно одна чайная ложка солей на стакан воды. Лед, содержащийся на полюсах и в горах, составляет еще 2,2 %. Пресная вода рек, озер, подземных водоносных горизонтов — всего 0,6 %. Остальное — пары воды в атмосфере.

*Основные функции воды на Земле:*

- стабилизация условий среды на Земле (температуры, газового состава атмосферы);
- планетарная транспортная система;
- планетарный аккумулятор органических и неорганических веществ;
- универсальный растворитель (образование коллоидного раствора для биосистем).

Факторы экологического неблагополучия гидросферы можно условно разделить на 4 группы:

### **1. Физические:**

а) тепло (самый мощный источник загрязнения водоемов — атомные электростанции);

б) мутность (сточные воды карьеров и каменоломен делают воду мутной, ухудшается проникновение света и падает биологическая продукция кислорода — донные организмы покрываются слоем осадка и гибнут);

в) скорость течения воды (причина — строительство гидротехнических сооружений — сужение реки приводит к увеличению скорости течения, в результате чего гибнут многие организмы и растения; наоборот, зарегулирование стока рек ведет к замедлению течения, к насыщению воды

биогенами, что сопровождается массовым развитием фитопланктона, являющегося причиной массового отравления птиц, животных, отдельных вспышек желудочно-кишечных заболеваний неясной этиологии).

**2. Химические токсические вещества**, к которым относят тяжелые металлы, всевозможные синтетические органические соединения. Большая часть из них — яды. Эти соединения растворимы в воде, концентрируются в пищевых цепях и могут попадать в организм человека, где взаимодействуя с рядом ферментов, подавляют их активность. Дадим краткую характеристику некоторых контаминатов, которые могут находиться в питьевой воде.

*Ртуть.* Техногенно рассеиваемая ртуть отличается геохимической подвижностью по сравнению с природными (преимущественно сульфидными, труднорастворимыми, малолетучими) соединениями ртути и поэтому более опасна в экологическом отношении. Метилирование неорганической ртути в донных отложениях озер, рек и других водотоков, а также океанов является ключевым этапом процесса миграции ртути по пищевым цепям водных экосистем. Наиболее токсичные алкилртутные соединения с короткой цепью — метилртуть, этилртуть. Они больше накапливаются в организме, лучше растворяются в липидах, легче проникают через биологические мембраны. Чувствительность нервной системы к метил- и этилртути выше, чем к другим соединениям. Метилртуть стабильна в организме, другие алкилртутные соединения быстрее трансформируются в неорганические. При всех путях поступления ртуть накапливается преимущественно в почках, селезенке и печени. Органические соединения, хорошо связываясь с белками, легко проникают через гематоэнцефалический и плацентарный барьеры и накапливаются в головном мозге, в том числе и плода. Поступление в организм органических соединений ртути нарушает обмен белков, цистеина, аскорбиновой кислоты, токоферолов, железа, меди, марганца, селена.

Выделение ртути из организма осуществляется через желудочно-кишечный тракт, почками, потовыми и молочными железами, легкими.

**Болезнь Минамата** — интоксикация метилртутью алиментарного происхождения, обусловленная употреблением в пищу рыбы и других гидробионтов, выловленных из водоемов, загрязненных ртутью (Япония). Заболевание характеризуется поражением ЦНС, расстройством речи, атаксией, ухудшением зрения и слуха. У детей, рожденных от считавшихся здоровыми матерей, через некоторое время после рождения развивались симптомы поражения ЦНС — от легких спастических параличей до тяжелого психического поражения и слабоумия.

*Свинец.* С водой и атмосферным воздухом поступает 10 % находящегося в организме свинца. При пероральном поступлении свинец, в зависимости от соединения, в котором он находится, усваивается взрослыми

людьми в среднем на 10 % (пищевой — на 8 %, водный — на 10–12 %), а детьми на 30–40 %. *Свинец способен формировать с фосфатом в костной ткани и зубах труднорастворимое соединение — фосфат свинца и поэтому находится там весьма долгий период (биологический период полувыведения из кости составляет 30 лет).*

Механизм токсического действия свинца заключается в блокировании функциональных SH-групп белков, в т. ч. ферментов. *К лицам повышенного риска относят новорожденных, детей, беременных женщин, больных анемией, лиц с заболеваниями почек.* Свинец способен преодолевать плацентарный барьер (особенно с 12-й недели беременности), что приводит к психическим расстройствам и умственной отсталости детей.

Хроническая интоксикация свинцом развивается медленно. На ранних ее этапах может наблюдаться лишь снижение адаптационных способностей организма и устойчивости к действию патогенных агентов. Затем появляются общая слабость, головная боль, головокружение, неприятный вкус во рту, тремор конечностей, потеря аппетита, уменьшение массы тела, признаки анемии, запоры, боль в животе. Могут обнаруживаться диффузная дегенерация миокарда, нарушения психического развития детей, хроническая нефропатия.

*Ранними специфическими и объективными признаками хронического сатурнизма считают:* повышение уровня свинца в крови более 0,4 мг/л; увеличение содержания гематопорфирина в моче более 0,1 мг/л; снижение активности дегидратазы дельта-аминолевулиновой кислоты в крови и увеличение содержания аминокислоты в моче.

*Основные способы снижения содержания свинца в воде:*

- для приготовления пищи и питья использовать только холодную воду;
- перед набором воды из водопроводного крана необходимо дать ей стечь в течение нескольких минут;
- использовать фильтр из активированного угля.

*Кадмий.* В среднем в организм человека поступает около 10 нг кадмия в день. Он обладает высокой способностью кумулироваться в тканях и относится к числу сильно ядовитых веществ. В животных тканях 2/3 кадмия связано с металлотioneином. Комплекс кадмия с тioneином, благодаря низкой молекулярной массе, фильтруется через почечные клубочки и распадается в почках, высвобождая кадмий. В виде металлотioneина кадмий не токсичен. Почки — главная мишень биологического действия кадмия. Кадмий способствует нарушению обмена железа и кальция. Считают, что основной механизм токсического действия кадмия — блокирование сульфгидрильных групп ферментов. Курильщики могут содержать в 3–4 раза большие концентрации кадмия.

Хронический кадмиевый токсикоз — болезнь «итай-итай» или «ох-

ох» — наблюдался в Японии у жителей бассейна реки Джинцу, куда сбрасывали стоки, загрязненные кадмием. Первыми выраженными симптомами заболевания были сильная боль в пояснице и нижних конечностях, явления остеомаляции, иногда остеопороза. У больных отмечалась дисфункция почек (протеинурия, аминокацидурия, глюкозурия). Остеомаляцию и остеопороз рассматривают как следствие канальцевой дисфункции почек (помимо этого имеет место нарушение обмена фосфатов и витамина D<sub>3</sub>). Накопление в организме кадмия может быть сопряжено с почечной артериальной гипертензией и мутагенным эффектом.

*Медь.* Медь — составная часть многих металлоферментов. Механизм токсического действия меди связан с блокадой сульфгидрильных групп белков, в том числе ферментов. Всасывание меди происходит в ЖКТ (40 %), из этого количества — 15 % в желудке. Высокая гепатотоксичность меди и ее соединений связана с ее локализацией в лизосомах гепатоцитов и со способностью повышать проницаемость мембраны митохондрий. При хронической интоксикации медью и ее солями возможны функциональные расстройства нервной системы (обнаружено сродство меди к симпатической нервной системе), печени и почек, изъязвление и перфорация носовой перегородки.

*Фтор.* Фтор в концентрации около 1 мг/л предотвращает кариес и остеопороз. Недостаток в воде фтора ведет к кариесу (менее 0,5 мг/л). Основная причина кариеса — образование растворимой формы апатита (основного вещества ткани зуба). Этот процесс усугубляет избыточное употребление углеводов, при распаде которых образуются органические кислоты (лимонная), способные связывать кальций и растворять апатит. По кариесу эндемичны: Беларусь, Хабаровск, Сочи, Каунас, Архангельск.

Наоборот, избыток (более 1,8 мг/л) фтора ведет к флюорозу. Считается, что при избытке фтора снижается активность фосфатазы, освобождающей неорганический фосфор в амелобластах, что сопровождается нарушением минерализации эмали. Тяжелая степень флюороза поражает не только зубы, но может вызвать избыточное отложение фтора в костях с развитием распространенного остеосклероза и окостенением связок. Природные зоны эндемического флюороза с тяжелым заболеванием людей и животных описаны в Северной и Южной Африке и Индии.

*Хлор* широко используется для обеззараживания воды от бактерий, вирусов и других микроорганизмов. Уровень остаточного хлора в воде после обеззараживания регламентируется (свободный 0,3–0,5 мг/л, связанный 0,8–1,2 мг/л). Тем не менее, существует ряд проблем, которые касаются присутствия хлора в воде: неприятный вкус; риск возникновения рака мочевого пузыря и рака прямой кишки; образование в воде хлорзамещенных производных метана, которые способны индуцировать онкологические заболевания.

Именно обеззараживание питьевой воды хлором служит источником образования в водопроводе диоксинов — полихлорированных дибензо-п-диоксинов и полихлорированных дибензофуранов — самых сильных токсичных соединений для теплокровных организмов. Диоксины образуются в результате хлорирования фенолов.

*Летучие органические соединения (ЛОС)* представляют опасность даже в незначительных концентрациях. К ЛОС относятся бензол, тетрахлористый углерод, винилхлорид, толуол, дихлорэтан и др. побочные продукты при перегонке нефти, при производстве ядохимикатов, красок, клеев, парфюмерных изделий и т. д. ЛОС проникают в питьевую воду в результате промышленных утечек, промышленных аварий и халатности. Основной путь проникновения в воду — это попадание на поверхность почвы, миграция в глубь и достижение водоносного слоя. При хроническом воздействии ЛОС могут привести к повреждению печени, почек, нервной системы; многие из них обладают выраженным канцерогенным эффектом (бензол, толуол, дихлорметан, этан, винилхлорид и т. д.). Эффективный способ, снижающий концентрацию ЛОС в воде, — использование фильтров с активированным углем.

**3. Химически необходимые соединения.** К ним относятся биогенные элементы, источники которых — удобрения, атмосферные осадки и др. Насыщение биогенными элементами водоема приводит к его *эвтрофикации*.

*Эвтрофикацией называется обогащение водоема биогенами, повышающее его биологическую продуктивность (рост фитопланктона).*

Чтобы глубже понять проблему эвтрофикации надо различать две жизненные формы водных растений: бентосную и фитопланктонную.

*Бентосные растения* развиваются, прикрепившись или укоренившись на дне. Они обеспечивают пищу и убежище водным животным, поддерживают высокое содержание растворенного кислорода на глубине.

*Фитопланктон* состоит из множества видов водорослей, представляющих собой отдельные клетки, их скопления или «нити», которые держатся вблизи поверхности воды или прямо на ней, что является важнейшей причиной помутнения воды. На поверхности воды может плавать «фитопланктонная пена», поглощающая практически весь свет. Кислород, выделяемый планктоном при фотосинтезе, перенасыщает верхний слой воды и улетучивается с ее поверхности. У фитопланктона очень короткий жизненный цикл, следовательно, его быстрый рост и размножение компенсируется отмиранием, ведущим к накоплению огромного количества детрита. Питаясь детритом, бактерии-редуценты потребляют в процессе дыхания кислород, сокращая тем самым его содержание в воде. Когда растворенного кислорода не остается, бактерии выживают за счет анаэробного брожения. От этого вода мутнеет, гибнут растения, сокращается концентрация растворенного кислорода, задыхаются обитающие на глубине рыбы и мол-



люски. Иными словами идет медленное заболачивание водоема.

*Болота* — это участки суши, покрытые небольшим слоем воды в определенных периоды времени и более или менее высыхающие в другие. Болота играют жизненно важную роль, отфильтровывая из воды осадок и питательные элементы перед тем, как она попадает в озера и реки. Важны они и для пополнения грунтовых вод. Кроме того, болота, обогащенные биогенами, представляют собой чрезвычайно продуктивные экосистемы, в которых обитают стаи водной дичи и другие дикие животные.

Таким образом, *эвтрофикация* — это смена экосистемы, основанной на бентосной растительности, на систему, основанную на фитопланктоне.

Эвтрофикация в геологических масштабах времени — естественный процесс развития природных водоемов, приводящий к их постепенному заболачиванию. Однако деятельность человека зачастую инициирует и ускоряет этот процесс, что дает право говорить об антропогенной эвтрофикации.

*Основные источники биогенов:* удобрения, вымываемые с полей (источник нитратов, фосфатов); отходы животноводства и птицеводства; не освобожденные от биогенов канализационные стоки; фосфатсодержащие детергенты; кислотные дожди (в частности азотная кислота — источник нитрат-иона).

#### **4. Биологические.**

Согласно классификации ВОЗ можно выделить несколько групп заболеваний, связанных с экологическим состоянием гидросферы:

- заболевания от зараженной воды (тиф, холера, дизентерия, гепатит, полиомиелит);
- заболевания кожи и слизистых (трахома, проказа);
- заболевания, вызываемые моллюсками (шистосомоз, ришта);
- заболевания, вызываемые живущими и размножающимися в воде насекомыми (малярия, желтая лихорадка).

*Источники экологического неблагополучия гидросферы:*

1) состояние атмосферы (одна капля дождя омывает 16 л воздуха, вбирая в себя оксиды азота, серы становится более кислой и как следствие — кислотные осадки);

2) природная вода растворяет значительное количество гидрофильных ингредиентов, сюда относят 8 основных ионов (хлор, сульфат-ион, бикарбонат, карбонат, натрий, калий, магний и водородный ион); следует помнить, что между жесткостью воды и заболеваниями сердечно-сосудистой системы имеется обратная корреляция;

3) регулирование стока (примером может служить экологическая катастрофа на Азовском море);

4) нефтеперерабатывающие заводы (сточные воды содержат нефть, фенолы, сернистые соединения);

- 5) предприятия химической промышленности (главную роль в загрязнении стоков играют детергенты);
- 6) машиностроительные предприятия (весь спектр тяжелых металлов, масла, фенолы);
- 7) сельское хозяйство (мощный поток биогенов);
- 8) предприятия пищевой промышленности (органические вещества от винных и дрожжевых заводов, молокозаводов и т. д.).

### **СИТУАЦИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Основной объем сточных вод, поступающих в водные объекты, образуется в сфере жилищно-коммунального хозяйства (59 %); на промышленность и сельское хозяйство приходится соответственно 28 % и 13 % стоков. Несовершенство очистных сооружений, неэффективность их работы, а также недостаточность их мощностей в целом ряде городов республики способствует поступлению в водные объекты вод, в которых остаточные концентрации загрязняющих веществ нередко превышают нормативные показатели. Доля сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, в общем объеме водоотведения в речные системы в целом по республике составляет 83 % (от 50 % в Минской до 100 % в Гомельской области).

Главным поставщиком загрязняющих веществ в водные объекты выступает жилищно-коммунальное хозяйство, на долю которого приходится 71 % фосфатов и 94 % нитритного азота. Роль промышленности значительна в формировании химических нагрузок по таким химическим веществам как молибден (100 %), фенолы (87 %) и фтор (59 %). Наибольшую нагрузку сточных вод, содержащих загрязняющие вещества, испытывают реки бассейна Днепра, Березина и Свислочь. Весьма значительные количества загрязняющих веществ сбрасываются в реки с коммунально-промышленными стоками крупных городов.

Актуальна для Беларуси проблема качества подземных вод, поскольку высокая проницаемость пород зоны пресных вод предопределяет их слабую защищенность от поверхностного загрязнения. Ухудшение качества подземных вод проявляется, прежде всего, в увеличении минерализации, содержания хлоридов, сульфатов, нитратного и аммонийного азота.

Аномальные гидрогеохимические зоны формируются в районах крупных промышленных городов, горнодобывающих предприятий, нефтеперерабатывающих производств. Эксплуатация наземных накопителей жидких и твердых отходов, утечки из промышленных и коммунальных коммуникаций вызывают сильное загрязнение грунтовых вод и нижележащих горизонтов.

Наиболее сильная трансформация гидрогеохимической обстановки характерна для территории Солигорских калийных комбинатов, где в районе солевых отвалов глубина зоны хлоридно-натриевого загрязнения пре-

вышает 100 м, а минерализация вод палеогеновых отложений достигает 300 г/дм<sup>3</sup>. Установлено значительное загрязнение подземных вод в районах шламонакопителей и промышленных площадок Новополоцкой и особенно Полоцкой ТЭЦ, очистных сооружений в г. Ветка и г. п. Нарочь.

Начиная с 1987 г. систематический контроль за радиоактивным загрязнением поверхностных вод и донных отложений ведется на пяти основных реках республики: Днепр (г. Речица), Сож (г. Гомель), Припять (г. Гомель), Ипуть (г. Добруш), Беседь (д. Светиловичи), протекающих по территории, загрязненной радионуклидами.

### **САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ**

#### **I. Экологическая медицина изучает:**

1. Воздействие совокупности неорганических факторов окружающей среды на человека.
2. Взаимоотношения человека и окружающей среды с акцентом на «средовых» заболеваниях.
3. Все аспекты воздействия абиотических факторов окружающей среды на здоровье человека.

#### **II. Какие заболевания можно отнести к экологически зависимым заболеваниям?**

1. Болезнь Минамата.
2. Хронические аллергические заболевания.
3. Перитонит.

#### **III. Что такое экосистема?**

1. Совокупность совместно обитающих различных видов организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом.
2. Любое сообщество живых организмов (зооценоз, фитоценоз), объединенных в единое функциональное целое.
3. Сообщество различных видов организмов, находящихся во взаимосвязи друг с другом.

#### **IV. Для агроэкосистемы характерно...**

1. Неиспользование дополнительных источников энергии.
2. Преобладание естественного отбора над искусственным.
3. Ограниченное видовое разнообразие организмов.

#### **V. Особенности города как экосистемы включают:**

1. Необходимость дотации большого количества энергии извне.
2. Локальные изменения микроклимата.
3. Выброс в окружающую среду большого количества загрязняющих веществ.

#### **VI. «Зимняя депрессия» обусловлена...**

1. Антигонадотропным действием мелатонина на гипофиз.
2. Антигонадотропным действием меланина на гипофиз.
3. Избыточным образованием мелатонина в условиях недостаточной освещенности.

**VII. К естественным защитным механизмам организма человека от действия ультрафиолетового излучения относят...**

1. Образование меланина.
2. Образование мелатонина.
3. Ороговение верхнего слоя кожи.

**VIII. Эвтрофикация — это...**

1. Обогащение водоема биогенами, сопровождающееся повышением его биологической продуктивности.
2. Обогащение водоема химически токсическими соединениями, приводящее к гибели его обитателей.
3. Обогащение водоема патогенной микрофлорой, приводящее к заболачиванию водоема.

**IX. Болезнь Минамата развивается в результате хронического отравления...**

1. Органическими соединениями свинца.
2. Органическими соединениями ртути.
3. Органическими соединениями кадмия.

**X. Для экологического благополучия гидросферы необходимо...**

1. Рационально использовать ограниченные запасы пресной воды на планете.
2. Поддерживать экологическое благополучие атмосферы и литосферы.
3. Добиваться надежной и эффективной очистки сточных вод.

**ЛИТЕРАТУРА**

*Основная*

1. Стожаров, А. Н. Экологическая медицина : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 198 с.; С. 5–47, 107–121.
2. Текст лекции № 3.

*Дополнительная*

1. Стожаров, А. Н. Экологическая медицина : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. Минск: БГМУ, 2001. 151 с.; С. 5–48, 78–93.
2. Одум, Ю. Экология. 1–2 т. / Ю. Одум. М.: Мир, 1986.
3. Небел, Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. В 2-х т. Т. 1 / Б. Небел ; пер. с англ. М.: Мир, 1993. 424 с., ил.; С. 270–276, 278, 284–288.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАНЯТИЮ № 6

**Тема: Экологические и медицинские последствия загрязнения биосферы. итоговое занятие**

**Общее время занятия:** 90 минут.

**Мотивационная характеристика темы.** Знание особенностей экологической ситуации в Республике Беларусь и понимание причинно-следственных связей между наличием ряда загрязнителей окружающей среды и заболеваемостью населения необходимо студентам стоматологического факультета для правильной оценки влияния факторов окружающей среды на развитие стоматологической патологии.

**Цель занятия:** усвоить влияние состояния окружающей среды на развитие стоматологической патологии.

**Задачи:**

- 1) разобрать со студентами возможные экологические и медицинские последствия загрязнения окружающей среды;
- 2) рассмотреть значение некоторых загрязнителей окружающей среды в развитии ряда стоматологических заболеваний.

**Требования к исходному уровню знаний.** Для более полного освоения темы занятия студентам необходимо повторить схемы круговорота углерода, азота, фосфора, серы (биология); физико-химические свойства кислорода, азота, фосфора, серы, углерода и их оксидов (общая химия); строение и функции гемоглобина (биоорганическая химия).

**Контрольные вопросы из смежных дисциплин:**

1. Перечислите основные этапы круговорота углерода, азота, фосфора, серы.
2. Охарактеризуйте элемент «кислород», назовите формы его существования.
3. Что такое гемоглобин? Назовите нормальные и патологические формы гемоглобина.
4. Перечислите оксиды азота и напишите химические реакции их взаимодействия с водой.

**Контрольные вопросы по теме занятия:**

1. Экологическая характеристика атмосферы.
2. Экологические и медицинские последствия загрязнения атмосферы оксидами углерода, азота и серы; тяжелыми металлами.
3. Глобальные экологические проблемы загрязнения атмосферы: фотохимический смог, разрушение озонового слоя, «парниковый» эффект.

4. Экологическая характеристика литосферы и почвы. Естественная и антропогенная геохимическая провинция, взаимосвязь с соответствующей заболеваемостью населения.

5. Основные загрязнители пищевых продуктов (тяжелые металлы, удобрения, пестициды).

6. Взаимосвязь между загрязнением окружающей среды двуокисью углерода, соединениями стронция, свинца и других тяжелых металлов и стоматологическими заболеваниями.

## УЧЕБНЫЙ МАТЕРИАЛ

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ

*Атмосфера* — это дисперсная оболочка Земли, состоящая из смеси газов (азот, кислород, двуокись углерода, инертные газы), взвешенных аэрозольных частиц, водяных паров. Она вращается вместе с нашей планетой. Атмосфера имеет слоистое строение. Наиболее плотный слой воздуха, прилегающий к земле, называется *тропосферой*. Выше расположены стратосфера, мезосфера, термосфера (ионосфера), экзосфера.

Источники загрязнения атмосферы делятся на природные и антропогенные. К природным источникам относятся космическая пыль, извержение вулканов, выветривание пород, пыльные бури. Антропогенные источники: выхлопные газы транспорта, сжигание топлива, промышленные выбросы, сельское хозяйство (использование удобрений, ядохимикатов).

Основные загрязнители атмосферного воздуха — оксиды углерода, азота и серы; углеводороды и другие летучие загрязнители (бензин, растворители, фреоны и т. п.); озон и другие фотохимические окислители; кислоты, в основном серная и азотная (чаще присутствуют в виде капель жидкости, образующих кислотные дожди и туманы); свинец и другие тяжелые металлы; аэрозольные частицы (сорбируют различные соединения и благодаря этому служат проводниками в организм ксенобиотиков).

Воздействие атмосферного воздуха на человека обусловлено анатомо-физиологическими особенностями системы органов дыхания:

1) альвеолярная ткань легких имеет огромную всасывающую поверхность, что способствует проникновению во внутреннюю среду организма ксенобиотиков, находящихся в окружающей среде даже в следовых количествах;

2) всосавшиеся ксенобиотики попадают сразу в большой круг кровообращения, минуя печень, где происходит их обезвреживание;

3) использование индивидуальных средств защиты практически невозможно (возможно только их кратковременное использование).

Наибольшую озабоченность вследствие деятельности человека вызывает состояние двух областей — стратосферы и тропосферы.

## Стратосфера

*Стратосфера* — слой атмосферы, расположенный на высоте от 10–16 до 40–55 км от поверхности Земли, имеющий в нижней части почти постоянную температуру ( $-45^{\circ}\text{C}$ ,  $-75^{\circ}\text{C}$  в зависимости от времени года), которая резко возрастает с высотой в верхней части; отличающийся повышенной концентрацией молекул озона.

Основная экологическая проблема связана с уменьшением в стратосфере количества озона. Озон в стратосфере образуется за счет воздействия космического и жесткого ультрафиолетового излучения Солнца на молекулы кислорода, которые в результате распадаются на свободные атомы, а те, в свою очередь, могут присоединяться к другим молекулам кислорода с образованием озона ( $\text{O}_3$ ). Однако весь кислород не превращается в озон, так как атомарный кислород, реагируя с молекулами озона, дает две молекулы кислорода ( $\text{O}_2$ ). Таким образом, количество озона в стратосфере представляет собой результат равновесия между этими двумя реакциями. Максимальное количество молекул озона приходится на область 15–40 км, которую образно называют «озоновым слоем» (максимальная концентрация озона в стратосфере  $3 \cdot 10^{12}$  молекул/ $\text{см}^3$ ). Озоновый слой — верхняя граница биосферы. Слой озона способен ослабить УФ излучение в  $10^{40}$  раз.

Глобальное загрязнение атмосферы некоторыми веществами и физическими агентами может нарушать плотность озонового экрана. Разрушать молекулы стратосферного озона могут соединения хлора, фтора, азота и водорода.

Среди соединений фтора и хлора наибольшее значение имеют хлорфторуглеродороды (фреоны) и четыреххлористый углерод. Фреоны применяются как хладагенты в холодильных установках, используются в производстве аэрозолей (пропелленты), вспенивающих веществ при производстве пенополиуретанов, для очистки деталей электронного оборудования. Фреоны — долгоживущие молекулы, не растворимы в воде, летучи. При наличии восходящих потоков воздуха фреоны могут попадать в стратосферу, где от них под действием УФ-излучения отделяется атомарный хлор, который взаимодействуя с озоном, образует молекулярный кислород и активный СЮ. Взаимодействие последнего с атомарным кислородом приводит к образованию кислорода и вновь атома хлора, который продолжает процесс разрушения озона. Один атом хлора способен разрушить до 10000 молекул озона.

По заключению NASA (США), разрушение стратосферного озона зависит от 3 основных факторов: общей суммы атомов хлора и брома в атмосфере, длины холодного периода, когда температура в стратосфере опускается ниже  $-78^{\circ}\text{C}$  (приблизительно 4 месяца), формируя так называемые замороженные облака, а также наличия сильных полярных вихрей. Именно кристаллы льда облегчают освобождение хлора и брома, которые играют

роль катализаторов процесса разрушения озона.

Озоновые дыры — явление, в основном, антарктическое. Они увеличиваются весной и имеют антропогенное происхождение. Разрушение защитного экрана повлечет за собой увеличение доли УФИ, особенно УФВ, достигающего поверхности Земли. Это будет сопровождаться ростом заболеваемости раком кожи, катарактой, гибелью фитопланктона в акваэкосистемах.

### **Тропосфера**

**Тропосфера** — нижний слой атмосферы, в котором заключено 4/5 всей массы атмосферного воздуха (включая водяной пар), происходит большинство метеорологических процессов и сосредоточена вся наземная жизнь на планете. Температура в тропосфере падает с высотой в среднем на 0,65 °С каждые 100 м.

Рассмотрим экологические и медицинские последствия загрязнения тропосферы в результате деятельности человека и характеристику отдельных загрязнителей.

**Монооксид углерода** (угарный газ, СО) — это бесцветный, лишенный запаха газ. Конкурирует с кислородом при связывании с гемоглобином (Hb). Механизм его действия заключается в следующем:

- 1) способствует образованию карбоксигемоглобина (СОHb), что ведет к нарушению транспорта кислорода к тканям;
- 2) вызывает цитотоксическое действие путем торможения активности цитохромоксидазы;
- 3) снижает кислородную емкость пула миоглобина;
- 4) тормозит активность гемсодержащих ферментов (каталазы, пероксидазы), что усиливает цитотоксический эффект.

Клинические проявления воздействия СО на организм человека зависят от концентрации карбоксигемоглобина в крови. При 20 % насыщении гемоглобина у здорового человека наблюдаются головная боль, слабые поведенческие изменения, понижение работоспособности, снижение памяти. В диапазоне 20–50 % отмечается сильная головная боль, тошнота, слабость и психические нарушения. Выше 50 % имеет место потеря сознания с угнетением сердечного и дыхательного центра, аритмия и падение артериального давления в результате расширения периферических сосудов. Наиболее чувствительны к оксиду углерода люди с заболеваниями мозговых, коронарных и периферических сосудов.

У курильщиков уровень эндогенного карбоксигемоглобина составляет приблизительно 5–15 % и симптомы отравления у них могут развиваться быстрее, чем у некурящих. Монооксид углерода легко проникает через плаценту и индуцирует нейротоксическое воздействие на мозг плода курящей женщины, что может проявляться последующей патологией новорожденных.



**Диоксид углерода** (углекислый газ,  $\text{CO}_2$ ) — бесцветный газ кислового вкуса и запаха. Приблизительно 70 % общего количества  $\text{CO}_2$  попадает в атмосферу при сжигании топлива. Остальное количество обусловлено дыханием организмов, вырубкой лесов, интенсивным ведением сельского хозяйства, микробиологическими процессами в почве. Играет важную роль в регулировании притока к Земле  $\gamma$ -излучений, рентгеновских, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, а также уменьшает тепловое излучение Земли. В настоящий момент концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляет 0,034 %. Она увеличивается примерно на 0,5 % в год. За XX столетие концентрация углекислого газа возросла на 20 %. С накоплением  $\text{CO}_2$  (а также других парниковых газов) связывают возникновение «парникового эффекта».

Инфракрасное излучение, проходящее через атмосферу, поглощается и частично отражается земной поверхностью. Из-за большой длины волны эта часть солнечной радиации частично поглощается двуокисью углерода, водяными парами и озоном тропосферы, другая часть заново отражается к земле. Значительно усугубляют проблему метан, хлорфторуглероды, оксиды азота, поглощающие инфракрасное излучение в 50–100 раз сильнее, чем углекислый газ. В силу этого обстоятельства поверхность земли еще более нагревается. Этот феномен и получил название «парниковый эффект».

Доказательства потепления климата на планете — повышение температуры глубинных вод океанов на 0,5 °С; смещение в Альпах границы ареала распространения некоторых разновидностей растений в более прохладные зоны; сокращение количества полярных льдов за последние 15 лет на 6%; повышение уровня мирового океана с 1880 года от 9 до 25 см.

По прогнозным моделям «парниковый эффект» будет сопровождаться следующими негативными последствиями:

- границы тропиков перекроют субтропические области, зоны с умеренным климатом могут стать субтропическими; может произойти повышение уровня мирового океана на 0,10–0,32 м; многие страны лишатся видового разнообразия флоры и фауны, а некоторые наоборот переживут демографический взрыв фауны;
- возможно возникновение чрезвычайных климатических событий; усиление годовых колебаний температуры воздуха с установлением более низкой температуры в зимние месяцы;
- гибель лесов из-за повышения температуры освободит большие количества  $\text{CO}_2$ , что ускорит глобальное потепление и приведет к гибели еще большего количества лесов;

На глобальное повышение температуры организм человека и популяция в целом могут отреагировать следующими изменениями:

- увеличение объема крови, увеличение активности свертывающей системы крови (из-за увеличения концентрации фибриногена), увеличение

кровенного давления;

- перенапряжение системы циркуляции крови, которая тесным образом связана с системой терморегуляции; и как следствие, повышение заболеваемости и смертности лиц, имеющих заболевания системы кровообращения;

- увеличение заболеваемости и смертности от патологии легких вследствие повышенного образования тропосферного озона;

- рост числа желудочно-кишечных заболеваний;

- увеличение числа инфекционных и паразитарных заболеваний (геморрагической лихорадки, малярии, шистосомоза и т. д.).

**Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ).** Поступают в атмосферный воздух при грозовых разрядах и молниях, при горении биомассы, в процессах денитрификации. К антропогенным источникам оксидов азота относят производство красок и нитроцеллюлозы, сгорание ископаемого топлива, транспорт, производство азотной и серной кислот и др.

*Моноксид азота ( $\text{NO}$ )* — бесцветный газ не имеющий запаха; его воздействие ведет к метгемоглибинообразованию, агрегации тромбоцитов и вазодилатации. В присутствии кислорода воздуха  $\text{NO}$  быстро превращается в диоксид азота.

*Диоксид азота ( $\text{NO}_2$ )* — газ с резким специфическим запахом красноватого цвета. При контакте с влажной тканью легких образует азотную кислоту, что ведет к трахеобронхитам, токсическим пневмониям, отеку легких. Патологии способствует повреждение диоксидом азота эластиновых и коллагеновых волокон соединительной ткани. Диоксид азота способен вызывать сенсibilизацию, усиливать восприимчивость к инфекционным заболеваниям, потенцировать бронхиальную астму. Длительное воздействие высоких концентраций диоксида азота приводит к хроническому воспалению ткани легких и по признакам напоминает эмфизему.

Особенно опасную форму приобретает загрязнение атмосферы оксидами азота при образовании *фотохимического смога*. Для его формирования необходимы:

- температурная инверсия — это ситуация, когда слой теплого воздуха перекрывает более холодный приземный; в результате блокируется восходящее движение воздуха, уносящее загрязняющие вещества, и они накапливаются над землей;

- солнечный свет (особенно УФИ);

- загрязнение воздуха транспортными и промышленными газами (в первую очередь оксидами азота);

- присутствие органических соединений и металлических аэрозолей.

Под действием энергии УФИ диоксид азота распадается на монооксид азота и атом кислорода, который соединяется с  $\text{O}_2$ , давая озон ( $\text{O}_3$ ). Процесс спонтанно обратим. Если отсутствуют другие факторы, озон и моно-

оксид азота вновь реагируют с образованием диоксида азота и  $O_2$ , поэтому заметного накопления озона не происходит. Но в присутствии углеводородов  $NO$  реагирует с ними, а это влечет за собой 2 негативных последствия:

- образуются альдегиды, кетоны, свободные радикалы, пероксиды; их также относят к фотохимическим окислителям и по токсичности они превосходят исходные продукты;
- $NO$  таким образом связывается и происходит накопление озона в тропосфере.

*Озон* — чрезвычайно сильный окислитель. Точка его приложения — ткани легких; поражение легких носит характер респираторного стресса. В клетках  $O_3$  может стать причиной разнообразных нарушений: в липидных структурах мембран инициируется перекисное окисление, протеины, а также гиалуроновая кислота подвергаются окислению, что сопровождается изменением функциональной активности клеток. В легких изменяется активность ряда ферментов (сукцинатдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, нуклеотидазы), нарушается соотношение нуклеиновых кислот, стенки альвеол инфильтрируются лимфоцитами и плазматическими клетками. Озон легко проникает в хвою или листья в процессе дыхания, нарушая процесс фотосинтеза.

Компоненты фотохимического смога оказывают раздражающее действие на слизистую глаз, верхних дыхательных путей, способствуют развитию аллергического конъюнктивита, вызывают сухость слизистых, вазомоторный ринит, насморк.

**Соединения серы.** В атмосфере крупных промышленных городов в значительных количествах содержатся соединения серы —  $SO_2$ ,  $H_2S$ , сульфатные частицы. Сера попадает в воздух в результате вулканической деятельности, жизнедеятельности анаэробов, выделения с поверхности мирового океана (диметилсульфид). К основным антропогенным источникам относят сжигание ископаемого топлива; химическую, нефтеперерабатывающую и металлургическую промышленность.

*Диоксид серы* — политропный яд. Резорбируется непосредственно в верхних дыхательных путях. При интенсивном дыхании большая часть соединения серы достигает альвеол. Диоксид серы раздражает слизистые оболочки верхних дыхательных путей, усиливает слезотечение, вызывает бронхоспазм. Хроническое воздействие диоксида серы сопровождается утолщением мукозных мембран и ухудшением ретроградного транспорта твердых частиц за счет работы мерцательного эпителия.

В атмосфере диоксид серы претерпевает ряд химических превращений, ведущих к образованию сернистой и серной кислот. Сернистая кислота во влажном воздухе постепенно окисляется до серной. Аэрозоли серной и сернистой кислот приводят к конденсации водяного пара и становятся

причиной *кислотных осадков* (дожди, туманы, снег). Осадки с рН 5,5 и ниже принято называть кислотными. Обычно кислотность осадков обусловлена на две трети серной и на одну треть азотной кислотами. На живые организмы кислотные осадки могут оказывать прямое и косвенное воздействие.

*Прямое действие на человека* приводит к дистрофическим изменениям кожи, крапивнице, экземе; раздражению слизистых оболочек глаз (кератиты, конъюнктивиты) и верхних дыхательных путей; атрофическим явлениям в слизистой ВДП, пневмосклерозам, хроническим бронхитам, астматическим реакциям; раздражению слизистой оболочки полости рта, некрозам зубной эмали, патологической стираемости зубов.

*Косвенное действие* кислотных осадков на живые организмы может осуществляться за счет изменения рН водоемов и нарушения кислотности почв, снижения всасывания фосфат-иона, изменения состава микроорганизмов почв. В кислой почве повышается растворимость тяжелых металлов (Cd, Pb, Mn, Cu), которые поглощаются растениями, а затем по пищевым цепочкам поступают в организм человека.

В последние десятилетия возрастает роль автотранспорта в загрязнении биосферы. Выхлопные газы автотранспорта представляют собой смесь более 200 химических соединений, в том числе токсических и канцерогенных. Наибольшее значение среди них имеют оксиды углерода (CO, CO<sub>2</sub>), оксиды азота (NO, NO<sub>2</sub>); тяжелые металлы (свинец и кадмий). Ежегодно в атмосферный воздух выбрасывается около 300 тыс. т свинца. Свинцоводержащие аэрозольные частицы резорбируются преимущественно в легких (70 %) или оседают на пищу и воду. Изучая случаи умственной отсталости у детей и гипертонии у взрослых, обнаруживается их корреляция с высокими уровнями свинца в крови. Источник кадмия — продукты износа автомобильных шин. Кроме того, в продуктах сгорания неэтилированного бензина присутствует кадмий.

*Основные способы снижения воздействия на человека продуктов выброса автотранспорта:* повышение экономичности и оптимизация работы двигателей (проверка на содержание CO); увеличение числа экологически более чистых дизельных двигателей; правильная организация автомобильного движения в городе; уменьшение коэффициента лобового сопротивления автомобиля встречному потоку воздуха; изыскание других видов топлива (спирт, водород).

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛИТОСФЕРЫ И ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

*Литосфера* — составная часть биосферы, представляющая собой твердую оболочку Земли. *Почва* — это поверхностный слой литосферы, сформированный под действием климата и живых организмов (расти-

тельных и животных) и возделываемый человеком.

Почва — малоподвижная среда, в которой хорошо накапливаются ксенобиотики, их миграция происходит медленно. Сохранения плодородных почв — основное условие устойчивого развития человечества.

Экосистема почвы представляет собой сложное сочетание следующих компонентов: минеральные частицы; детрит; множество живых организмов от редуцентов до более крупных детритофагов (дождевых червей и насекомых), формирующих пищевую цепь, основанную на детрите.

### **Биогеохимические провинции**

Геохимические провинции делят на естественные и искусственные, т. е. сформировавшиеся в результате деятельности человека.

*Естественная геохимическая провинция* — это территория с природным избытком или недостатком естественных химических элементов в почве, на которой формируется соответствующая эндемическая патология.

В нашей республике преобладают песчаные (легкие, плохо удерживают йод), дерново-подзолистые (в них мало йода) и торфяно-болотистые почвы (содержат много связанного, недоступного растениям йода). Недостаток йода в почвах приводит к компенсаторному увеличению щитовидной железы и развитию **эндемического зоба**. Беларусь относится к странам с легкой и средней степенью тяжести йодной недостаточности.

Помимо недостаточного поступления йода, приводящего к развитию эндемического зоба, большое значение имеют дополнительные струмогенные факторы, усугубляющие течение заболевания. К ним относятся:

- вещества, блокирующие транспорт йодида в тиреоциты (нитриты, перхлораты, тиоцианаты, перйодаты); естественные тиоцианаты и изоцианаты содержатся в капусте, турнепсе, репе, хрене, салате, рапсе, сое;
- вещества, нарушающие органификацию йода в щитовидной железе (парааминобензойная кислота, сульфаниламиды, резорцин, аминосалициловая кислота, производные тиомочевины и тиюрацила, аминотиазол);
- заболевания ЖКТ с нарушением процессов всасывания;
- наследственность (генетические дефекты синтеза тиреоидных гормонов);
- дисбаланс микроэлементов (избыток кальция в воде, а также недостаток в почвах Zn, Mn, Co, Cu, которые являются кофакторами ферментов, участвующих в синтезе тиреоидных гормонов).

Организм человека наиболее чувствителен к недостатку поступления йода в определенных физиологических состояниях (детский возраст, пубертатный период, беременность, лактация).

### **Профилактика эндемического зоба**

Специфическая профилактика проводится препаратами стабильного йода:

- немая профилактика — использование йодированной соли во всех регионах зобной эндемии без учета степени йодной недостаточности, минерального состава почв и характера питания;

- групповая и индивидуальная профилактика, проводимая медицинскими учреждениями — выдача препаратов йода в соответствующих дозировках и рекомендации по питанию детям, подросткам, беременным и кормящим новорожденных женщинам.

Неспецифическая профилактика эндемического зоба состоит в улучшении бытовых условий, состояния окружающей среды, сбалансированности питания; в добавлении к продуктам питания микроэлементов, недостаточно содержащихся в данном регионе.

Территория Армении отличается избыточным содержанием *молибдена*. Молибден — кофактор фермента ксантинооксидазы, участвующего в обмене пуриновых оснований. Избыток молибдена в пище приводит к увеличению активности ксантинооксидазы, что в свою очередь приводит к увеличению содержания в организме солей мочевой кислоты, которая начинает откладываться в суставах. Вследствие этого на территории Армении регистрируется эндемическое заболевание — *молибденовая подагра*.

По берегам реки Ур отмечена естественная биогеохимическая провинция по избытку *стронция*. Стронций — щелочноземельный металл, по химическим свойствам сходен с кальцием и барием, — антагонист кальция. По интенсивности поглощения стронций стоит на 4 месте после Cu, Zn, Ba. Избыточное содержание стронция (600–1000 мг/кг) может привести к развитию *уровской болезни* или стронциевого рахита. Стронций под влиянием витамина Д всасывается в кровь, а затем фиксируется костной матрицей. При этом дистрофические процессы развиваются в костно-суставной системе и в различных органах в период роста и формирования организма. У человека наблюдаются: поражение суставов, ограничение их подвижности, рассасывание суставных хрящей. В тяжелых случаях образуются очаги обнаженной кости. Все это приводит к симметричному деформирующему остеоартрозу. Основные симптомы болезни — короткопалость, деформация межфаланговых суставов, атрофия мышц, ограничение подвижности.

Имеются указания на струмогенный эффект стронция, его действие как нервного и мышечного яда, способность хлорида стронция стимулировать продукцию тромбосана В(2) тромбоцитами человека и оказывать местно анестезирующее действие. Основной антропогенный источник поступления стронция в окружающую среду — производство, особенно сточные воды металлургического, электротехнического, стекольного, керамического и свеклосахарного производств.

Общий минеральный состав также влияет на организм человека. Чем выше общая минерализация почвы, тем выше заболеваемость глаукомой

(особенно на дерново-подзолистых почвах, где мало гумуса и много Cr, Zn, Mn) и рассеянным склерозом. Существует положительная корреляция между концентрацией Fe, Co, Zn и тромбооблитерирующими заболеваниями и отрицательная корреляция с содержанием Mn, Cr, Ba, Sr, Cu.

**Искусственные геохимические провинции** — территории, загрязненные экзогенными (в результате деятельности человека) веществами и характеризующиеся повышенной заболеваемостью населения и числом ВПР, а также нарушением психофизиологического развития детей. Например, ртутные комбинаты поставляют в почву ртуть, которая может метилироваться, что может привести к развитию болезни Минамата.

**Основные источники загрязнения почвы** — сельское хозяйство (удобрения, пестициды, сточные воды и твердые отбросы животноводства); промышленность и транспорт; бытовая деятельность (сточные воды, твердые бытовые отходы).

**Последствия загрязнения почвы:** торможение процесса почвообразования и самоочищения почвы; снижение урожайности и потребительских качеств сельскохозяйственной продукции; накопление ксенобиотиков и дальнейшая их миграция по трофическим цепям в продукты питания; формирование искусственных геохимических провинций.

### **Медицинские последствия загрязнения продуктов питания**

Присутствие чужеродных химических веществ (ЧХВ) в пищевых продуктах в количествах, в 2–3 раза превышающих фоновые, нежелательно, а в количествах, превышающих ПДК — недопустимо. 8 химических элементов (ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, медь, стронций, цинк, железо) объединенный комитет экспертов ВОЗ включил в число компонентов, содержание которых контролируется при международной торговле продуктами питания. Рассмотрим те из них, на которых не останавливались ранее.

**Цинк.** Антропогенные источники поступления в окружающую среду — шламы сточных вод и сами сточные воды химического, деревообрабатывающего, текстильного, бумажного, цементного производств, металлургических комбинатов и др. Серьезный источник поступления цинка в воду — вымывание его горячей водой из оцинкованных водопроводных труб до 1,2–2,9 мг с поверхности 1 дм<sup>2</sup> в сутки. Содержание цинка в теле взрослого человека составляет 1–2,5 г. В печени часть цинка депонируется, часть трансформируется в метал-лобелковые комплексы, в частности, металло-энзимы. Выводится цинк в основном через кишечник, с мочой, потом, может выводиться также с молоком. В основе многих проявлений цинковой интоксикации лежат конкурентные отношения цинка с рядом металлов, в частности с кальцием. Цинк может представлять мутагенную и онкогенную опасность. Гонадотоксическое действие цинка проявляется снижением подвижности сперматозоидов и их способности проникать в яйцеклетку.

**Железо.** Антропогенные источники поступления железа в окружающую

щую среду — сточные воды и шламы металлургического, химического, машиностроительного, нефтехимического, химико-фармацевтического, лакокрасочного и текстильного производств. Суточная потребность взрослого человека составляет 11–30 мг. Она значительно возрастает при беременности, кормлении грудью, при интенсивной мышечной деятельности. Основная масса металла выводится с калом, меньше с мочой и потом, может выводиться с молоком. Развитие дефицита железа в организме связано с дисбалансом других микроэлементов:

- недостаток фтора приводит к снижению утилизации железа и меди;
- увеличенный метаболизм железа сопровождается значительным накоплением магния в эритроцитах;
- дефицит цинка приводит к развитию тяжелого симптомокомплекса железодефицитной анемии с гепатомегалией, карликовостью, половым недоразвитием и нарушением волосяного покрова (болезнь Прасада);
- важное значение в возникновении железодефицитных состояний имеет недостаток меди, марганца, кобальта.

Соединения  $Fe^{2+}$  обладают общим токсическим действием, активно участвуют в реакциях с радикалами гидроперекисей липидов. Соединения  $Fe^{3+}$  менее ядовиты, но действуют прижигающе на пищеварительный канал и вызывают рвоту.

*Алюминий.* Накоплению алюминия в почве способствует ее закисление. Антропогенные источники поступления алюминия в окружающую среду: горнорудные разработки, твердые выбросы и сточные воды предприятий, изготовление и использование алюминиевых деталей, конструкций и посуды.

В организм человека алюминий поступает с пищей (непосредственно из пищевых продуктов, а также из посуды, упаковочных материалов и пищевых добавок), водой, атмосферным воздухом, лекарственными препаратами, дезодорантами и др. Общее содержание алюминия в смешанном суточном рационе составляет 80 мг; суточная потребность в алюминии взрослого человека составляет 35–49 мг. Всасывание алюминия происходит в кислой среде — в желудке и проксимальной части двенадцатиперстной кишки; в кишечнике алюминий осаждается фосфатами, что при избыточном его поступлении может привести к дефициту фосфора в организме. Выводится алюминий из организма в основном через почки — до 10–15 мкг в сутки, при избыточном поступлении экскреция возрастает в 20–40 раз. Алюминий — необходимый микроэлемент, он влияет на активность ряда ферментов, репродуктивную способность, развитие организма.

При избыточном поступлении в организм человека повреждающее действие алюминия обусловлено:

- прямым повреждающим действием на ядерный хроматин;
- конкурентными отношениями алюминия с фосфором и кальцием,



что ведет к снижению уровня АТФ в крови и нарушению процессов фосфорилирования, развитию остеомалации, снижению концентрации паратгормона в крови;

- снижением активности лактатдегидрогеназы, щелочной фосфатазы, церулоплазмينا, каталазы, блокадой активных центров ферментов, участвующих в кроветворении.

Клинически это проявляется:

- 1) нейротоксическим действием (нарушения двигательной активности, снижение или потеря памяти, психотические реакции; проявляется только при нарушении проницаемости гематоэнцефалического барьера); 2) гемолитическим и фиброгенным действием; 3) мутагенным и канцерогенным действием.

*Нитраты.* Основные источники их поступления в организм человека — овощи. Нитраты накапливаются в основном в корнях, стеблях, черешках, жилках растений. Листья и корнеплоды богаче нитратами, чем плоды. Наиболее интенсивно накапливают нитраты черная редька, столовая свекла, листовая салат, щавель, редиска, ревен, сельдерей, шпинат, листья петрушки, укроп. Считается, что злаки, фрукты, ягоды не накапливают опасные концентрации нитратов.

При хранении овощей содержание нитратов в них снижается за счет восстановления в нитриты. Наиболее интенсивно процесс восстановления нитратов в нитриты происходит при хранении овощей при комнатной температуре, в грязных и сырых помещениях, что способствует размножению микрофлоры, превращающей нитраты в нитриты. Восстановление нитратов в нитриты усиливается при приготовлении продукта в алюминиевой посуде; измельчении и перетирании овощей; приготовлении соков из тепличных овощей, особенно при комнатной температуре.

В мясные и некоторые рыбные продукты нитраты и нитриты добавляют с целью улучшения вкуса и запаха, стабилизации цвета; предотвращения развития патогенной микрофлоры, прежде всего *Clostridium botulinum*. Из добавленного к мясу нитрата в готовых колбасных изделиях содержится 70–85 %.

*Методы кулинарной обработки продуктов, позволяющие снизить содержание нитратов в них:*

- очистка и удаление наиболее «нитратных» частей растения (кожица, черешковая часть, верхние листья, прожилки, кочерыжка);
- мытье и вымачивание продукта;
- отваривание в большом количестве воды (инактивируется нитратредуктаза);
- жарение, тушение овощей (содержание нитратов снижается примерно на 15 %).

Нитраты, поступающие в организм человека, легко всасываются в верхних отделах желудочно-кишечного тракта (главным образом, в желуд-

ке); выделяются, в основном, с мочой. Основная часть нитратов метаболизируется обитающей в желудочно-кишечном тракте микрофлорой, в результате могут образовываться следующие нитриты, окислы азота, гидроксиламин, аммиак, N-нитрозосоединения.

Наибольшую опасность для человека представляют нитриты, которые попадают в кровь и проникая через мембрану эритроцитов, вступают в реакцию с гемоглобином с образованием метгемоглобина (кровь становится буровато-коричневой), а нитрит-ион восстанавливается в NO. В итоге нарушается транспортная функция гемоглобина и развивается гемическая и тканевая формы гипоксии.

Во взрослом здоровом организме метгемоглобин под действием восстанавливающих ферментных систем (НАД\*Н-метгемоглобинредуктаза) легко преобразуется в оксигемоглобин. При увеличении содержания метгемоглобина до 10 % развивается бессимптомный цианоз. При уровне содержания метгемоглобина от 20 до 50 % развиваются симптомы гипоксии: выраженный цианоз (с буроватым оттенком), головная боль, слабость, одышка, тахикардия, потеря сознания. Если содержание метгемоглобина превысит 50 %, человек погибает.

Хроническое воздействие нитратов угнетает некоторые стороны иммунного статуса.

По рекомендации ВОЗ установлена допустимая суточная доза (ДСД) поступления нитратов для взрослого человека 5 мг/кг массы тела; для нитритов ДСД составляет 0,15 мг/кг.

В настоящее время нитраты рассматриваются в качестве одного из основных предшественников канцерогенных N-нитрозосоединений. Нитрозамины в больших концентрациях оказывают гепатотоксический эффект. Наиболее значимые биологические эффекты нитрозосоединений — канцерогенный и тератогенный. Для снижения риска развития онкологических заболеваний, вызванных нитрозосоединениями алиментарного происхождения, рекомендуются следующие мероприятия:

- сведение к минимуму содержания в продуктах предшественников нитрозосоединений;
- максимальное использование мяса в свежесваренном виде;
- тщательное соблюдение рецептур, режимов обработки и других технологических требований при производстве колбасных и копчено-солевых изделий.

Содержание нитрозаминов в продуктах не должно превышать 10 мкг/кг.

**Пестициды** — химические соединения, используемые для защиты растений, сельскохозяйственных продуктов, эктопаразитов животных и борьбы с переносчиками опасных заболеваний.

**Хлорорганические пестициды.** Самый известный представитель этой группы соединений — *дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ)*. Другие часто

используемые представители: альдрин, гексахлорциклогексан, гексахлорбензол. Применяются в овощеводстве, садоводстве для предпосевной обработки семян, борьбы с вредителями леса, домашнем хозяйстве. В 1950–60-е годы были использованы миллионы тонн ДДТ в борьбе с эпидемиями малярии, желтой лихорадки, тифа и др., а также для защиты растений. Циркуляция в экосистемах привела к глобальному распределению ДДТ в среде и продвижению по всем типам трофических путей. При этом человек, как тупиковое звено трофической цепи, обогащается особенно сильно. В этой связи в молоке женщин регистрируются наиболее высокие уровни инсектицидов. Молоко женщин — своеобразный индикатор нагрузки населения этими соединениями.

ДДТ и его аналоги — стабильные жирорастворимые соединения. Поступают в организм человека, в основном, с липид-содержащими продуктами питания. Распределяются преимущественно в богатых липидами тканях. Период полувыведения около года. В определенных состояниях, например при голодании, кормлении грудью, при некоторых заболеваниях (рак) и, следовательно, распаде жировых депо происходит перераспределение их по организму, и концентрация хлорорганических соединений в других тканях быстро повышается.

При воздействии ДДТ у человека происходит индукция микросомальных печеночных энзимов, сопровождающаяся ускоренным окислительным метаболизмом ксенобиотика. У животных ДДТ и его аналоги оказывают воздействие на репродуктивную систему и, помимо этого, обладают канцерогенным действием.

*Фосфорорганические пестициды* (хлорофос, карбофос, метилмеркаптофос и др.) характеризуются почти полным отсутствием материальной кумуляции, но выраженной функциональной кумуляцией (эффект сохраняется длительное время). В основе их действия лежит взаимодействие с холинэстеразой, что нарушает метаболизм ацетилхолина, передачу нервного импульса в межнейрональных синапсах и на исполнительные клетки. Отмечено повреждающее действие на биологические мембраны а счет активации ПОЛ, снижение активности ферментов антиоксидантной защиты, уменьшение количества эндогенных антиоксидантов.

Необходимо отметить, что полностью отказаться от использования пестицидов невозможно, но необходимо ограничивать их использование и отказаться от использования наиболее токсичных.

### ***Полихлорированные бифенилы (ПХБ)***

К ПХБ относится многочисленная группа неполярных хлорсодержащих соединений, которые применяются как гидравлические, невоспламеняемые жидкости, изоляторы в трансформаторах и др. Они различаются по количеству атомов хлора в молекуле и образуются в процессе производства как побочные продукты или примеси. ПХБ входят в состав копироваль-

ной бумаги, смазочных материалов, чернил, красок, добавок в цемент и другие материалы, огнезащитных средств, пестицидов, клеев, уплотняющих жидкостей и др. ПХБ легко всасываются и поступают в организм через кожу, легкие и желудочно-кишечный тракт. Основным источником ПХБ для человека — их пероральное поступление с продуктами питания, богатыми жировыми компонентами. После всасывания ПХБ метаболизируются в печени; при этом их токсичность увеличивается (явление метаболической активации). Было установлено, что ПХБ и их производные способны проникать через плаценту беременных женщин, являясь причиной мертворождений и снижения массы тела новорожденных. Выведение из организма отдельных ПХБ происходит очень медленно, главным образом через желудочно-кишечный тракт. Действие ПХБ на организм человека проявляется поражением ЦНС (головные боли, нарушение концентрации внимания), постепенным выпадением волос, нарушением функции печени, угнетением иммунной системы и развитием опухолей печени.

#### ***Полихлорированные дибенз-диоксины и дибенз-фураны***

Класс полихлорированных дибенздиоксинов (ПХДБД) и дибензфуранов (ПХДБФ) насчитывает 210 изомерных соединений. Эти соединения образуются при синтезе хлорорганических соединений (например, биоцидов), при сжигании мусора (хлорсодержащих соединений), при работе двигателей внутреннего сгорания, при сжигании топлива; присутствуют в промышленных выбросах и табачном дыме. Основное количество ПХДБД и ПХДБФ поступает в организм человека с продуктами питания (рыба, мясо, молочные продукты, яйца). Выведение ПХДБД и ПХДБФ снижается при увеличении степени галогенизированности соединений. Период полувыведения составляет у человека от 5 до 7 лет.

Механизм действия 2,3,7,8-ПХДБД (самый токсичный из этой группы) связан с синтезом измененного цитохрома Р-450, который модулирует обмен веществ. Помимо этого для ПХДБД характерны иммуносупрессивный, тератогенный и канцерогенный эффекты.

### **САМОКОНТРОЛЬ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ**

#### **I. Озоновый слой атмосферы — это...**

1. Верхняя граница биосферы.
2. Область, в которой сосредоточено максимальное количество молекул озона.
3. Защитный экран планеты.

#### **II. «Парниковый» эффект сопровождается...**

1. Повышением уровня Мирового океана.
2. Накоплением в атмосфере диоксида углерода.
3. Глобальным понижением температуры на земном шаре.

- III. Какое действие на организм человека оказывает угарный газ?**
1. Изменения в ЦНС вследствие цитотоксического действия.
  2. Тканевая гипоксия.
  3. Выраженное раздражающее действие на слизистые оболочки дыхательных путей.
- IV. Фотохимический смог вызывает у человека...**
1. Головные боли.
  2. Раздражение слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей.
  3. Снижение внимания и работоспособности.
- V. Что из перечисленного можно отнести к предшественникам кислотных осадков?**
1. Тропосферный озон.
  2. Аммиак.
  3. Диоксид азота.
- VI. Основными токсичными компонентами выбросов автомобильных двигателей являются...**
1. Свинец.
  2. Угарный газ.
  3. Фреоны.
- VII. Естественная геохимическая провинция характеризуется...**
1. Природным избытком или недостатком химического элемента в почве и воде.
  2. Избытком тяжелых металлов в почве за счет антропогенного воздействия.
  3. Недостатком микроэлементов в почве, возникшим за счет деятельности человека.
- VIII. Каковы последствия загрязнения почвы?**
1. Формирование искусственных геохимических провинций.
  2. Ослабление самоочищения почвы.
  3. Поступление чужеродных химических соединений по пищевым цепочкам в организм человека.
- IX. Что способствует превращению нитратов в нитриты в овощах?**
1. Хранение овощей при комнатной температуре.
  2. Хранение овощей в холодильнике.
  3. Измельчение овощей.
- X. Накопление алюминия в организме человека приводит к...**
1. Нарушению обмена минеральных веществ (кальция и фосфора).
  2. Поражению нервной системы.
  3. Мутагенезу и канцерогенезу.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. *Стожаров, А. Н.* Экологическая медицина : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 198 с.; С. 80–107, 122–143.
2. *Текст лекции № 3.*

***Дополнительная***

1. *Стожаров, А. Н.* Экологическая медицина : учеб. пособие. Минск: БГМУ, 2001. 151 с.; С. 59–77, 94–146.
2. *Небел, Б.* Наука об окружающей среде: как устроен мир. В 2-х т. Т. 1 / Б. Небел ; пер. с англ. М.: Мир, 1993. 424 с., ил.; С. 352–410.

**ОТВЕТЫ К ТЕСТОВЫМ ЗАДАНИЯМ  
САМОКОНТРОЛЯ УСВОЕНИЯ ТЕМЫ**

Тема № 1: ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

№ 1 (1, 2, 3); № 2 (–); № 3 (1); № 4 (1); № 5 (2, 3); № 6 (1, 2, 3); № 7 (1, 3);  
№ 8 (–); № 9 (1, 2); № 10 (2).

Тема № 2: РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РБ ДО И ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

№ 1 (1, 2); № 2 (1, 2, 3); № 3 (3); № 4 (1); № 5 (1, 2); № 6 (1); № 7 (3);  
№ 8 (3); № 9 (1); № 10 (1).

Тема № 3: ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ.

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В РБ ДО И ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

№ 1 (2); № 2 (1, 2, 3); № 3 (2, 3); № 4 (2, 3); № 5 (1, 2); № 6 (2, 3);  
№ 7 (1, 2, 3); № 8 (1, 2, 3); № 9 (1); № 10 (1, 2, 3).

Тема № 4: КОНТРОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

№ 1 (1, 2); № 2 (1, 3); № 3 (–); № 4 (1); № 5 (2); № 6 (1); № 7 (2); № 8 (2, 3);  
№ 9 (1, 3); № 10 (2).

Тема № 5: ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И МЕДИЦИНСКОЙ ЭКОЛОГИИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И  
МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ БИОСФЕРЫ

№ 1 (2); № 2 (1, 2); № 3 (1); № 4 (3); № 5 (1, 2, 3); № 6 (1, 3); № 7 (1, 3);  
№ 8 (1); № 9 (2); № 10 (1, 2, 3).

Тема № 6: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
БИОСФЕРЫ

№ 1 (1, 2, 3); № 2 (1); № 3 (1, 2); № 4 (1, 2, 3); № 5 (1, 3); № 6 (1, 2);  
№ 7 (1); № 8 (1, 2, 3); № 9 (1, 3); № 10 (1, 2, 3).

Пояснение: в скобках обозначены номера верных вариантов ответа,  
знак (–) означает отсутствие правильных ответов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Радиационная медицина* : учеб. пособие / А. Н. Стожаров [и др.] ; под. общ. ред. А. Н. Стожарова. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 143 с.
2. *Стожаров, А. Н.* Экологическая медицина : учеб. пособие / А. Н. Стожаров. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: БГМУ, 2002. 198 с.
3. *Небел, Б.* Наука об окружающей среде: как устроен мир. В 2-х т. Т. 1 / Б. Небел ; пер. с англ. М.: Мир, 1993. 424 с.
4. *Ильин, Л. А.* Радиационная гигиена / Л. А. Ильин, В. Ф. Кириллов, И. П. Коренков. М.: Медицина, 1999. 384 с.
5. *Кротков, Ф. Г.* Руководство к лабораторным занятиям по радиационной гигиене / Ф. Г. Кротков. М.: Медицина, 1980. 173 с.
6. *Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества* : справ. изд. / В. А. Баженов [и др.] ; под ред. В. А. Филова [и др.]. Л.: Химия, 1990. 464 с.
7. *Булдаков, Л. А.* Радиоактивные вещества и человек / Л. А. Булдаков. М.: Энерго-

атомиздат, 1990. 160 с.

8. *Радиация. Дозы, эффект, риск.* Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 79 с.

9. *Одум, Ю.* Экология. 1–2 т. / Ю. Одум. М.: Мир, 1986.

10. *Ильич, Г. К.* Медицинская и биологическая физика. Ионизирующие излучения : по-  
соб. / Г. К. Ильич. 2-е изд. Минск: БГМУ, 2003. 63 с.

## СОКРАЩЕНИЯ

<b>АЭС (ЧАЭС)</b>	– атомная электростанция (Чернобыльская атомная электростанция)
<b>ВОЗ</b>	– Всемирная организация здравоохранения
<b>ВПР</b>	– врожденный порок развития
<b>ГЭД</b>	– годовая эффективная доза
<b>ДДТ</b>	– дихлордифенилтрихлорэтан
<b>ДНК</b>	– дезоксирибонуклеиновая кислота
<b>ДОА</b>	– допустимая среднегодовая объемная активность
<b>ДСД</b>	– допустимая суточная доза
<b>ДУА</b>	– допустимая удельная активность
<b>ЖКТ</b>	– желудочно-кишечный тракт
<b>КТ</b>	– компьютерная томография



<b>ЛОС</b>	– летучие органические соединения
<b>ЛПИ</b>	– линейная плотность ионизации
<b>ЛПЭ</b>	– линейная передача энергии
<b>МАГАТЭ</b>	– Международное агентство по атомной энергии
<b>МКРЗ</b>	– Международный комитет по радиационной защите
<b>МОТ</b>	– Международная организация труда
<b>МРЭК</b>	– медицинская реабилитационно-экспертная комиссия
<b>МЭД</b>	– мощность экспозиционной дозы
<b>НКДАР</b>	– научный комитет по действию атомной радиации
<b>ОПЗ</b>	– ожоговый порог загара
<b>ПГП</b>	– предел годового поступления
<b>ПД</b>	– предел дозы
<b>ПХБ</b>	– полихлорированные бифенилы
<b>ПХДБД</b>	– полихлорированные дибенздиоксины
<b>ПХДФ</b>	– полихлорированные дибензфураны
<b>РДУ</b>	– республиканские допустимые уровни
<b>РФ (ЕРФ)</b>	– радиационный фон (естественный радиационный фон)
<b>СИЧ</b>	– счетчик импульсов человека
<b>ТВЭЛ</b>	– тепловыделительный элемент
<b>УЛПА</b>	– участники ликвидации последствий аварии
<b>УФИ</b>	– ультрафиолетовое излучение
<b>ЦНС</b>	– центральная нервная система
<b>ЧВХ</b>	– чужеродные химические вещества
<b>ЭЭГ</b>	– электроэнцефалография
<b>ЯО</b>	– ядерное оружие
<b>ЯТЦ</b>	– ядерно-топливный цикл
<b>ЯФУ</b>	– ядерная физическая установка

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Методические рекомендации к занятию № 1 (О. А. Внукович)	
3	
Основы радиационной медицины	4
Воздействие ионизирующих излучений на вещество и биомолекулы	
7	
Методы регистрации ионизирующих излучений. Дозиметрия	
12	
Самоконтроль усвоения темы	16
Методические рекомендации к занятию № 2 (А. Р. Аветисов)	19
Радиационный фон Земли	20
Радиоэкологическая ситуация в Республике Беларусь после катастрофы на ЧАЭС	24
Самоконтроль усвоения темы	30

Методические рекомендации к занятию № 3 (А. Н. Стожаров)	32
Радиочувствительность	33
Последствия действия ионизирующей радиации на человека	35
Диспансеризация населения Республики Беларусь, подвергшегося воздействию радиации	40
Самоконтроль усвоения темы	42
Методические рекомендации к занятию № 4 (Л. А. Квиткевич)	44
Контроль радиационной безопасности	45
Облучение в медицинских целях	49
Защита населения при авариях на ядерных физических установках (ЯФУ)	51
Снижение дозовых нагрузок на организм при проживании на загрязненных радионуклидами территориях	55
Самоконтроль усвоения темы	58
Методические рекомендации к занятию № 5 (Т. М. Ващенко)	61
Основы общей экологии	62
Экологические факторы	64
Основы экологической медицины	68
Экологическая характеристика гидросферы	69
Ситуация в Республике Беларусь	75
Самоконтроль усвоения темы	76
Методические рекомендации к занятию № 6 (О. М. Жерко)	78
Экологические и медицинские последствия загрязнения атмосферы	79
Экологические и медицинские последствия загрязнения литосферы и продуктов питания	86
Самоконтроль усвоения темы	94
Ответы к тестовым заданиям самоконтроля усвоения темы	96
ЛИТЕРАТУРА .....	97
СОКРАЩЕНИЯ.....	98

Учебное издание

**Стожаров Александр Николаевич**  
**Квиткевич Людмила Александровна**  
**Аветисов Арам Рубенович и др.**

# **РАДИАЦИОННАЯ МЕДИЦИНА И ЭКОЛОГИЯ**

Методические рекомендации

*Издание второе, исправленное*

Ответственный за выпуск А. Н. Стожаров  
Редактор Л. И. Жук  
Компьютерная верстка Н. М. Федорцовой

Подписано в печать 01.02.07. Формат 60×84/16. Бумага писчая «Снегурочка».

Печать офсетная. Гарнитура «Times».

Усл. печ. л. 5,35. Уч.-изд. л. 6,92. Тираж 270 экз. Заказ 75.

Издатель и полиграфическое исполнение –

Белорусский государственный медицинский университет.

ЛИ № 02330/0133420 от 14.10.2004; ЛП № 02330/0131503 от 27.08.2004.

220030, г. Минск, Ленинградская, 6.