

**БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО  
ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА**

**Дюбкова-Жерносек Т.П.**

**канд. мед. наук, доцент**

**БГУ**

# **КАТАСТРОФА НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

## **(на 4-м блоке)**

- **Дата – 26 апреля 1986 года.**
- **Выброс газо-аэрозольной струи в течение 10 сут.**
- **В связи с меняющимися погодными условиями (осадки, направление ветра) → неравномерное, «пятнами» загрязнение радионуклидами территории Беларуси.**

- **Наибольшее радиоактивное загрязнение на территории Респ. Беларусь – Гомельская, Могилевская и Брестская обл.**
- **В Гомельской области – Брагинский, Буда-Кошелевский, Ветковский, Добрушский, Ельский, Калинковичский, Кормянский, Лельчицкий, Наровлянский, Речицкий, Рогачевский, Хойникский, Чечерский районы;**
- **в Могилевской области – Быховский, Костюковичский, Краснопольский, Славгородский, Чериковский районы;**
- **В Брестской обл. – Столинский, Пинский, Лунинецкий, Дрогичинский и Барановичский районы.**

- **Сразу после катастрофы основную дозу облучения населения формировали короткоживущие радионуклиды: молибден, технеций, лантан, изотопы йода 131, 132, 133.**
- **В окружающую среду было выброшено около 60 % накопившихся в реакторе изотопов йода.**
- **Уровни радиоактивного загрязнения изотопами йода были чрезвычайно высокими.**

- **Нуклид** – атомное ядро с определенным количеством протонов и нейтронов.
- **Изотопы** – совокупность нуклидов, обладающих одинаковым количеством протонов, но разным количеством нейтронов ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{132}\text{I}$ ,  $^{133}\text{I}$ ).
- Нуклиды делятся на стабильные и радиоактивные (радионуклиды).
- **Радионуклиды** – нестабильные изотопы химических элементов, ядра которых способны самопроизвольно распадаться.

- С течением времени количество радиоактивных ядер уменьшается, т.е. происходит радиоактивный распад. При этом генерируется ионизирующее излучение.

- **Период полураспада** – интервал времени, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

- **Ионизирующее излучение** – излучение, которое создается при радиоактивном распаде, ядерных превращениях, торможении заряженных частиц в веществе.
- При взаимодействии со средой оно образует ионы разных знаков.
- **Облучение** – процесс воздействия ионизирующих излучений на объекты и среду.

# **ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОБЛУЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА**

## **Внешнее:**

- радиоактивное облако;
- радионуклиды (РН), осевшие на землю и объекты окружающей среды.

## **Внутреннее облучение:**

- РН, поступившие через дыхательные пути;
- РН, поступившие по пищевой цепи.



## **ОСНОВНЫЕ ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ В ПЕРВЫЕ ДНИ И НЕДЕЛИ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ**

- **Через органы дыхания (при вдыхании загрязненного радионуклидами воздуха).**
- **Через желудочно-кишечный тракт (с водой и пищей).**
- **Через кожу.**

# ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

## Корпускулярные:

- альфа-частицы,
- бета-частицы,
- нейтроны.

## Электромагнитные:

- гамма-излучение,
- рентгеновское излучение.

## **АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕ**

- **Представляет собой поток альфа-частиц.**
- **Альфа-частицы обладают высокой ионизирующей способностью.**
- **Они проникают в живую ткань на небольшую глубину (до нескольких десятков микрометров), но оказывают значительное разрушительное действие.**

## **ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ЗАЩИТА ОТ ВНЕШНЕГО АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЯ:**

- **любой плотный материал, например,  
лист бумаги,**
- **одежда.**

## **БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЕ**

- **Представляет собой поток бета-частиц.**
- **Бета-частицы проникают в живую ткань на несколько сантиметров.**
- **Элементарная защита от бета-частиц – алюминиевая фольга.**
- **Бета-частицы не проникают также через стекло, пластмассу.**

# **НЕЙТРОНЫ**

## **(медленные и быстрые)**

**Меры защиты от нейтронного излучения  
(торможение и поглощение нейтронов):**

- вода, парафин,**
- пластмасса, бетон,**
- борный графит, борная сталь,**
- сплав кадмия со свинцом.**

## **ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ**

- **Представляет собой поток гамма-квантов.**
- **Обладает высокой проникающей способностью.**
- **Защита от гамма-излучения – тяжелые металлы (свинец), бетон, а также грунт.**

## **РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

- **Проникающая способность зависит от длины волны.**
- **Чем меньше длина волны, тем выше энергия излучения и больше проникающая способность.**
- **Защита от рентгеновского излучения – тяжелые металлы (свинец), бетон, грунт.**



**ОСНОВНЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ,  
ФОРМИРУЮЩИЕ ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ  
ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА,  
в результате катастрофы на ЧАЭС**

**Йод-131**

**Углерод-14**

**Цезий-137**

**Плутоний-239**

**Стронций-90**

**Америций-241**

**«Горячие» частицы и др.**

## **ЙОД-131**

- **Является бета- и гамма-излучателем.**
- **Период полураспада около 8 дней.**
- **Попадает в организм через ЖКТ, легкие, неповрежденную кожу.**
- **Накапливается в щитовидной железе.**
- **Период полувыведения из организма – 138 сут.**

## **ЦЕЗИЙ-137**

- Является источником бета- и гамма-излучений.
- В организм поступает через ЖКТ.
- Интенсивно накапливается в мышечной ткани.
- По химическим свойствам похож на калий и может его замещать.
- Обладает высокой летучестью.
- Период полураспада – 30 лет, период полувыведения из организма – 100 сут.

## **СТРОНЦИЙ-90**

- **Источник бета-излучения.**
- **По химическим свойствам похож на кальций.**
- **Может вытеснять кальций из костей, накапливаясь в зонах роста у детей.**
- **Период полураспада – 29 лет.**
- **Период полувыведения из организма – 20 лет.**

## **УГЛЕРОД-14**

- **Является источником бета-излучения.**
- **В окружающую среду поступает в результате испытаний ядерного оружия и с выбросами АЭС.**
- **Период полувыведения из организма – около 100 сут.**
- **Индукцирует мутации в организме человека.**

## **ПЛУТОНИЙ-239**

- **Трансурановый элемент, образуется из урана-238.**
- **Источник альфа-излучения.**
- **Поступает в организм через дыхательные пути, формируя дозовую нагрузку на легкие.**
- **Период полураспада – более 24 000 лет, период полувыведения из организма человека – 197 лет.**

## **АМЕРИЦИЙ-241**

- **Дочерний продукт одного из изотопов плутония.**
- **Источник альфа- и гамма-излучения.**
- **Депонируется в основном в костях скелета, печени, почках, селезенке.**
- **Период полураспада – 433 года.**
- **Период полувыведения – 194 года.**

## **«ГОРЯЧИЕ» ЧАСТИЦЫ**

- **Это аэрозоль диспергированного ядерного топлива.**
- **Частицы разносятся воздухом на значительные расстояния.**
- **Основная их масса сосредоточилась в Гомельской обл. и в 30-км зоне (зона отчуждения) в результате катастрофы на ЧАЭС.**



## **«ГОРЯЧИЕ» ЧАСТИЦЫ**

- **До 70 % частиц находится в верхнем слое почвы.**
- **Представляют опасность для животного мира и людей, т. к. являются источником различных видов ионизирующих излучений.**
- **В организм «горячие» частицы попадают через дыхательные пути.**

**ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ –  
количество энергии, поглощаемое  
единицей массы облучаемого  
вещества.**

- ✓ **Определяет степень радиационного воздействия.**
- ✓ **Единица измерения (СИ) – Грей (Гр),  
или Дж/кг,  
традиционная – рад (0,01 Гр).**

- **При действии ионизирующих излучений на организм человека лучевые повреждения наблюдаются на всех уровнях :**
  - ✓ **молекулярном (повреждение ДНК, РНК, ферментов и др.);**
  - ✓ **клеточном (повреждение мембран клеток, ядер, митохондрий, гибель клетки, перерождение ее в злокачественную);**
  - ✓ **тканевом (повреждение кроветворной ткани);**
  - ✓ **на уровне отдельных органов и систем и организма в целом.**

**РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ –**  
**восприимчивость клеток, тканей**  
**или органов к воздействию**  
**ионизирующих излучений.**

**Синоним – радиопоражаемость**  
**Антоним – радиоустойчивость,**  
**или радиорезистентность**

## **НАИБОЛЕЕ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ОРГАНЫ И ТКАНИ ЧЕЛОВЕКА**

- **Костный мозг (кроветворная система).**
- **Яичники у женщин.**
- **Семенники у мужчин.**
- **Тонкий кишечник.**
- **Лимфоциты крови (погибают даже при небольших дозах облучения).**

## **КОСТНЫЙ МОЗГ**

- **Важнейший орган кроветворной системы, осуществляющий кроветворение.**
- **Кроветворение – процесс создания новых клеток крови взамен погибающих и отмирающих.**

## **КОСТНЫЙ МОЗГ**

- **Это единственная ткань взрослого организма, состоящая из незрелых, недифференцированных или низкодифференцированных клеток (стволовых клеток).**
- **Стволовые клетки близки по строению к эмбриональным клеткам.**

# КОСТНЫЙ МОЗГ

В нем выделяют 3 ростка:

- Лейкоцитарный.
- Эритроцитарный.
- Тромбоцитарный.

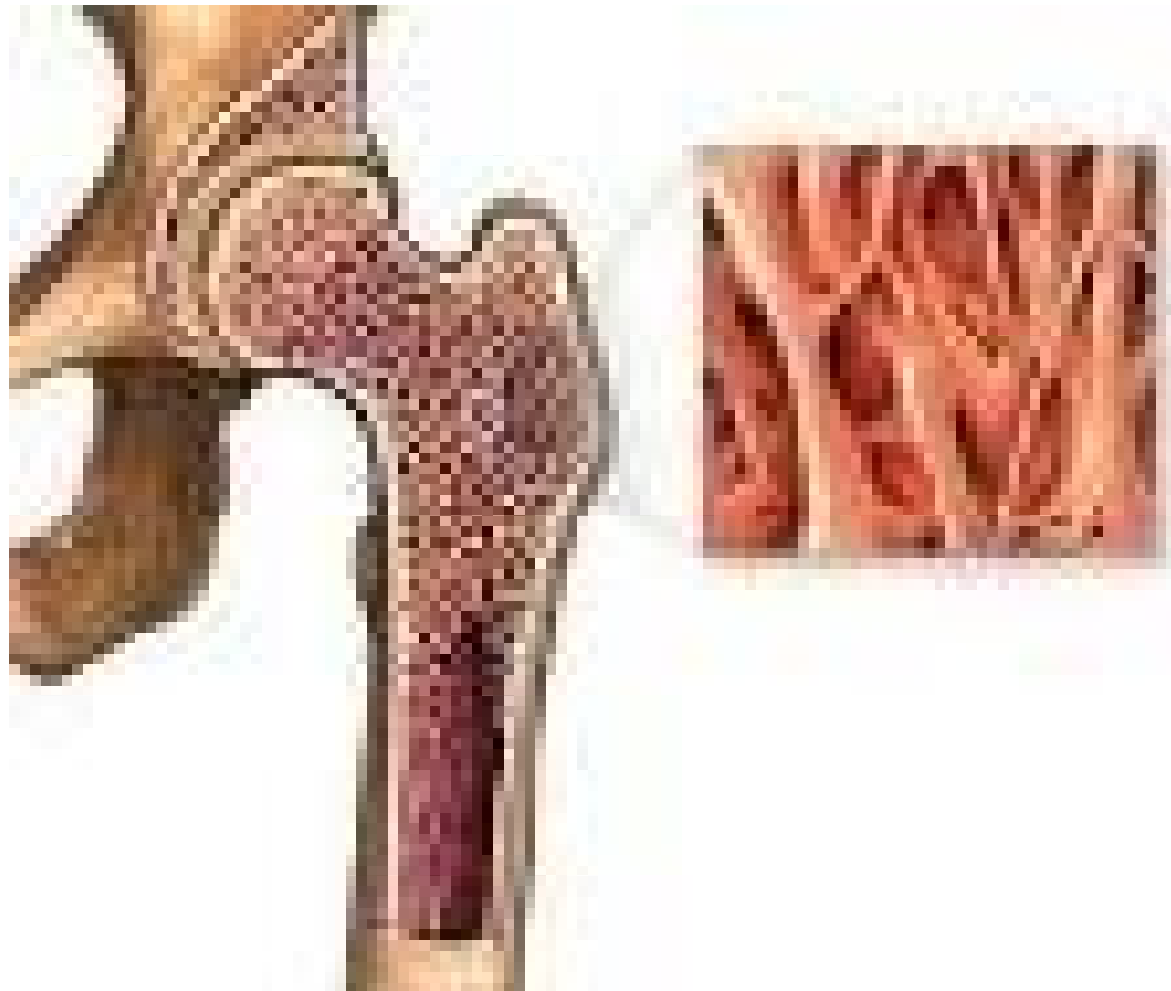
**Они являются родоначальниками соответствующих клеток крови.**



## **КОСТНЫЙ МОЗГ**

- **Находится внутри полых углублений кости (кость имеет губчатое строение).**
- **Общий вес костного мозга – 250 г.**
- **Содержат костный мозг:**  
**подвздошная кость, грудина, ребра,**  
**длинные трубчатые кости, тела**  
**позвонков (в меньшей степени).**

# Костный мозг



# НАИБОЛЕЕ РАДИОУСТОЙЧИВЫЕ ТКАНИ ЧЕЛОВЕКА

- Мышцы.
- Кости и хрящи у взрослых  
(у эмбриона – радиочувствительные).
- Нервная ткань.

# **РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК**

- **Наиболее радиочувствительные клетки – сперматогонии (клетки-предшественники сперматозоидов).**
- **Наиболее резистентные клетки – сперматозоиды.**
- **Высокой радиочувствительностью обладают женские половые клетки (яйцеклетка).**

# ЭФФЕКТЫ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОРГАНИЗМ

- **Детерминированные эффекты** возникают при дозах облучения, превышающих минимальный порог. Степень тяжести поражения возрастает с увеличением дозы облучения (например, острая лучевая болезнь).
- **Стохастические (вероятностные) эффекты** могут возникать при любых дозах облучения. С увеличением дозы облучения повышается вероятность развития эффекта (например, рака кожи), но не степени тяжести поражения. Порог дозы облучения отсутствует.

# ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

(по времени возникновения)

- **Ближайшие** (спустя часы, дни и недели после облучения).
- **Отдаленные** (спустя годы и даже десятки лет).

## **БЛИЖАЙШИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

- **Опустошение костного мозга**  
(проявляется острой лучевой болезнью).
- Развивается при облучении в диапазоне доз 1–10 Гр.
- На первый план выступают нарушения кроветворения.
- Уменьшение численности клеток костного мозга начинается сразу после облучения.

➤ **Нарушение репродуктивной функции (способности к зачатию и рождению детей):**

- однократное облучение в дозе 0,15 Гр → ↓ количества спермы,
  - ✓ облучение в дозе 3,5–6,0 Гр → пожизненная стерильность;
  - ✓ однократное облучение в дозе 1–2 Гр → прекращение менструаций на 1–3 года и временное бесплодие,
  - ✓ облучение в дозе 2,5–6,0 Гр → пожизненное бесплодие.
- **Лучевая катаракта** (помутнение хрусталика глаза).



## **ОСТРАЯ ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ**

- **Развивается при однократном внешнем равномерном облучении.**
- **Пороговая доза составляет 1 Гр.**
- **Выделяют 4 степени тяжести в зависимости от поглощенной дозы:**
  - ✓ **легкая (1–2 Гр),**
  - ✓ **средней тяжести (2–4 Гр),**
  - ✓ **тяжелая (4–6 Гр),**
  - ✓ **крайне тяжелая (6–10 Гр).**

# **1. ФАЗА ПЕРВИЧНОЙ ОСТРОЙ РЕАКЦИИ**

## **Симптомы:**

- **Тошнота.**
- **Рвота.**
- **Головная боль.**
- **Слабость.**
- **Покраснение кожи в местах наибольшего облучения.**
- **Длится от нескольких часов до 3 сут.**

## **2. ФАЗА МНИМОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ**

- **Улучшение самочувствия, обратное развитие симптомов.**
- **Снижение количества клеток крови.**
- **Продолжительность фазы — 14–30 сут.**

### **3. ФАЗА РАЗГАРА**

- **Прогрессивное уменьшение количества клеток крови.**
- **Кровоизлияния в кожу, ЖКТ, легкие, сердечную мышцу.**
- **Развитие инфекционных и гнойных заболеваний кожи и слизистых оболочек.**
- **Поражение кишечника.**
- **Интенсивное выпадение волос.**
- **Продолжительность — 1,5–2 нед.**

## **4. ФАЗА РАННЕГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

- **Обратное развитие симптомов.**
- **Продолжительность — 2–2,5 мес.**

**Острая лучевая болезнь  
сопровождается высокой  
смертностью.**

# **ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

- **Лейкозы.**
- **Рак щитовидной железы.**
- **Рак молочной железы у женщин.**
- **Рак легкого.**
- **При местном облучении – рак кожи.**

**Наблюдается увеличение частоты  
лейкозов и рака в популяции.**

**Потомство облученных родителей  
имеет повышенный риск  
злокачественных опухолей  
любой локализации**

# **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

**(после катастрофы на ЧАЭС)**

## **1. Высокая частота мутаций хромосом →**

- ✓ внутриутробная гибель зародыша,**
- ✓ самопроизвольные выкидыши,**
- ✓ мертворождения.**

**Проявляются преимущественно  
в 1-м и 2-м поколениях после облучения.**



**2. Нарушение эмбрионального развития → множественные врожденные пороки развития (ВПР) плода, аномалии скелета и др.**

**3. Подъем рождаемости детей с синдромом Дауна (геномная мутация) → пик частоты в январе 1987 года).**

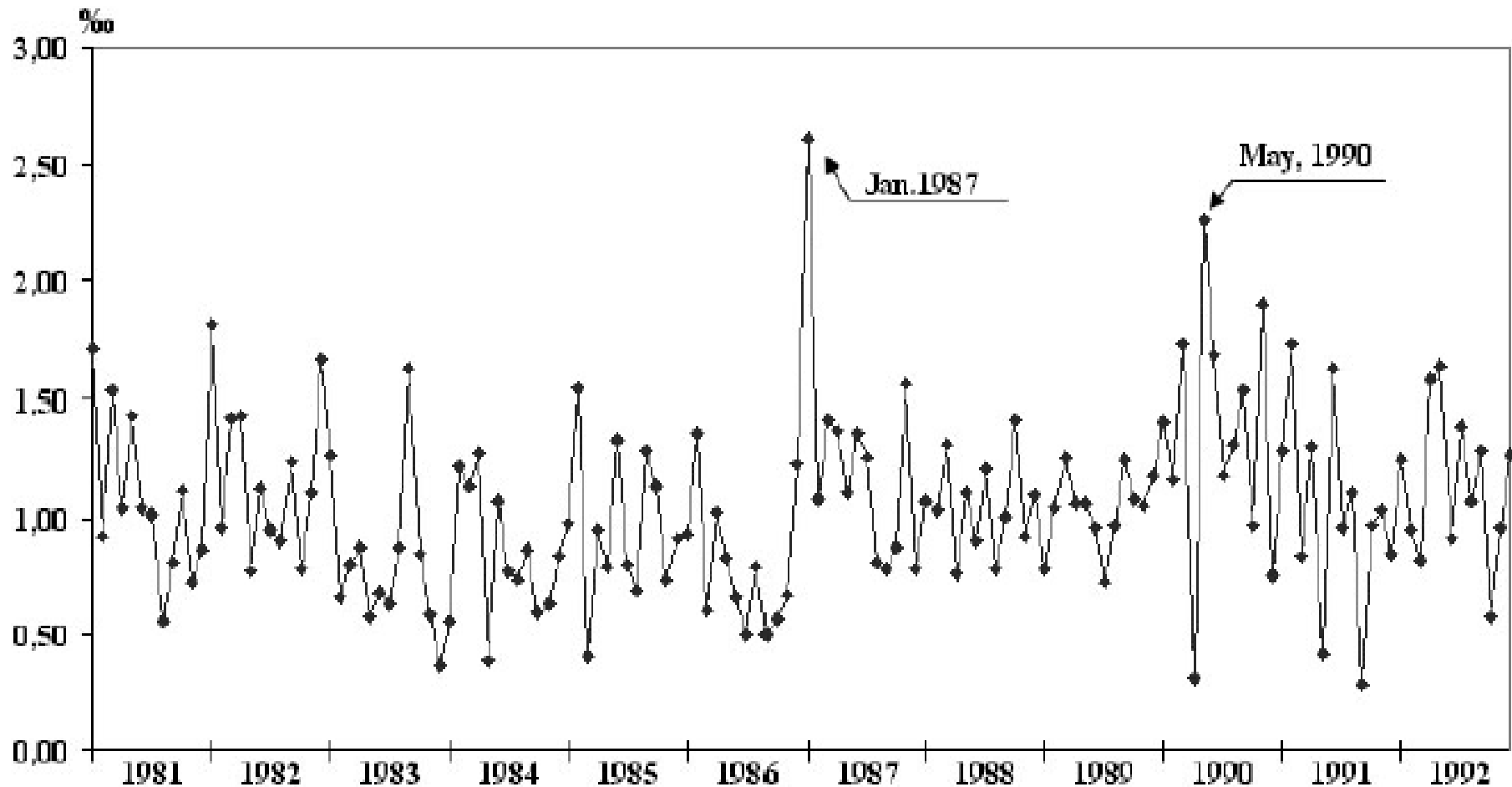
**Ежемесячная частота синдрома Дауна в Беларуси в период 1981-1992 гг. (n=1961)**

Название: Report on occurrence of Down syndrome in Belarus after Chernobyl

Дата: 2006

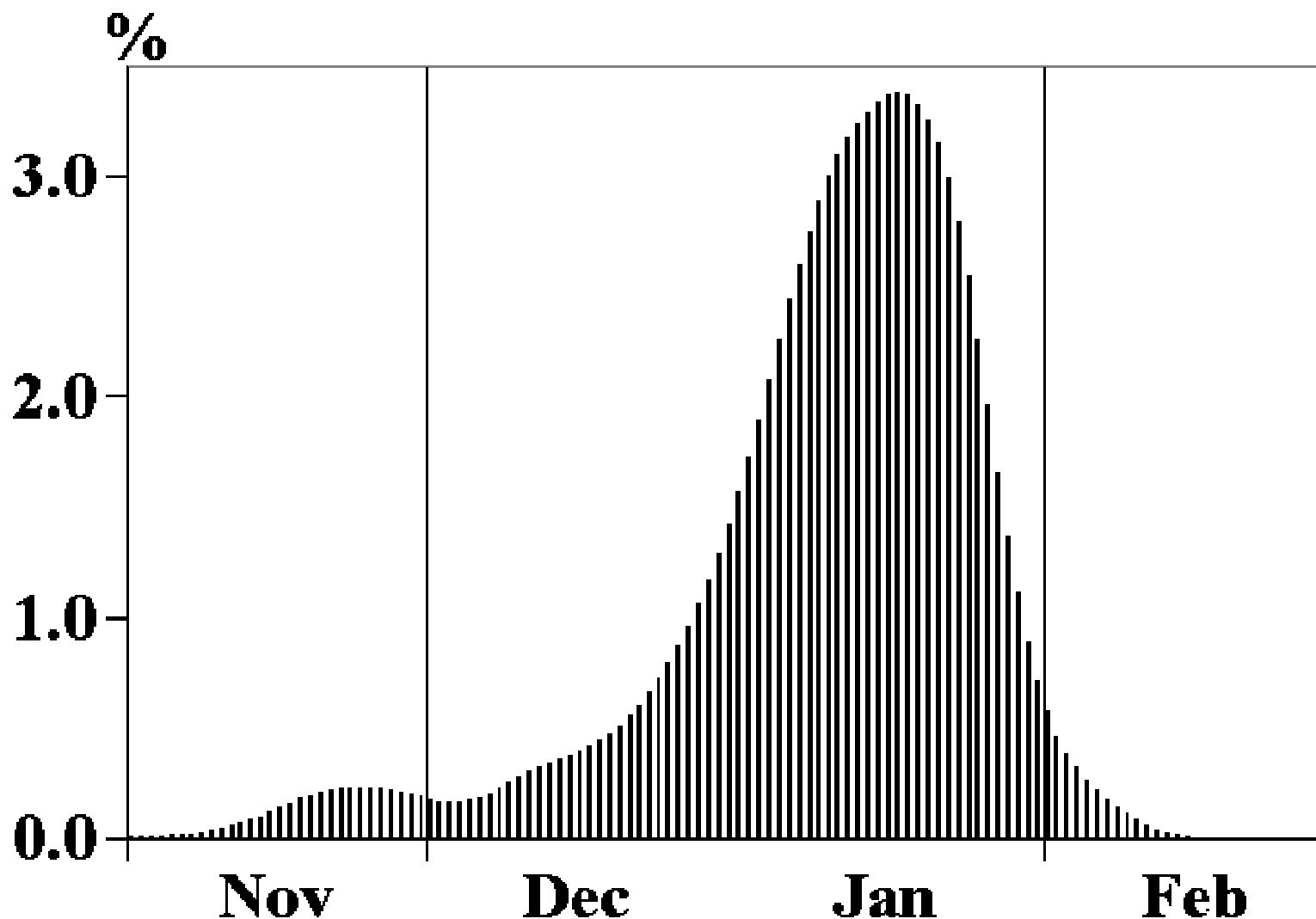
[http://www.who.int/ionizing\\_radiation/chernobyl/who\\_chernobyl\\_report\\_2006.pdf](http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/who_chernobyl_report_2006.pdf)

Автор: Zatsepin et al.



Модальное распределение детей по дате рождения, зачатых в течение первых 10 дней после катастрофы на ЧАЭС (Zatsepin et al., 2006 )

На январь 1987 г. приходится 78% случаев (синдром Дауна).



# **СИНДРОМ ДАУНА**

- **Обусловлен изменением числа хромосом (трисомия по 21-й хромосоме).**
- **Регистрируется одинаково часто у мальчиков и девочек.**
- **В 94 % случаев – добавочная хромосома (в кариотипе – 47 хромосом).**
- **Возможно точное установление диагноза у плода в период беременности (кариотипирование).**