

**Тема № 1.7 «Лучевые поражения  
в результате внешнего общего  
(тотального) облучения и  
внутреннего радиоактивного  
заражения»**

**Для студентов 5 и 6 курса  
«Медицине чрезвычайных  
ситуаций»**

Topic No. 1.7 “Radiation injury due to external general (total) exposure and internal radioactive contamination”

For 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> year students in  
Emergency Medicine

# Вопросы

1. Классификация лучевых поражений от внешнего облучения в зависимости от вида и условий воздействия
2. Острая лучевая болезнь
3. Отдаленные последствия общего (тотального) облучения
4. Поступление радионуклидов в организм и их выведение
5. Биологическое действие радиоактивных веществ. Характеристика наиболее распространенных изотопов
6. Лучевые поражения в результате алиментарного и ингаляционного поступления продуктов ядерного деления

# Questions

- 1. Classification of radiation injuries from external exposure depending on the type and conditions of exposure**
- 2. Acute radiation syndrome**
- 3. Long-term effects of general (total) irradiation**
- 4. Entry of radionuclides into the organism and their excretion**
- 5. Biological effect of radioactive substances.  
Characteristics of the most common isotopes**
- 6. Radiation injuries as a result of alimentary and inhalation intake of nuclear fission products**

**Вопрос 1 Классификация лучевых  
поражений от внешнего  
облучения в зависимости от вида и  
условий воздействия**

Question 1 Classification of radiation injury  
from external exposure depending on the type  
and conditions of exposure



### **Различают лучевые поражения:**

- от гамма- или рентгеновского излучения,
- от нейтронного излучения,
- от бета-излучения (при внешнем воздействии альфа- излучения поражение не может возникнуть).

**Рентгеновы и гамма-лучи, а также нейтроны высоких энергий характеризуются высокой проникающей способностью и оказывают повреждающее воздействие на все ткани, лежащие на пути пучка.**

**При общем облучении в соответствующей дозе в этом случае развивается ОЛБ.**

**ОЛБ может быть вызвана и воздействием высокоэнергетичных электронов, генерируемых в специальных ускорителях.**

**Бета-излучение, исходящее от радиоактивных источников, находящихся вблизи человека, обладает невысокой проникающей способностью и может явиться причиной поражения только кожи и слизистых**

**Тяжесть лучевого поражения зависит, в первую очередь от дозы облучения.**

**При общем внешнем гамма- или нейтронном облучении доза является основным фактором, определяющим развитие той или иной патогенетической формы ОЛБ и степени ее тяжести**

**Клинические проявления, наблюдающиеся иногда после облучения в дозах менее 1 Гр называют лучевой реакцией.**



**A distinction is made between radiation injury:**

- **from gamma or x-ray radiation,**
- **from neutron radiation,**
- **from beta radiation (external exposure to alpha radiation cannot cause injury).**

**X-rays, gamma-rays and high-energy neutrons are characterised by high penetrating power and have a damaging effect on all tissues in the beam path.**

**In this case, general exposure to an appropriate dose will result in the development of ARS.**

**ARS can also be caused by high-energy electrons generated in special accelerators.**

**Beta radiation from radioactive sources in the vicinity of a person has a low penetrating power and may cause injury only to the skin and mucous membranes**

**The severity of radiation injury depends primarily on the radiation dose.**

**In general external gamma- or neutron irradiation, the dose is the main factor determining the development of one or another pathogenetic form of ARS and the degree of its severity**

**Clinical manifestations sometimes observed after irradiation at doses less than 1 Gy are called radiation reaction.**

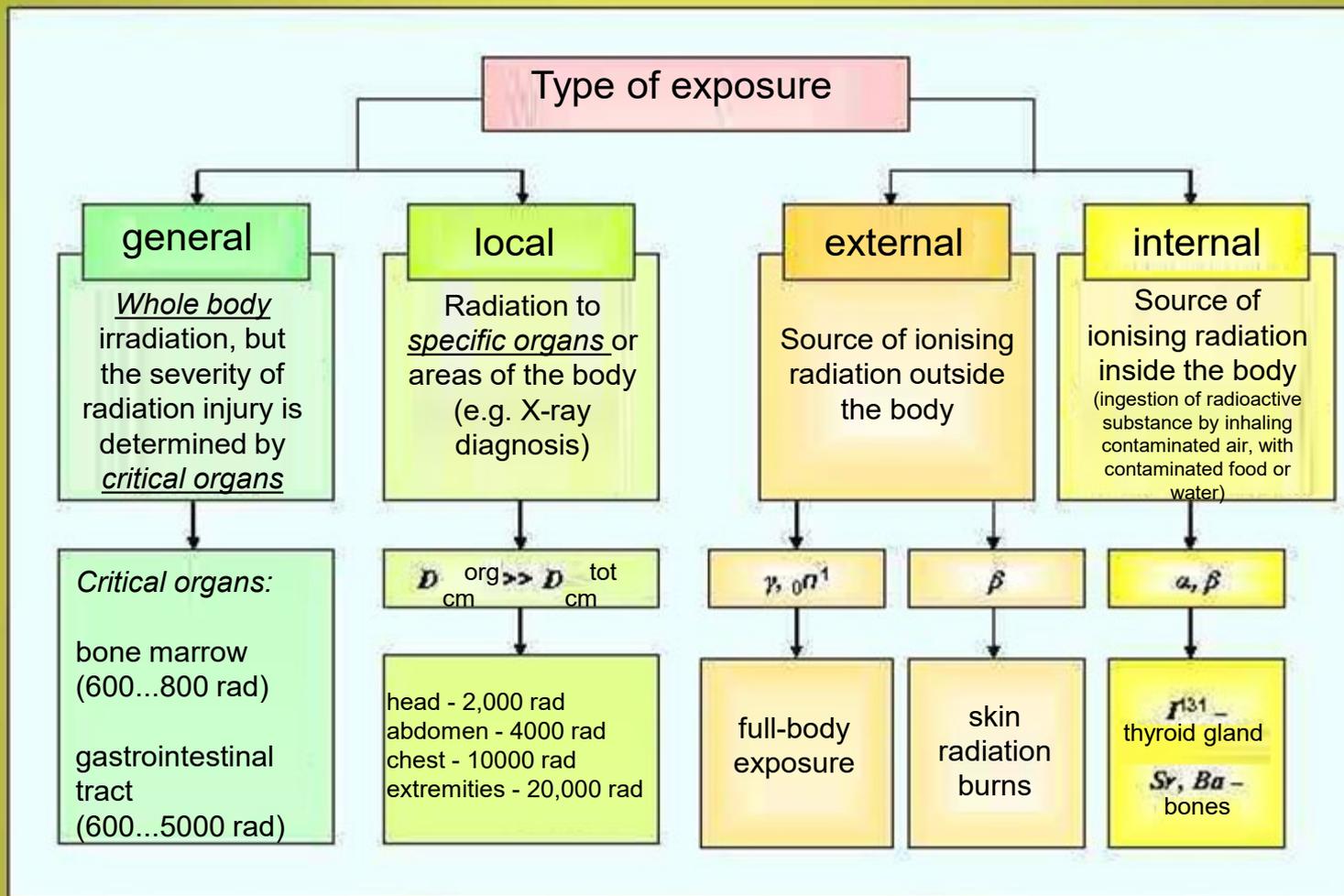
# ХАРАКТЕР ОБЛУЧЕНИЯ

34



## TYPE OF EXPOSURE

34





Различают *общее (тотальное)* и *местное (локальное)*.

Общее облучение бывает *равномерным* и *неравномерным*.

Неравномерность распределения дозы может создаваться вследствие экранирования отдельных областей тела, а также в результате внутреннего поглощения при прохождении излучения через толщу тканей.

В реальных условиях облучение всегда в той или иной степени неравномерно. Однако, если различия в дозах, поглощенных разными участками тела не превышают 10-15%, такое облучение называют равномерным.

При локальном облучении в дозах, превышающих толерантность тканей, находящихся на пути пучка, возникают местные лучевые поражения. Такие поражения наиболее характерны для ситуаций, связанных с лучевой терапией злокачественных новообразований, но могут возникнуть и при радиационных авариях и инцидентах.

Если местное повреждение тканей происходит на фоне общего облучения в дозах, (неравномерное облучение с высокой степенью неравномерности) приводящих к развитию ОЛБ, поражение называют *сочетанным*.



A distinction is made between *general (total)* and *local* exposure.

General irradiation can be *uniform* and *non-uniform*.

Non-uniformity of dose distribution can be caused by shielding of separate areas of the body, as well as by internal absorption when radiation passes through the thickness of tissues.

In real conditions, exposure is always non-uniform to some degree. However, if the differences in doses absorbed by different parts of the body do not exceed 10-15%, such irradiation is called uniform.

In case of local irradiation at doses exceeding the tolerance of tissues in the beam path, local radiation injuries occur. Such injuries are most common in situations involving radiation therapy of malignant neoplasms, but may also occur in radiation accidents and incidents.

If local tissue injury occurs against the background of general irradiation at doses (irregular irradiation with a high degree of irregularity) leading to the development of ARS, the injury is called a *combined* injury.



Подразделяют на *однократные* и *фракционированные*.

По общей продолжительности набора дозы выделяют *кратковременное, пролонгированное* и *хроническое* облучения.

В зависимости от длительности облучения развиваются *острые, подострые* и *хронические* формы лучевого поражения.

Развитие острого поражения (особенно это относится к ОЛБ) характерно для варианта облучения, при котором продолжительность периода набора поражающей дозы не превышает одной- полутора недель.

При более длительном (пролонгированном) облучении развиваются подострые формы поражения.

Если же общая продолжительность облучения превышает несколько месяцев, развиваются хронические формы.

При этом важна общая длительность облучения, и несущественно, было ли облучение непрерывным или разделенным на фракции



They are divided into *single* and *fractionated*.

*Short-term*, *prolonged* and *chronic* irradiation are distinguished according to the total duration of the dose set.

Depending on the duration of irradiation, *acute*, *subacute* and *chronic* forms of radiation injury develop.

The development of acute injury (this is especially true for ARS) is characteristic for the variant of irradiation, when the duration of the period of accumulation of the dose does not exceed one to one and a half weeks.

In case of longer (prolonged) exposure, subacute forms of injury develop.

If the total duration of exposure exceeds several months, chronic forms develop. In this case, the total duration of irradiation is important, and it is immaterial whether the irradiation was continuous or divided into fractions

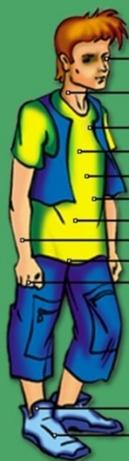
**Вопрос 2 Острая лучевая болезнь**  
Question 2 Acute radiation syndrome

# Острая лучевая болезнь

— это биологическая форма, возникающая в результате острого внешнего относительно равномерного гамма- или гамма-нейтронного облучения всего организма или большей его части в



## ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ



- Хрусталик глаза
- Кожный покров
- Легкие
- Красный костный мозг
- Почки
- Печень
- Желудок, кишечник
- Предплечья
- Половые органы
- Кисти рук

- Лодыжки
- Стопы

### ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ

- 1 степень - менее 200 рентген
- 2 степень - 200-300 рентген
- 3 степень - 400-700 рентген
- 4 степень - более 700 рентген

### ГРУППЫ КРИТИЧЕСКИХ ОРГАНОВ

- 1-я группа
- 2-я группа
- 3-я группа

**ОЛБ** — симптомокомплекс, развивающийся в результате общего однократного равномерного или относительно равномерного внешнего рентгеновского,  $\gamma$ - и (или) нейтронного облучения в дозе не менее 1 Гр.

Каждое из перечисленных условий является необходимым для формирования ОЛБ. Так, если доза облучения меньше 1 Гр, лучевое поражение проявляется, преимущественно, гематологическими изменениями («острая лучевая реакция») без существенного ухудшения функционального состояния организма

• Возможны лишь лёгкие транзиторные клинические проявления в виде тошноты и чувства слабости.

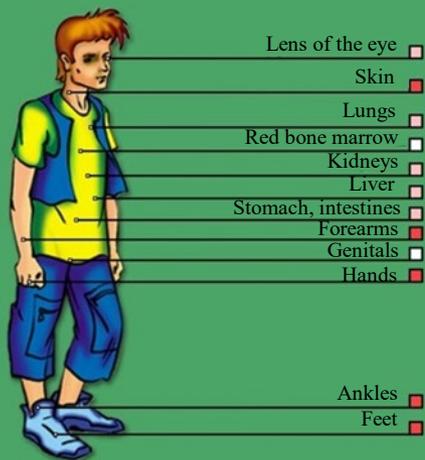
Если большая часть дозы получена в результате пролонгированного облучения, заболевание приобретает подострое течение, а если необходимая доза накапливается несколько месяцев, формируется ХЛБ

# Acute radiation syndrome

is a nosological form resulting from acute external relatively uniform gamma- or gamma-neutron irradiation of the whole organism or most of its part at a dose exceeding 1 Gy (1 Gy = 100 rad)



## RADIATION SYNDROME



### RADIATION SYNDROME

- 1 degree - less than 200 X-rays
- 2 degree - 200-300 X-rays
- 3 degree - 400-700 X-rays
- 4 degree - more than 700 X-rays

### CRITICAL ORGAN GROUPS

- 1st group
- 2nd group
- 3rd group

**ARS is a symptom complex that develops as a result of total single uniform or relatively uniform external X-ray,  $\gamma$ - and (or) neutron irradiation at a dose of at least 1 Gy.**

**Each of the listed conditions is necessary for the formation of ARS. Thus, if the radiation dose is less than 1 Gy, the radiation injury is manifested mainly by haematological changes (“acute radiation reaction”) without significant deterioration of the functional state of the organism**

**Only mild transient clinical manifestations in the form of nausea and a feeling of weakness are possible.**

**If most of the dose is received as a result of prolonged exposure, the disease takes on a subacute course, and if the required dose is accumulated over several months, CRS is formed**



**При экранировании во время облучения значительных по объёму частей тела (т.е. несоблюдении условия равномерности пространственного распределения дозы) клиническая картина также не соответствует ОЛБ, определяясь, преимущественно, местным лучевым поражением.**

**В клинике ОЛБ преобладают проявления поражения той тканевой системы, дисфункция которой лимитирует продолжительность жизни организма при данной дозе облучения. Такая тканевая система называется критической.**

**В зависимости от дозы, в качестве критической тканевой системы при внешнем облучении могут выступать кроветворная, пищеварительная или центральная нервная система. В соответствии с этим выделяют четыре клинические формы ОЛБ.**



**When significant body parts are shielded during irradiation (i.e. the condition of uniformity of spatial dose distribution is not met), the clinical picture also does not correspond to ARS, being determined mainly by local radiation injury.**

**In the clinic of ARS, the manifestations of the tissue system injury, the dysfunction of which limits the life expectancy of the organism at a given dose of radiation, predominate. Such tissue system is called critical.**

**Depending on the dose, the hematopoietic, digestive or central nervous system may act as a critical tissue system at external irradiation. Accordingly, four clinical forms of ARS are distinguished.**

**Костно-мозговая форма ОЛБ**  
**Bone marrow form of ARS**

В случае общего облучения в дозах 1-6 Гр судьба организма определяется поражением, преимущественно, кроветворной ткани. Костномозговую форму иногда называют типичной, поскольку при ней наиболее чётко проявляется присущий ОЛБ периодизм.

***В течении ОЛБ выделяют:***

- 1) период общей первичной реакции на облучение;
- 2) скрытый период (период мнимого благополучия);
- 3) период разгара;
- 4) период восстановления.

### **Период общей реакции**

Свободные радикалы, образовавшиеся в результате взаимодействия продуктов радиолиза воды между собой и с кислородом, повреждают биомолекулы, вызывая образование ***радиотоксинов***.

Обусловленные этим повышение проницаемости сосудистой стенки, нарушение регуляции сосудистого тонуса, мощная афферентная импульсация и гиперстимуляция рвотного центра составляют патогенетическую основу симптомокомплекса общей первичной реакции на облучение.

Он включает в себя диспептический (тошнота, рвота, при нейтронном облучении – диарея) и астено-вегетативный (головная боль, слабость, гиподинамия, артериальная гипотензия) синдромы.

In case of general irradiation at doses of 1-6 Gy, the outcome of the organism is mainly determined by the hematopoietic tissue injury. The bone marrow form is sometimes called the typical form, because it most clearly manifests the periodism inherent in ARS.

*In the course of ARS distinguish:*

- 1) period of general primary reaction to radiation;
- 2) latent period (period of seeming well-being);
- 3) peak period;
- 4) recovery period.

### **Period of general reaction**

Free radicals formed as a result of interaction of water radiolysis products between themselves and with oxygen injure biomolecules, causing the formation of *radiotoxins*.

The resulting increase in permeability of the vascular wall, impaired regulation of vascular tone, powerful afferent impulse and hyperstimulation of the vomiting center form the pathogenetic basis of the symptom complex of the general primary reaction to radiation.

It includes dyspeptic (nausea, vomiting, diarrhoea in case of neutron irradiation) and astheno-vegetative (headache, weakness, hypodynamia, arterial hypotension) syndromes.

**В периферической крови в это время прогрессирует дозозависимое снижение числа лимфоцитов, гибнущих в течение нескольких часов после облучения.**

**В течение первых суток отмечается нейтрофильный лейкоцитоз (этот показатель неспецифичен для лучевого воздействия и количественно не связан с дозой).**

**Выраженность и продолжительность общей первичной реакции на облучение тем больше, чем выше доза облучения.**

**Время начала проявлений этого симптомокомплекса, напротив, отрицательно связано с дозой.**

**Диагностика ОЛБ в первые 2-3 суток после облучения основывается на перечисленных проявлениях общей первичной реакции на облучении..**

**Вспомогательное диагностическое значение в эти сроки может иметь возникновение распространённой лучевой эритемы после общего облучения в дозах более 6 Гр.**



**In peripheral blood at this time there is a dose-dependent decrease in the number of lymphocytes, which die within a few hours after irradiation.**

**Neutrophilic leucocytosis is noted during the first day (this indicator is non-specific for radiation exposure and is not quantitatively related to dose).**

**The severity and duration of the general primary reaction to irradiation is greater the higher the dose of irradiation.**

**The time of onset of manifestations of this symptom complex, on the contrary, is negatively related to dose.**

**Diagnosis of ARS in the first 2-3 days after irradiation is based on the listed manifestations of the general primary reaction to irradiation.**

**The occurrence of widespread radiation erythema after general irradiation at doses of more than 6 Gy may have auxiliary diagnostic value in these periods.**



## Первичная реакция

Первичная реакция			Доза
Время начала	Продолжительность	Характер рвоты	
1-12 ч	1-12 ч	однократная	1-2 Гр
10 мин – 4 часа	12 ч – 2 суток	двукратная	2-4 Гр
5 мин -1 час	2-3 суток	многократная	4-6 Гр
5-10 мин	3-4 суток	неукротимая	более 6 Гр

### В течение лучевой болезни различают четыре периода:

**Первый** — период первичной реакции на облучение.

Проявляется:

- резкой слабостью
- головокружением
- головной болью,
- тошнотой,
- рвотой,
- поносом,
- лихорадочным состоянием.



При очень большой дозе облучения возможны смертельные исходы в первом периоде.

## Initial reaction

Initial reaction			Dose
Start time	Duration	Nature of vomiting	
1-12 h	1-12 h	single-shot	1-2 Gy
10 min – 4 hours	12 h – 2 days	dualfold	2-4 Gy
5 min -1 hours	2-3 days	multiple	4-6 Gy
5-10 min	3-4 days	uncontrollable	more than 6 Gy

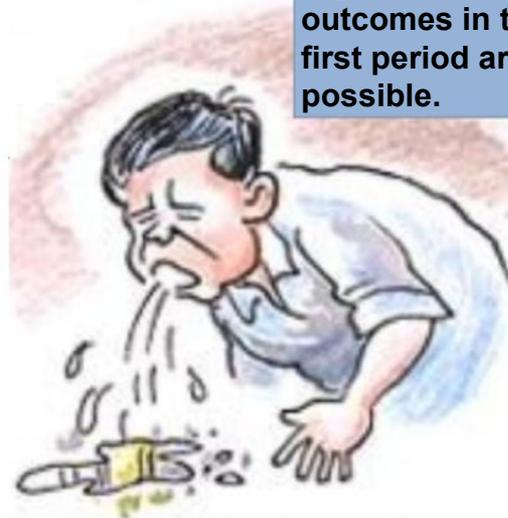
### Four periods are distinguished in the course of radiation syndrome:

**The first** is the period of primary reaction to radiation.

It manifests itself by:

- abrupt weakness,
- dizziness,
- headache,
- nausea,
- vomiting,
- diarrhoea,
- febrile state.

If the dose is very high, lethal outcomes in the first period are possible.



## Скрытый период

К концу периода общей первичной реакции на облучение циркулирующие в крови токсичные соединения, в основном, выводятся, уровень патологической импульсации в нервную систему снижается.

Высокие компенсаторные возможности нервной системы обеспечивают восстановление её функций, благодаря чему исчезают клинические проявления первичной реакции.

Изменения же в критической системе организма - кроветворной - ещё не успевают отразиться на численности её зрелых клеток.

Причина этого заключается в том, что облучение вызывает гибель лишь способных к делению клеток кроветворной системы. Сами же форменные элементы крови, как и их непосредственные предшественники, составляющие пул созревающих клеток, радиорезистентны. Поэтому, несмотря на облучение, созревающие клетки завершают программу дифференцировки, на что, как и в норме, требуется 5 суток.

В течение этого времени физиологическая убыль форменных элементов компенсируется притоком созревших клеток из костного мозга, благодаря чему уровень гранулоцитов и тромбоцитов в периферической крови не снижается.

На 5 сутки после облучения уровень большинства форменных элементов в крови начинает падать – наступает фаза *«первичного опустошения»*.

## Latent period

By the end of the period of general primary reaction to irradiation, the toxic compounds circulating in the blood are mostly eliminated, the level of pathological impulse to the nervous system decreases.

High compensatory capabilities of the nervous system provide restoration of its functions, due to which clinical manifestations of the primary reaction disappear.

The changes in the critical system of the organism, the hematopoietic system, do not yet have time to affect the number of its mature cells.

The reason for this is that irradiation causes the death of only the cells of the hematopoietic system capable of division. The same blood formed elements, as well as their immediate precursors that make up the pool of maturing cells, radio-resistant. Therefore, despite irradiation, maturing cells complete the differentiation programme, which, as in the norm, requires 5 days.

During this time the physiological loss of formed elements is compensated by the inflow of mature cells from the bone marrow, due to which the level of granulocytes and platelets in the peripheral blood does not decrease.

On the 5th day after irradiation, the level of most of the formed elements in the blood starts to fall - the phase of “*primary emptying*” begins.

Клинически это проявляется лишь после того, как содержание клеток опускается до критически низкого уровня, составляющего для нейтрофильных гранулоцитов 15-20%, а для тромбоцитов – 10-15% от исходного.

Время, требуемое для достижения этого уровня, и определяет продолжительность скрытого периода.

Жалобы на состояние здоровья в скрытом периоде отсутствуют или незначительны; работоспособность сохранена. Поэтому реконструкция дозы облучения в это время базируется на гематологических показателях.

Вспомогательное диагностическое значение может иметь лучевая алоpecia, наблюдаемая в конце скрытого периода при облучении в дозах, превышающих 3 Гр.

**Продолжительность скрытого периода тем меньше, чем выше доза облучения.**

При *лёгкой форме* ОЛБ скрытый период может закончиться лишь через 30 и более суток после облучения.

При *средней* – через 15-30 суток.

При *тяжелой* – через 5-20 суток.

При *крайне тяжёлой* – скрытый период может отсутствовать.

Прогнозирование продолжительности скрытого периода важно для своевременной эвакуации больных.

**Clinically, this manifests itself only after the cell count has fallen to a critically low level of 15-20% from baseline for neutrophil granulocytes and 10-15% for platelets.**

**The time it takes to reach this level determines the duration of the latent period.**

**Health complaints in the latent period are absent or insignificant; working capacity is preserved. Therefore, reconstruction of radiation dose at this time is based on haematological parameters.**

**Radiation alopecia observed at the end of the latent period at doses exceeding 3 Gy may be of auxiliary diagnostic value.**

**The higher the radiation dose, the shorter the latent period.**

**In the *mild form* of ARS, the latent period may end only 30 days or more after irradiation.**

**In *moderate* - after 15-30 days.**

**In *severe* - after 5-20 days.**

**In *extremely severe* cases, the latent period may be absent.**

**Predicting the duration of the latent period is important for timely evacuation of patients.**

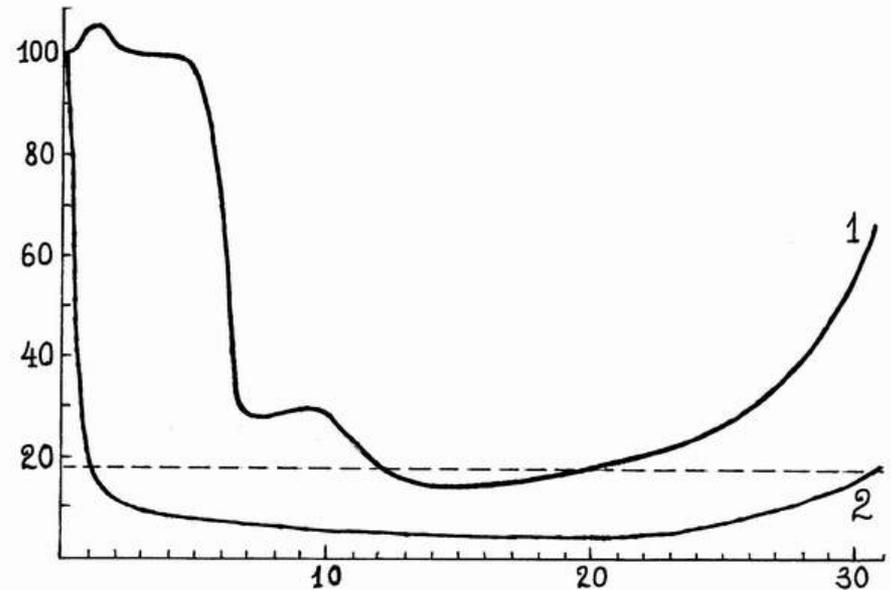
## Период разгара

Его наступление при типичной форме ОЛБ обусловлено падением числа функциональных клеток крови ниже критического уровня.

Гранулоцитопения и тромбоцитопения представляют собою ведущие причины развития аутоинфекционных осложнений и геморрагического синдрома – потенциально смертельных клинических проявлений ОЛБ в период разгара

### Динамика содержания нейтрофильных гранулоцитов (1) и лимфоцитов (2) в периферической крови при ОЛБ

По оси абсцисс – время после облучения, сутки; по оси ординат – содержание клеток крови в процентах от исходного уровня. Пунктиром показан критический уровень для нейтрофильных гранулоцитов.



Глубина и продолжительность цитопении и, соответственно, тяжесть клинических проявлений ОЛБ, зависят, прежде всего, от дозы облучения. Существенное значение имеют и различия в индивидуальной радиочувствительности организма.

Непосредственной причиной смерти при ОЛБ чаще всего служат тяжёлые инфекционные процессы и кровоизлияния в жизненно важные органы

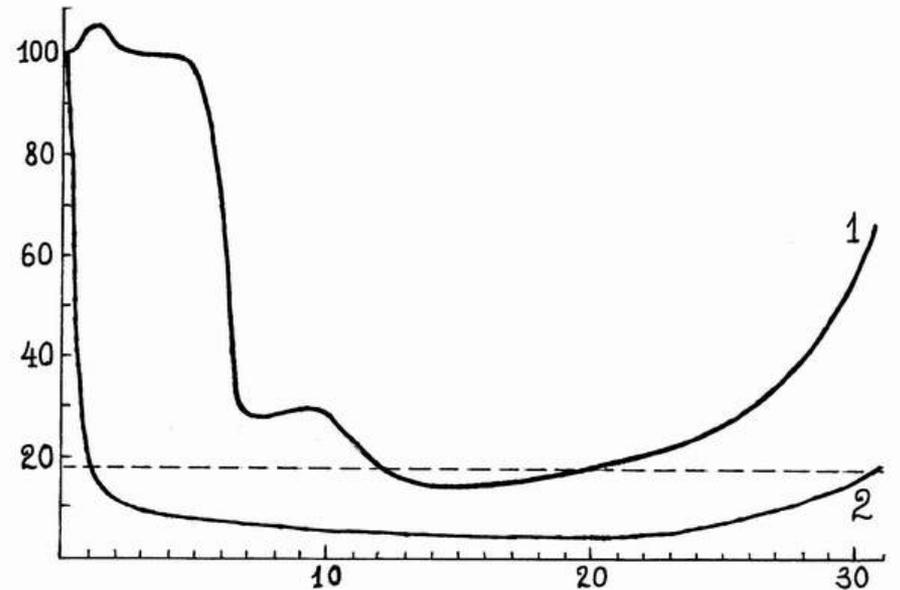
## Peak period

Its onset in a typical form of ALS is caused by a drop in the number of functional blood cells below a critical level.

Granulocytopenia and thrombocytopenia are the leading causes of autoinfectious complications and haemorrhagic syndrome - potentially lethal clinical manifestations of ARS during the peak period

### Dynamics of neutrophil granulocyte (1) and lymphocyte (2) content in peripheral blood during ARS

On the abscissa axis - time after irradiation, day; on the ordinate axis - blood cell content in per cent of the initial level. The dotted line shows the critical level for neutrophil granulocytes.



The depth and duration of cytopenia and, consequently, the severity of clinical manifestations of ARS depend, first of all, on the radiation dose. Differences in individual radiosensitivity of the organism are also significant.

The immediate cause of death in ARS is most often severe infectious processes and haemorrhages in vital organs

## Период восстановления

Если в период разгара не наступит смерть, начинается период восстановления, в течение которого происходит полная или частичная нормализация функций критических систем организма

## Прогноз для жизни

При ОЛБ *лёгкой степени* – благоприятный.

При ОЛБ *средней степени* – благоприятный при проведении надлежащего лечения.

При ОЛБ *тяжёлой степени* прогноз сомнительный: даже интенсивная комплексная терапия не всегда оказывается успешной.

Продолжительность жизни в случаях, заканчивающихся летально, составляет при типичной форме ОЛБ 3-5 недель.

Трудоспособность при ОЛБ *лёгкой степени* во все периоды сохраняется. В течение 2-го месяца болезни требуется ограничение тяжёлого физического труда.

При ОЛБ *средней степени* к началу 3-го месяца болезни возможно возвращение к лёгкому труду, а через год – к обычной деятельности.

После перенесённой ОЛБ *тяжёлой степени* работоспособность полностью не восстанавливается. Лёгкий труд возможен с 4-го месяца болезни

## Recovery period

If death does not occur during the acute period, the recovery period begins, during which the functions of critical body systems fully or partially normalise

## Prognosis for life

In *mild* ARS - favourable.

In *moderate* ARS, the prognosis is favourable with proper treatment.

In *severe* ARS, the prognosis is doubtful: even intensive complex therapy is not always successful.

Life expectancy in cases ending lethally is 3-5 weeks in a typical form of ARS.

Labour capacity in *mild* ARS in all periods is preserved. During the 2nd month of the disease, restriction of heavy physical labour is required.

In *moderate* ARS by the beginning of the 3rd month of the disease it is possible to return to light labour, and after a year - to normal activity.

After *severe* ARS, the ability to work is not fully restored. Light labour is possible from the 4th month of the disease

**Кишечная форма ОЛБ**  
**Intestinal form of ARS**

После общего облучения в дозах 10-20 Гр развивается кишечная форма ОЛБ, основу проявлений которой составляет кишечный синдром.

Этот симптомокомплекс развивается в течение недели после облучения. Он связан с повреждением и гибелью клеток эпителия тонкой кишки. Основная роль в механизмах оголения подслизистого слоя отводится прямому радиационному поражению стволовых клеток эпителия. Имеет значение также нарушение трофики кишечной стенки.

Наиболее важным следствием оголения подслизистого слоя тонкой кишки является прекращение резорбции из её просвета воды и электролитов. Развивается дегидратация, которая сама по себе угрожает жизни больного.

Из-за нарушения барьерной функции кишечной стенки во внутреннюю среду поступают токсичные вещества – в частности, токсины кишечной палочки. Их количество также может оказаться несовместимым с жизнью.

По этой же причине в кровь и лимфу проникает кишечная микрофлора. Её размножению способствует развивающаяся одновременно гранулоцитопения.



**After general irradiation at doses of 10-20 Gy, the intestinal form of ARS develops, the basis of its manifestations is the intestinal syndrome.**

**This symptom complex develops within a week after irradiation. It is associated with injury and death of epithelial cells of the small intestine. The main role in the mechanisms of submucosal layer exposure is attributed to direct radiation injury of epithelial stem cells. Impaired trophicity of the intestinal wall is also significant.**

**The most important consequence of exposure of submucosal layer of small intestine is the cessation of water and electrolytes resorption from its lumen. Dehydration develops, which itself threatens the life of the patient.**

**Due to the impaired barrier function of the intestinal wall, toxic substances - in particular *E. coli* toxins - enter the internal environment. Their quantity may also be incompatible with life.**

**For the same reason, intestinal microflora enters the blood and lymph. Its multiplication is facilitated by the granulocytopenia that develops at the same time.**



В течении кишечной формы ОЛБ часто можно выделить отдельные периоды, подобные тем, которые описывались при костномозговой форме.

**Начальный период** отличается большей тяжестью проявлений и большей длительностью. С первых дней отмечается диарея. Снижается артериальное давление (иногда коллаптоидное состояние). Весьма выражена и длительно сохраняется ранняя эритема кожи и слизистых. Температура тела повышается до фебрильных значений. Больные жалуются на боль в животе, мышцах, суставах, голове.

Продолжительность первичной реакции при кишечной форме ОЛБ составляет 2-3 суток.

Затем может наступить **кратковременное улучшение** общего состояния (эквивалент скрытого периода костномозговой формы ОЛБ), однако проявления заболевания полностью не исчезают. Продолжительность скрытого периода не превышают 3 суток.

Наступление **периода разгара** кишечной формы ОЛБ знаменуется резким ухудшением самочувствия, развитием диареи, повышением температуры тела до 39-40°C, развитием проявлений орофарингеального синдрома, обезвоживания, интоксикации и эндогенной инфекции.

Смертельному исходу обычно предшествует развитие сопора и комы.

При условии лечения поражённые с кишечной формой ОЛБ могут прожить до двух и даже двух с половиной недель.

В этом случае есть время для развития вторичной инфекции и кровоточивости, которые и служат причиной смерти.

In the course of the intestinal form of ARS, it is often possible to distinguish separate periods similar to those described for the bone marrow form.

The *initial period* is characterised by greater severity of manifestations and longer duration. Diarrhoea is noted from the first days. Blood pressure decreases (sometimes collaptoid state). Early erythema of the skin and mucous membranes is very pronounced and long-lasting. Body temperature rises to febrile figures. Patients complain of pain in the abdomen, muscles, joints, head.

The duration of the primary reaction in the intestinal form of ARS is 2-3 days.

Then there may be a *short-term improvement* in the general condition (equivalent to the latent period of the bone marrow form of ARS), but the manifestations of the disease do not completely disappear. The duration of the latent period does not exceed 3 days.

The onset of the *peak period* of the intestinal form of ARS is marked by a sharp deterioration of health, the development of diarrhoea, an increase in body temperature to 39-40°C, the development of manifestations of oropharyngeal syndrome, dehydration, intoxication and endogenous infection.

Death is usually preceded by the development of sopor and coma.

If treated, people affected with intestinal ARS can live for up to two or even two and a half weeks. In this case, there is time for secondary infection and haemorrhage to develop and cause death.

## Токсемическая форма ОЛБ

Развивается после облучения в дозовом диапазоне 20-50 Гр. Для этой формы характерны тяжёлые гемодинамические расстройства, связанные с парезом и повышением проницаемости сосудов, проявления интоксикации продуктами распада тканей, радиотоксинами и токсинами кишечной микрофлоры.

Токсемия обуславливает нарушения мозгового кровообращения и отёк мозга, прогрессирующие признаки которого наблюдаются до смертельного исхода, наступающего в течение 4-7 суток.

В связи со значимостью расстройств циркуляции в развитии токсемической формы ОЛБ её называют ещё сосудистой

## Церебральная форма

В основе церебральной формы ОЛБ, развивающейся у человека после облучения головы или всего тела в дозах 50 Гр и выше, лежат дисфункция и гибель нервных клеток, обусловленные, преимущественно, их прямым радиационным поражением.

Проявления церебрального лучевого синдрома зависят от мощности дозы облучения: если она превышает 10-15 Гр/мин., то в течение нескольких минут после облучения могут развиваться коллаптоидное состояние, резчайшая слабость, атаксия, судороги.

Данный симптомокомплекс получил название синдрома *ранней преходящей недееспособности* (РПН). Наиболее вероятно его развитие при импульсном (особенно – нейтронном) облучении – например, при действии проникающей радиации нейтронного боеприпаса.

## Toxaemic form of ARS

It develops after irradiation in the dose range of 20-50 Gy. This form is characterised by severe haemodynamic disorders associated with paresis and increased vascular permeability, manifestations of intoxication with tissue decomposition products, radiotoxins and toxins of intestinal microflora.

Toxaemia causes cerebral circulatory disorders and brain oedema, progressive signs of which are observed until death, which occurs within 4-7 days.

Due to the significance of circulatory disorders in the development of toxaemic form of ARS, it is also called vascular ARS

## Cerebral form

The cerebral form of ARS, which develops in a person after irradiation of the head or the whole body at doses of 50 Gy and higher, is based on dysfunction and death of nerve cells, mainly due to their direct radiation injury.

The manifestations of cerebral radiation syndrome depend on the dose rate: if it exceeds 10-15 Gy/min, collaptoid state, extreme weakness, ataxia, convulsions may develop within a few minutes after irradiation.

This symptom complex is called *early transient incapacity* syndrome (ETI). It is most likely to develop in case of pulsed (especially neutron) irradiation - for example, in case of penetrating radiation of a neutron munition.

Через 10-45 мин. основные проявления РПН проходят, сменяясь временным улучшением состояния. В менее выраженной форме РПН возможен и при кратковременном облучении в меньших дозах – от 20 до 50 Гр.

Если облучение происходит с небольшой мощностью дозы, то РПН не развивается, и после проявлений первичной реакции на облучение (тошноты, рвоты и др.) может наступить временное улучшение состояния.

Однако нарастают признаки отёка мозга, психомоторное возбуждение, атаксия, дезориентация, гиперкинезы, судороги, расстройства дыхания и сосудистого тонуса. Эта симптоматика обусловлена не только дисфункцией, но и гибелью нервных клеток.

Смерть наступает в течение не более чем 48 часов после облучения, ей предшествует кома.

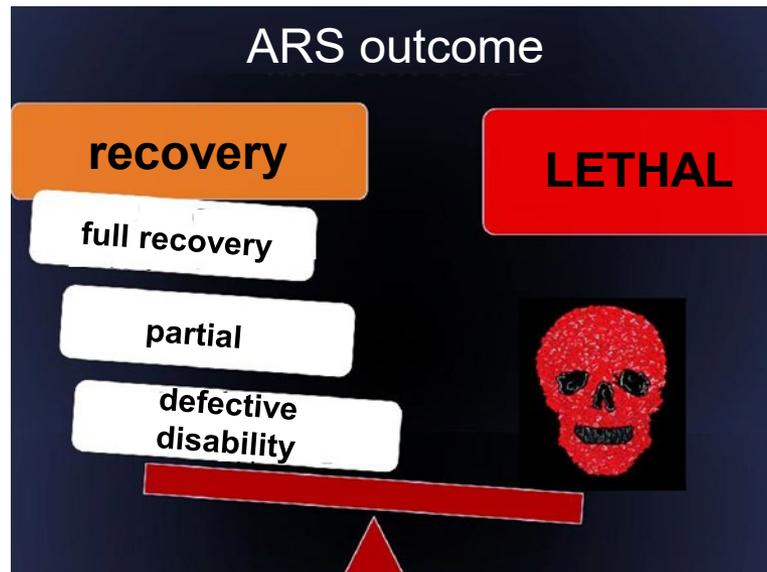


**In 10-45 min. the main manifestations of ETI pass, being replaced by temporary improvement of the condition. In a less pronounced form, ETI is also possible with short-term irradiation at lower doses - from 20 to 50 Gy.**

**If irradiation occurs with a low dose rate, ETI does not develop, and after manifestations of the primary reaction to irradiation (nausea, vomiting, etc.) there may be a temporary improvement of the condition.**

**However, signs of brain oedema, psychomotor agitation, ataxia, disorientation, hyperkinesia, convulsions, respiratory and vascular tone disorders increase. This symptomatology is due not only to dysfunction but also to nerve cell death.**

**Death occurs within no more than 48 hours after exposure and is preceded by coma.**



**Особенности поражения нейтронами**  
**Characteristics of neutron affection**

**В основе отличий, присущих ОЛБ при воздействии нейтронами, лежат меньшая репарируемость нейтронных поражений на клеточном уровне и меньшая, в сравнении с рентгеновыми и  $\gamma$ -лучами, проникающая способность**

**Эти факторы действуют в противоположных направлениях. Поэтому при нейтронных воздействиях сильнее поражается кишечный эпителий, радиорезистентность которого в сравнении с кроветворной тканью в значительной мере связана с большей способностью к репарации сублетальных повреждений клеток.**

## Биологическое действие нейтронов



Нейтронное облучение обладает хорошо выраженным прямым действием, при этом больше энергии поглощается биологически важными макромолекулами, отсутствует или слабо выражен кислородный эффект, эффект восстановления поврежденных клеточных структур, глубже поражаются клетки критических органов (Обатуров Г.М., 1982 и др.).

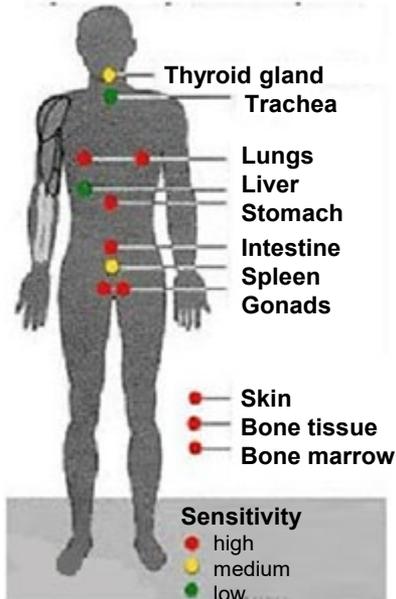
Чувствительность к  
ионизирующему излучению

**Кроветворная система поражается меньше, чем при соответствующей поглощённой дозе электромагнитного ИИ: это связано с ускорением процесса восстановления кроветворной ткани за счёт миграции клеток из менее облучённых её участков.**

**The differences inherent in ARS from neutron exposure are based on the lower reparability of neutron lesions at the cellular level and lower penetrating power compared to X-rays and  $\gamma$ -rays**

**These factors act in opposite directions. Therefore, the intestinal epithelium is more severely affected under neutron exposure, the radioresistance of which in comparison with hematopoietic tissue is largely associated with a greater ability to repair sublethal cell injury.**

## Biological effects of neutrons



Sensitivity to  
ionising radiation

Neutron irradiation has a well pronounced direct effect, more energy is absorbed by biologically important macromolecules, there is no or weakly expressed oxygen effect, the effect of repair of damaged cellular structures, the cells of critical organs are more deeply affected (Obaturov G.M., 1982 and others).

**The hematopoietic system is affected less than at the corresponding absorbed dose of electromagnetic ionising radiation: this is due to the acceleration of the recovery process of hematopoietic tissue due to the migration of cells from less irradiated areas.**

По этим же причинам серьёзные повреждения тонкой кишки развиваются даже при несмертельных дозах нейтронного облучения организма. В отличие от случаев  $\gamma$ -облучения, наличие кишечного синдрома не всегда является неблагоприятным прогностическим признаком; его лечение может привести в дальнейшем к выздоровлению.

**К другим особенностям ОЛБ от воздействия нейтронов относятся:**

- большая выраженность первичной реакции на облучение;
- большая глубина лимфопении в период первичной реакции на облучение;
- признаки более тяжёлого повреждения органов и тканей на стороне тела, обращённой к источнику излучения;
- более выраженная кровоточивость как следствие прямого повреждения нейтронами стенки сосудов.

Перечисленные особенности необходимо учитывать при действии на организм проникающей радиации ядерного взрыва, когда соотношение вклада нейтронов и  $\gamma$ -лучей в дозу облучения зависит от мощности, типа ядерного боеприпаса и расстояния до центра взрыва.

**For the same reasons, serious injury of the small intestine develops even at non-lethal doses of neutron irradiation of the body. In contrast to cases of  $\gamma$ -irradiation, the presence of intestinal syndrome is not always an unfavourable prognostic sign; its treatment may lead to recovery in the future.**

**Other characteristics of ARS from neutron exposure include:**

- **greater severity of the primary reaction to radiation;**
- **greater depth of lymphopenia during the primary reaction to radiation;**
- **signs of more severe injury of organs and tissues on the side of the body facing the radiation source;**
- **more pronounced haemorrhage as a consequence of direct injury of the vascular wall by neutrons.**

**These features must be taken into account when the organism is exposed to the penetrating radiation of a nuclear explosion, when the ratio of the contribution of neutrons and  $\gamma$ -rays to the radiation dose depends on the power, the type of nuclear munition and the distance to the center of the explosion.**

**Вопрос 3 Отдаленные  
последствия общего  
(тотального) облучения**  
Question 3 Long-term effects of  
general (total) irradiation

**У больных, перенесших ОЛБ, в течение длительного времени, иногда всю жизнь, могут сохраняться остаточные явления и развиваться отдаленные последствия.**

**Остаточные явления чаще всего проявляются гипоплазией и дистрофией тканей, наиболее сильно поврежденных при облучении. Они представляют собой следствия неполного восстановления повреждений, лежавших в основе острого поражения: лейкопения, анемия, нарушения иммунитета, стерильность и др.**

**В отличие от них отдаленные последствия - это развитие новых патологических процессов, признаки которых в остром периоде отсутствовали, таких как катаракты, склеротические изменения, дистрофические процессы, новообразования, сокращение продолжительности жизни.**

**У потомства облученных родителей в результате мутаций могут проявиться генетические последствия.**

### **К формам отдаленной лучевой патологии относятся:**

- **неопухолевые отдаленные последствия;**
- **канцерогенные эффекты;**
- **сокращение продолжительности жизни.**

**Patients who have suffered from ARS may have residual symptoms for a long time, sometimes for the whole life, and may develop long-term consequences.**

**Residual phenomena are most often manifested by hypoplasia and dystrophy of tissues most severely damaged by radiation. They represent the consequence of incomplete repair of the lesions underlying the acute injury: leukopenia, anaemia, immunity disorders, sterility, etc.**

**In contrast, the distant consequences are the development of new pathological processes, the signs of which were absent in the acute period, such as cataracts, sclerotic changes, dystrophic processes, neoplasms, shortened life expectancy.**

**The offspring of irradiated parents may show genetic consequences as a result of mutations.**

**Forms of long-term radiation pathology include:**

- **non-tumoural long-term effects;**
- **carcinogenic effects;**
- **shortened life expectancy.**

## **Неопухолевые отдаленные последствия облучения**

**Неопухолевые (нестохастические) отдаленные последствия относятся к числу детерминированных эффектов облучения.**

**К числу наиболее важных относятся повреждения мелких кровеносных сосудов и расстройства микроциркуляции, ведущие к развитию тканевой гипоксии и вторичному поражению паренхиматозных органов.**

**Имеют также существенное значение клеточный дефицит в тканях, в которых пролиферация недостаточна для восполнения числа погибших после облучения клеток**

**В большинстве некритических тканей возникновение тяжелых отдаленных последствий после общего кратковременного облучения маловероятно.**

**Дозы, которые при общем облучении не абсолютно летальны, как правило, не превышают порога толерантности для некритических тканей и не могут привести к существенному дефициту клеток в них**

**В критических же тканях регенераторные процессы, если организм не погибает, обычно довольно быстро восстанавливают клеточный состав. Поэтому отдаленные последствия, развивающиеся по причине дефицита клеток, более характерны для локального облучения**

**Отдаленные последствия лучевого поражения могут проявиться функциональными расстройствами регулирующих систем: нервной, эндокринной, сердечно-сосудистой (астено-невротический синдром, вегето-сосудистая дистония).**

**К отдаленным нестохастическим эффектам относят и некоторые гиперпластические процессы. Такие реакции характерны для эндокринных органов.**

## **Non-tumoural long-term effects of irradiation**

**Non-tumoural (non-stochastic) long-term effects are among the deterministic effects of irradiation.**

**The most important ones include injury of small blood vessels and microcirculation disorders leading to the development of tissue hypoxia and secondary injury of parenchymatous organs.**

**Cellular deficiency in tissues in which proliferation is insufficient to replenish the number of cells killed after irradiation is also significant**

**In most non-critical tissues the occurrence of severe remote consequences after general short-term irradiation is unlikely.**

**Doses that are not absolutely lethal in general irradiation, as a rule, do not exceed the tolerance threshold for non-critical tissues and cannot lead to a significant deficit of cells in them**

**In critical tissues, however, regenerative processes, if the organism is not killed, usually restore the cellular composition rather quickly. Therefore, long-term effects developing due to cell deficiency are more characteristic of localised irradiation**

**The long-term effects of radiation injury can be manifested by functional disorders of regulatory systems: nervous, endocrine, cardiovascular (astheno-neurotic syndrome, vegeto-vascular dystonia).**

**Some hyperplastic processes are also referred to long-term non-stochastic effects. Such reactions are typical for endocrine organs.**

## **Канцерогенные эффекты облучения**

**Радиационный канцерогенез относится к числу стохастических эффектов.**

**Основной причиной злокачественной трансформации облученной клетки являются нелетальные повреждения генетического материала.**

**Наиболее распространена гипотеза, в соответствии с которой под влиянием облучения повышается нестабильность ядерной ДНК.**

**В процессе репарации ее нелетальных повреждений возникают условия, способствующие включению онковируса в геном соматической клетки или активация онковируса уже находившегося в репрессированном состоянии в составе генома с последующей раковой трансформацией.**

**Злокачественной трансформации клетки, сохранившей жизнеспособность после облучения, может способствовать ее контакт с большим количеством клеточного детрита. Вследствие повреждения мембранных структур может измениться чувствительность клеток к регулирующим воздействиям со стороны гормонов, ингибиторов и т.п.**

**Фактором, способствующим злокачественной трансформации клетки бывают расстройства гормональной регуляции. Особенно велико значение этого фактора при внутреннем радиоактивном заражении, когда радионуклиды длительное время воздействуют на железу, нарушая выработку ею гормонов, влияющих на функции других органов.**

**В результате создаются условия для возникновения гормонзависимой опухоли**

## **Carcinogenic effects of radiation**

**Radiation carcinogenesis belongs to stochastic effects.**

**The main cause of malignant transformation of an irradiated cell is non-lethal affection of genetic material.**

**The most common hypothesis is that the instability of nuclear DNA increases under the influence of irradiation.**

**In the process of repairing its non-lethal affection, conditions arise that favour the incorporation of oncovirus into the somatic cell genome or the activation of oncovirus already in a repressed state within the genome with subsequent cancerous transformation.**

**Malignant transformation of a cell that has remained viable after irradiation may be promoted by its contact with a large amount of cellular detritus. Due to injury of membrane structures, the sensitivity of cells to regulatory influences from hormones, inhibitors, etc. may change.**

**A factor contributing to malignant transformation of the cell are disorders of hormonal regulation. The importance of this factor is especially great in internal radioactive contamination, when radionuclides for a long time affect the gland, disrupting its production of hormones that affect the functions of other organs.**

**As a result, conditions are created for the emergence of hormone-dependent tumours**

## СТАДИИ КАНЦЕРОГЕНЕЗА:

**Инициация** - процесс изменения генома клетки-мишени под воздействием факторов окружающей среды. При этом единичной мутации недостаточно. Необходимы изменения как минимум в двух генах, один из которых обеспечивает бессмертие клетки, а другой — собственно развитие злокачественного фенотипа.

**Промоция**. Увеличение популяции клеток с изменениями в геноме и находящимися под влиянием промоторов канцерогенеза. Формирование и нарастание популяции мутировавших клеток. Стадия обратима, т.к. возможно регулирование действия промоторов, которые способны инициировать дальнейшие изменения генома.

**Прогрессия**. Активный рост клона мутировавших клеток, что и приводит к образованию опухоли. Снижение степени дифференцировки клеток, проявление инвазивных свойств и, как следствие, способности к метастазированию.

Щитовидную железу рассматривают как критический орган в формировании отдаленной патологии при поступлении в организм продуктов ядерного деления.

Способствуют развитию опухоли и вызванные облучением нарушения иммунитета

Латентный период между радиационным воздействием и возникновением новообразования составляет, в среднем, 5 - 10 лет, но в некоторых случаях может достигать 35 лет (рак молочной железы).

Вероятность возникновения опухоли в результате радиационного воздействия оценивается как один дополнительный случай на 20 человек, облученных в дозе 1 Гр.

Относительный риск возникновения злокачественного новообразования в течение всей жизни выше для облученных в детстве.



## STAGES OF CARCINOGENESIS:

**Initiation** is the process of changing the genome of the target cell under the influence of environmental factors. In this case, a single mutation is not enough. Changes are required in at least two genes, one of which ensures cell immortality, and the other - the actual development of the malignant phenotype.

**Promotion.** Increase in the population of cells with changes in the genome and under the influence of carcinogenesis promoters. Formation and growth of the population of mutated cells. The stage is reversible, as it is possible to regulate the action of promoters, which are able to initiate further genome changes.

**Progression.** Active growth of a clone of mutated cells, which leads to tumour formation. Decrease in the degree of cell differentiation, manifestation of invasive properties and, as a consequence, the ability to metastasise.

The thyroid gland is considered a critical organ in the formation of distant pathology when nuclear fission products enter the body.

Radiation-induced immune disorders also contribute to tumour development

The latency period between radiation exposure and the onset of a neoplasm is, on average, 5 - 10 years, but in some cases can be as long as 35 years (breast cancer).

The probability of a tumour resulting from radiation exposure is estimated as one additional case per 20 people exposed to a dose of 1 Gy.

The relative lifetime risk of malignancy is higher for people irradiated in childhood.

**Вопрос 4 Поступление  
радионуклидов в организм и  
их выведение**

Question 4 Entry of radionuclides  
into the organism and their  
excretion

**Во внутреннюю среду РВ могут попасть ингаляционно, через стенки ЖКТ, через травматические и ожоговые повреждения, через неповрежденную кожу.**

**Всосавшиеся РВ через лимфу и кровь могут попасть в ткани и органы, фиксироваться в них, проникнуть внутрь клеток и связаться с внутриклеточными структурами.**

**Знание пути поступления радионуклида в организм весьма важно в практическом отношении. У ряда РВ характер всасывания, распределение по органам и тканям, выведение и биологическое действие существенно зависят от пути поступления.**

## Инкорпорация радионуклидов

Пути проникновения: с пищей и водой, через дыхательные пути, кожу



**RS can enter the internal environment by inhalation, through the walls of the gastrointestinal tract, through traumatic and burn injuries, through intact skin.**

**Absorbed RS through lymph and blood can enter tissues and organs, fix in them, penetrate into cells and bind to intracellular structures.**

**Knowledge of the route of radionuclide entry into the body is very important in practical terms. For a number of radionuclides, the nature of absorption, distribution in organs and tissues, excretion and biological effects depend significantly on the route of entry.**

## **Incorporation of radionuclides**

Pathways of entry: with food and water, through respiratory tract, skin



**Ингаляционное поступление РВ**  
**Inhalation entry of RS**

**При контакте, особенно профессиональном, с аэрозолями РВ, радиоактивными газами и парами ингаляционный путь заражения является основным.**

**Около 25 % попавших в органы дыхания частиц радионуклидов в чистом виде, а также входящих в состав определенных химических соединений, выдыхается.**

**Если оставшиеся после выдоха РВ принять за 100%, то 50% из них подвергаются ретроградному выносу со слизью в результате деятельности мерцательного эпителия в глотку с последующим заглатыванием (отчасти, отхаркиванием).**

**Около 25% резорбируются в кровь через альвеолярные мембраны.**

**Резорбции подвергаются по преимуществу растворимые частицы. Степень резорбции одного и того же радионуклида в значительной степени зависит от химической формулы соединения, в состав которого он входит.**

**Приблизительно 25% частиц фагоцитируются макрофагами. Это нерастворимые частицы и коллоидные формы радионуклидов. Часть захвативших их фагоцитов возвращается в глотку и заглатывается или отхаркивается. Таким путем удаляется около 15% РВ. Фагоциты, захватившие оставшиеся 10 % РВ, перемещаются через альвеолярную мембрану.**

**During contact, especially occupational contact, with RS aerosols, radioactive gases and vapours, inhalation is the main route of exposure.**

**About 25 % of radionuclide particles in pure form, as well as those included in certain chemical compounds, that have entered the respiratory tract are exhaled.**

**If the remaining exhaled RS is taken as 100%, then 50% of them are retrogradely transported with mucus as a result of the activity of the mesenteric epithelium into the pharynx and then swallowed (partly by expectoration).**

**About 25% are resorbed into the blood through the alveolar membranes.**

**Resorption is predominantly of soluble particles. The degree of resorption of the same radionuclide depends largely on the chemical formula of the compound of which it is a part.**

**Approximately 25% of particles are phagocytised by macrophages. These are insoluble particles and colloidal forms of radionuclides. Some of the phagocytes that have captured them return to the pharynx and are swallowed or expectorated. About 15% of RS is removed in this way. The phagocytes that have captured the remaining 10% of RS move across the alveolar membrane.**

**Небольшая часть РВ задерживается в паренхиме легких, эпителиальных клетках с периодом полувыведения из них около 600 суток.**

**Еще прочнее фиксация РВ в бронхолегочных лимфатических узлах, куда они попадают с фагоцитами.**

**Наибольшее практическое значение этот вид отложения имеет при ингаляционном поступлении нерастворимых или слабо растворимых соединений плутония, тория и некоторых других элементов.**

**В случае ингаляции продуктов наземных или подземных ядерных взрывов, которые, в основном, прочно связаны с крупными частицами носителей, доля радионуклидов, удаляемых из органов дыхания и поступающих в ЖКТ, существенно выше. По некоторым данным до 80 - 90 % таких РВ при ингаляционном поступлении уже через несколько часов оказываются в желудке.**

**При оценке опасности ингаляционного поступления РВ учитывают лучевую нагрузку на легкие, эпителий бронхов, регионарные лимфатические узлы, на стенку ЖКТ, последствия резорбции, а в случае ингаляции  $\gamma$ -излучающих радионуклидов некоторое значение может иметь и облучение других органов грудной полости.**

**A small part of RS is retained in lung parenchyma, epithelial cells with a half-life of about 600 days.**

**Even stronger fixation of RS in bronchopulmonary lymph nodes, where they get with phagocytes.**

**This type of deposition is of the greatest practical importance in case of inhalation of insoluble or poorly soluble compounds of plutonium, thorium and some other elements.**

**In the case of inhalation of the products of above-ground or underground nuclear explosions, which are mostly firmly bound to large carrier particles, the fraction of radionuclides removed from the respiratory tract and entering the gastrointestinal tract is significantly higher. According to some data, up to 80-90% of such RS inhaled are already in the stomach after a few hours.**

**When assessing the danger of inhalation intake of RS, the radiation load on lungs, bronchial epithelium, regional lymph nodes, on the gastrointestinal wall, effects of resorption are taken into account, and in case of inhalation of  $\gamma$ -emitting radionuclides, irradiation of other organs of the thoracic cavity may also be of some importance.**

**Поступление РВ через ЖКТ**  
**RS entry through the GIT**

**ЖКТ - второй основной путь поступления РВ в организм.**

**Поражающее действие связано в этом варианте заражения как с лучевой нагрузкой на стенку пищеварительного тракта, так и с всасыванием РВ в кровь и лимфу.**

**Резорбция РВ зависит от химических свойств вещества, физиологического состояния ЖКТ, состава пищевого рациона.**

**Резорбция радионуклидов снижается при увеличении содержания в пище стабильных изотопов этих же элементов и наоборот.**

**Всасывание хорошо растворимых радионуклидов происходит, в основном, в тонкой кишке. Значительно меньше РВ всасывается в желудке.**

**Всасывание в толстой кишке практического значения не имеет.**

**Радионуклиды щелочных металлов и галоидов после попадания в ЖКТ практически полностью всасываются в кровь.**

**Изотопы редкоземельных элементов, плутония, трансураниевых элементов резорбируются в кишке в пределах нескольких сотых десятитысячных долей процента от поступившего количества.**

**Нерастворимые и мало растворимые гамма-излучатели облучают кишечник и другие органы брюшной полости, а бета-излучатели - только слизистую кишки, в основном, до выведения их с калом, в течение, примерно, 30 часов.**

**Однако, в криптах кишечника РВ могут задерживаться в течение длительного времени, формируя высокие локальные дозы.**

**Все сказанное относится и к радионуклидам, вторично попавшим в органы пищеварения после ингаляции.**

**The GIT is the second main route of RS entry into the organism.**

**In this variant of contamination, the affection is associated with both radiation load on the wall of the digestive tract and absorption of RS into the blood and lymph.**

**Resorption of RS depends on chemical properties of the substance, physiological state of the GIT, and composition of the diet.**

**Resorption of radionuclides decreases when the content of stable isotopes of the same elements in food increases and vice versa.**

**Absorption of well-soluble radionuclides occurs mainly in the small intestine. Significantly less RS is absorbed in the stomach.**

**Absorption in the large intestine is of no practical importance.**

**Radionuclides of alkali metals and halides are almost completely absorbed into the blood after entering the GIT.**

**Isotopes of rare earth elements, plutonium, transuranic elements are resorbed in the intestine within a few hundredths of ten thousandths of a per cent of the ingested amount.**

**Insoluble and poorly soluble gamma rays irradiate the intestine and other abdominal organs, while beta rays irradiate only the intestinal mucosa, mostly before being excreted in the faeces, for about 30 hours.**

**However, RS can linger in the intestinal crypts for long periods of time, forming high localised doses.**

**The same applies to radionuclides secondary to inhalation in the digestive tract.**

**Поступление РВ через кожу, раневые и  
ожоговые поверхности**  
**RS entry through skin, wounds and burn  
surfaces**

**Большинство РВ практически не проникают через неповрежденную кожу.**

**Исключение составляют окись трития, йод а также полоний.**

**Проникновение РВ через кожные покровы зависит от плотности загрязнения, от площади загрязненного участка, от физико-химических свойств самого элемента или соединения, рН среды, от физиологического состояния кожи.**

**Всасывание радионуклидов повышается при повышении температуры среды.**

**Всасывание с поверхности раны труднорастворимых РВ происходит медленнее и в значительно меньшем количестве, но все же в сотни раз интенсивнее, чем через интактную кожу.**

**С поверхности ожогов 1-2-ой степеней продукты ядерного взрыва всасываются всего в 2 - 10 раз быстрее, чем через здоровую кожу.**

**Следует считаться с воздействием испускаемого излучения на течение раневого процесса. При поступлении в рану большого количества плохо резорбирующихся радионуклидов под влиянием облучения в клетках тканей раневой поверхности развиваются дегенеративные и некротические процессы.**

**В ранах часто развиваются гнойные, иногда анаэробные процессы. Медленно отторгаются некротизированные ткани, замедляется регенерация.**

**Большое практическое значение имеет радиоактивное загрязнение ран в производственных и лабораторных условиях. Основную опасность в случае производственного заражения представляет резорбция высокотоксичных радионуклидов, таких, как, например, полоний, которая у растворимых РВ может достигать десятков процентов от общего количества, поступившего в рану.**

**Резорбция плохо растворимых соединений РВ происходит, в основном по лимфатическим путям, в результате чего радионуклиды накапливаются в лимфатических узлах.**

**Most RS hardly penetrate intact skin.**

**Exceptions are tritium oxide, iodine and polonium.**

**The entry of RS through the skin depends on the density of contamination, on the size of the contaminated area, on the physicochemical properties of the element or compound itself, on the pH of the medium, and on the physiological state of the skin.**

**Absorption of radionuclides increases with increasing temperature of the medium.**

**Absorption of hard-to-soluble radionuclides from the wound surface is slower and in much smaller amounts, but still hundreds of times more intense than through intact skin.**

**Nuclear explosion products are absorbed from the surface of 1-2 degree burns only 2-10 times faster than through healthy skin.**

**The effect of emitted radiation on the course of the wound process should be taken into account. When a large amount of poorly resorbable radionuclides is delivered to the wound, degenerative and necrotic processes develop in the cells of the wound surface tissues under the influence of irradiation.**

**Wounds often develop purulent, sometimes anaerobic processes.**

**Necrotised tissues are slowly rejected, regeneration slows down. Radioactive contamination of wounds in industrial and laboratory conditions is of great practical importance. The main danger in case of industrial contamination is resorption of highly toxic radionuclides, such as, for example, polonium, which in soluble RS can reach tens of per cent of the total amount that entered the wound.**

**Resorption of poorly soluble RS compounds occurs mainly through the lymphatic pathways, resulting in radionuclides accumulating in lymph nodes.**

**Судьба радионуклидов, проникших в кровь**  
**The status of radionuclides that have entered the**  
**bloodstream**

**В крови радионуклиды могут находиться в свободном состоянии или в составе различного рода химических соединений и комплексов.**

**Часть РВ, попавших в кровь, сразу выводится из организма, другие проникают в различные органы и депонируются в них.**

**Многие радионуклиды обладают определенным сродством к некоторым тканям и органам, преимущественно откладываются в них, обеспечивая преимущественное их облучение.**

**Органы, в которых преимущественно накапливается тот или иной радионуклид получили наименование "критических" при заражении этим радионуклидом.**

**Знание характера распределения, особенностей обмена и депонирования РВ, возможного перераспределения со временем необходимо для предвидения преимущественного поражения того или другого органа, дозы облучения этого критического органа, предсказания клинических проявлений и исхода поражения.**

**Концентрация РВ в органе после однократного поступления постепенно снижается, что зависит от радиоактивного распада изотопа и его биологического выведения. Время, за которое из органа выводится половина содержавшегося в нем количества радионуклида, получило наименование периода биологического полувыведения.**

**Бывает, что после одноразового сравнительно массивного радиоактивного заражения поступление РВ в организм не прекращается полностью, а продолжается длительное время, но в меньших количествах.**

**In the blood radionuclides can be in the free state or as part of various chemical compounds and complexes.**

**Part of RS, which have got into the blood, is immediately excreted from the organism, others penetrate into various organs and are deposited in them.**

**Many radionuclides have a certain affinity to certain tissues and organs, preferentially deposited in them, ensuring their preferential exposure.**

**Organs, in which one or another radionuclide is predominantly accumulated, are called “critical” in case of contamination with this radionuclide.**

**Knowledge of the nature of distribution, specific features of RS metabolism and deposition, possible redistribution with time is necessary to anticipate the predominant injury of one or another organ, dose to this critical organ, prediction of clinical manifestations and outcome of the injury.**

**The concentration of RS in an organ after a single intake gradually decreases, depending on the radioactive fission of the isotope and its biological excretion. The time during which half of the amount of radionuclide contained in the organ is excreted from the organ is known as the biological half-life.**

**It happens that after a one-time relatively massive radioactive contamination the intake of RS into the organism does not stop completely, but continues for a long time, but in smaller quantities.**

**Выведение радионуклидов из организма**  
**Excretion of radionuclides from the body**

**Попавшие в организм РВ могут выводиться через почки, ЖКТ, со слюной, молоком, потом, через легкие. В большинстве случаев с калом и мочой.**

**С калом преимущественно выводятся РВ, поступившие алиментарным путем, а также при ингаляционном заражении и вторичном заглатывании частиц, вынесенных ретроградно в глотку. В ЖКТ процессы экскреции РВ постоянно сопровождаются процессами их реабсорбции.**

**При выведении радионуклидов преимущественно с мочой, высокая доза облучения может быть получена почками.**

**Выведение с выдыхаемым воздухом имеет существенное значение для трития, паров окиси трития, радона и торона, образующихся при распаде поступивших в организм радия и тория.**

**По содержанию РВ в выделениях можно судить о количестве их в организме, как на момент определения, так и на момент поступления.**

**Таким образом, в кинетике поступивших в организм радионуклидов можно выделить 4 этапа:**

- образование на месте поступления первичного депо (кожа, раны, слизистые ЖКТ, ВДП);**
- всасывание с мест поступления в кровь или лимфу;**
- инкорпорирование в критическом органе (образование вторичных депо);**
- выведение различными путями, в том числе и с явлениями рециркуляции.**

**Продолжительность перечисленных этапов существенно различается для различных радионуклидов, их соединений.**

**Ingested RS can be excreted through the kidneys, GIT, saliva, milk, sweat, and lungs. In most cases it is excreted in faeces and urine.**

**The faeces are mainly excreted with RS ingested by alimentary route, as well as by inhalation and secondary ingestion of particles carried retrogradely into the pharynx. In the GIT, the processes of RS excretion are constantly accompanied by the processes of their reabsorption.**

**When radionuclides are excreted predominantly with urine, a high dose of radiation can be received by the kidneys.**

**Excretion with exhaled air is essential for tritium, tritium oxide vapour, radon and thoron, formed during fission of radium and thorium ingested into the organism.**

**By the content of RS in excreta, it is possible to judge the amount of them in the organism, both at the time of determination and at the time of intake.**

**Thus, 4 stages can be distinguished in the kinetics of radionuclides ingested into the organism:**

- formation of a primary depot at the site of entry (skin, wounds, mucous membranes of the gastrointestinal tract, upper airways);**
- absorption from the site of entry into the blood or lymph;**
- incorporation in a critical organ (formation of secondary depots);**
- excretion by various routes, including recirculation.**

**The duration of these stages varies considerably for different radionuclides and their compounds.**

**Вопрос 5 Биологическое  
действие радиоактивных  
веществ. Характеристика  
наиболее распространенных  
ИЗОТОПОВ**

Question 5 Biological effect of  
radioactive substances.

Characteristics of the most  
common isotopes

Специфика биологического действия отдельных радионуклидов (отличительные черты поражения, основные патогенетические механизмы его развития, причины смерти) определяется, в первую очередь, поражением определенных (критических) органов, нарушение жизнедеятельности которых может проявиться относительно рано, когда общие реакции и изменения в других системах выражены значительно слабее или могут вовсе отсутствовать.

При внутреннем радиоактивном заражении концепция критического органа представляется сложнее, чем при общем внешнем облучении.

В этом случае имеют значение, прежде всего, особенности распределения радионуклидов по органам и тканям.



The specificity of biological effects of certain radionuclides (distinctive features of affection, main pathogenetic mechanisms of its development, causes of death) is determined, first of all, by the injury of certain (critical) organs, the disturbance of whose vital activity can manifest itself relatively early, when general reactions and changes in other systems are much weaker or may be absent at all.

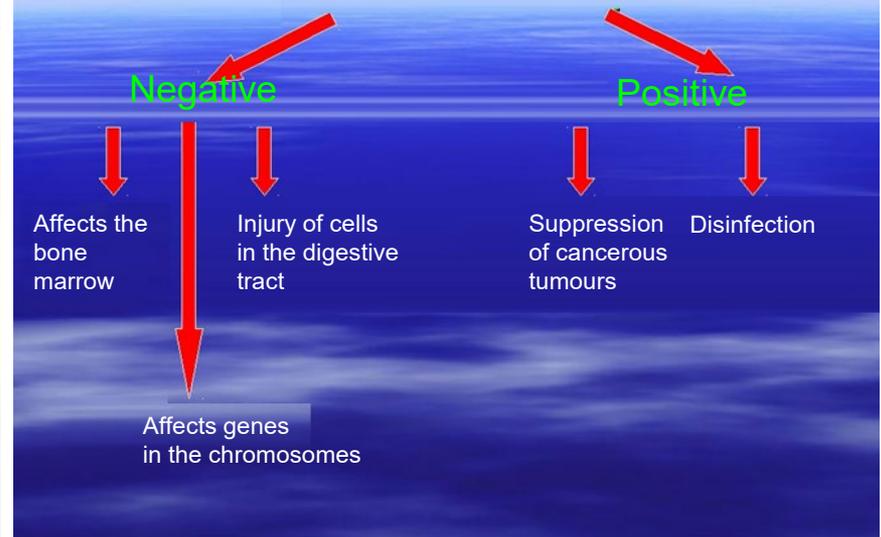
In the case of internal radioactive contamination, the concept of a critical organ is more complex than in the case of general external exposure.

In this case, first of all, the specifics of radionuclide distribution in organs and tissues are of importance.

## Biological effects of radiation



## Biological effects of radioactive radiation



## **Радионуклиды, откладывающиеся в костях (остеотропные)**

**Щелочноземельные элементы: радий, стронций, барий, кальций. Osteotropность проявляют некоторые соединения плутония.**

**Поражения, развивающиеся при поступлении в организм остеотропных радионуклидов, характеризуются изменениями, прежде всего, в кроветворной и костной системах.**

**В начальные сроки после массивных поступлений патологический процесс может напоминать ОЛБ от внешнего облучения. На более поздние сроки, в том числе и после инкорпорации сравнительно небольших активностей, обнаруживаются костные опухоли, лейкозы.**

## **Радионуклиды, откладывающиеся в органах ретикулоэндотелиальной системы (гепатотропные)**

**Изотопы редкоземельных элементов: лантана, церия, прометия, празеодима, а также актиний, торий, некоторые соединения плутония.**

**При их поступлении наблюдаются поражения печени, проксимальных отделов кишки**

**На более поздние сроки наблюдаются циррозы, опухоли печени. Могут проявиться также опухоли скелета, желез внутренней секреции и другой локализации**

## **Radionuclides deposited in bones (osteotropic)**

**Alkaline earth elements: radium, strontium, barium, calcium. Some plutonium compounds exhibit osteotropic behaviour.**

**Damage that develops when osteotropic radionuclides enter the body is characterised by changes, first of all, in the hematopoietic and bone systems.**

**In the initial periods after massive intakes, the pathological process may resemble ARS from external exposure. At later terms, including after incorporation of relatively small activities, bone tumours and leukaemia are detected.**

## **Radionuclides deposited in the organs of the reticuloendothelial system (hepatotropic)**

**Isotopes of rare earth elements: lanthanum, cerium, promethium, praseodymium, as well as actinium, thorium, some plutonium compounds.**

**At their intake, injury of the liver, proximal parts of the intestine is observed**

**At later terms cirrhosis, liver tumours are observed. Tumours of the skeleton, glands of internal secretion and other localisation may also appear**

## **Радионуклиды, равномерное распределяющиеся по организму**

Это изотопы щелочных металлов: цезия, калия, натрия, рубидия; изотопы водорода, углерода, азота, а также некоторых других элементов, в частности, полония.

При их поступлении поражения носят диффузный характер: атрофия лимфоидной ткани, в том числе селезенки, атрофия семенников, нарушения функции мышц.

На поздние сроки наблюдаются опухоли мягких тканей: молочных желез, кишечника, почек и т.п.

## **Влияние активности радионуклидов и продолжительности пребывания в организме на развитие поражения**

Характер патологического процесса при внутреннем заражении РВ существенно зависит от количества поступившей активности и времени пребывания ее в организме.

Темп накопления поглощенной дозы определяется как режимом поступления радионуклида (однократное, длительное), так и периодом эффективного полувыведения.

Основная доля суммарной дозы облучения от таких сравнительно короткоживущих нуклидов как  $^{131}\text{I}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{198}\text{Au}$  накапливается за сравнительно короткий срок, что определяет в случае попадания в организм поражающих количеств острый или подострый характер патологического процесса.

При поступлении  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , и других радиоактивных элементов, характеризующихся очень длительными периодами полураспада и медленным выведением из организма имеет место длительное облучение с постоянной мощностью дозы и, соответственно, хроническое течение.

## **Radionuclides that are evenly distributed throughout the body**

**These are isotopes of alkali metals: caesium, potassium, sodium, rubidium; isotopes of hydrogen, carbon, nitrogen, as well as some other elements, in particular polonium.**

**At their admission, the lesions are diffuse: atrophy of lymphoid tissue, including spleen, atrophy of testes, muscle dysfunction.**

**At later dates, soft tissue tumours are observed: mammary glands, intestines, kidneys, etc.**

## **Influence of radionuclide activity and duration of presence in the body on the development of injury**

**The nature of the pathological process at internal contamination with RS depends significantly on the amount of incoming activity and the time of its stay in the organism.**

**The rate of accumulation of absorbed dose is determined both by the mode of radionuclide intake (single, long-term) and by the period of effective half-life.**

**The main part of the total dose from such relatively short-lived nuclides as  $^{131}\text{I}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{198}\text{Au}$  is accumulated for a relatively short period of time, which determines the acute or subacute nature of the pathological process in case of ingestion of the affected quantities.**

**When  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ , and other radioactive elements characterised by very long half-lives and slow elimination from the body, there is a long-term exposure with a constant dose rate and, accordingly, a chronic course.**

**Цезий  
137,134**

Смешанный  $\beta, \gamma$ - излучатель с периодом полураспада около 30 лет. Основное количество  $^{137}\text{Cs}$  поступает в организм человека с пищей, до 25%- через органы дыхания.

Распределение в организме  $^{137}\text{Cs}$  сравнительно равномерное. До 50 % этого радионуклида концентрируется в мышечной ткани, причем, чем интенсивнее работает мышца, тем больше в ней откладывается радиоцезия.

Наибольшее содержание  $^{137}\text{Cs}$  обнаруживается в миокарде. В более поздние сроки довольно большое количество  $^{137}\text{Cs}$  содержится в печени и почках. В скелете задерживается не более 5 % поступившего в организм изотопа.

Выведение цезия, независимо от пути его поступления, на 3/5 происходит с мочой, и на 2/5 с калом. Эффективный период полувыведения  $^{137}\text{Cs}$  у человека составляет от 50 до 150, в среднем, 110 сут.

При длительном поступлении  $^{137}\text{Cs}$  в организм происходит его накопление. Через плаценту радиоактивный цезий легко проникает в организм плода.

Характер распределения радиоцезия в организме во многом определяет клиническую симптоматику при его поступлении. При достижении определенной дозы вначале обнаруживаются общие реакции со стороны системы крови, нервной системы. Позже присоединяются нарушения функций критических органов: мышц, печени.

Изотопы цезия включаются в биологический круговорот и свободно мигрируют по биологическим цепочкам.

Изотоп  $^{134}\text{Cs}$  имеет период полураспада около 2 лет, что и определяет его меньшую опасность по сравнению с  $^{137}\text{Cs}$ .

**Caesium  
137,134**

Mixed  $\beta,\gamma$ - emitter with a half-life of about 30 years.

The main amount of  $^{137}\text{Cs}$  enters the human body with food, up to 25% through respiratory organs.

The distribution of  $^{137}\text{Cs}$  in the body is relatively uniform. Up to 50% of this radionuclide is concentrated in muscle tissue, and the more intensively the muscle works, the more radiocaesium is deposited in it.

The highest  $^{137}\text{Cs}$  content is found in the myocardium. In later periods, quite a large amount of  $^{137}\text{Cs}$  is found in the liver and kidneys. No more than 5 % of the isotope entering the organism is retained in the skeleton.

Excretion of caesium, irrespective of the route of its intake, is 3/5 with urine and 2/5 with faeces. The effective half-life of  $^{137}\text{Cs}$  excretion in humans is from 50 to 150, on average 110 days.

With prolonged intake of  $^{137}\text{Cs}$  into the body, its accumulation occurs. Through the placenta, radiocaesium easily penetrates to the foetus.

The nature of radiocaesium distribution in the body largely determines the clinical symptomatology of its intake. When a certain dose is reached, general reactions on the part of the blood system and nervous system are detected at first. Later on, dysfunctions of critical organs: muscle, liver.

Cesium isotopes are included in the biological cycle and freely migrate along biological chains.

The  $^{134}\text{Cs}$  isotope has a half-life of about 2 years, which makes it less dangerous than  $^{137}\text{Cs}$ .

**Стронций  
90**

**β-излучатель с периодом полураспада 28,6 лет.**

**Выпадающие на поверхность Земли изотопы стронция мигрируют по биологическим цепочкам и, в конце концов, могут поступить в организм человека.**

**Степень и скорость всасывания радиостронция из ЖКТ зависит от того, в состав какого химического соединения он входит, от возраста человека и функционального состояния организма, от состава пищевого рациона.**

**Так, у лиц молодого возраста стронций всасывается быстрее и полнее. В разных условиях всасываемость стронция из ЖКТ человека колеблется от 11 до 99 %.**

**Всосавшийся стронций активно включается в минеральный обмен. Являясь аналогом кальция, радиоактивный стронций депонируется преимущественно в костях и в костном мозге, которые и оказываются критическими органами.**

**Выводится стронций с калом и мочой. Эффективный период полувыведения составляет ~ 17,5 лет.**

**В ранние сроки после поступления  $^{90}\text{Sr}$  в большом количестве наблюдаются изменения в слизистых рта, ВДП, кишечника. Позднее нарушаются функции печени.**

**При ингаляционном поступлении изотоп может достаточно прочно фиксироваться в легких, которые в этих случаях вместе с дыхательными путями являются критическими органами. Однако, в отдаленные сроки и после ингаляционного поступления критическими органами становятся кости и костный мозг, в которых депонируются до 90 % всей активности.**

**Тяжелых случаев поражения с острым или подострым течением у человека не наблюдали.**

**Strontium  
90**

**$\beta$ -emitter with a half-life of 28.6 years.**

**Strontium isotopes deposited on the Earth's surface migrate along biological chains and may eventually enter the human body.**

**The degree and rate of absorption of radiostrontium from the gastrointestinal tract depends on what chemical compound it is part of, on the age of the person and the functional state of the organism, on the composition of the diet.**

**Thus, in young people strontium is absorbed faster and more completely. Under different conditions, the absorption of strontium from the human GIT varies from 11 to 99 %.**

**Absorbed strontium is actively involved in mineral metabolism. Being an analogue of calcium, radioactive strontium is deposited mainly in bones and bone marrow, which are the critical organs.**

**Strontium is excreted with faeces and urine. The effective elimination half-life is ~ 17.5 years.**

**Early after  $^{90}\text{Sr}$  ingestion, changes in the mucous membranes of the mouth, upper airways, and intestines are observed in large quantities. Later, liver function is impaired.**

**During inhalation, the isotope may be sufficiently firmly fixed in the lungs, which in these cases, together with the respiratory tract, are the critical organs. However, in the long term and after inhalation, the critical organs are the bones and bone marrow, where up to 90% of the total activity is deposited.**

**No severe cases with an acute or subacute course have been observed in humans.**

## **Йод 131**

**β- γ-излучатель с периодом полураспада 8,05 сут. Соединения йода хорошо растворимы, и при алиментарном поступлении практически полностью всасываются в кровь. Большая часть йода всасывается и при ингаляционном поступлении.**

**30 % поступившего в кровь йода откладывается в щитовидной железе и выводится из нее с биологическим периодом полувыведения 120 сут**

**Эффективный период полувыведения из щитовидной железы равен 7,5 сут.**

**Остальные 70% всосавшегося йода равномерно распределяются по остальным органам и тканям.**

**Основное же количество радиоактивного йода выводится с мочой. Незначительное количество - через легкие, а также с потом, слюной, молоком.**

**Наибольшая опасность при поступлении в организм радиоактивного йода связана с возможностью возникновения рака щитовидной железы.**

**Iodine 131**

**$\beta$ -  $\gamma$ -emitter with a half-life of 8.05 days. Iodine compounds are well soluble and are almost completely absorbed into the blood when ingested alimentarily. Most iodine is also absorbed by inhalation.**

**30 % of iodine entering the blood is deposited in the thyroid gland and excreted from it with a biological half-life of 120 days**

**The effective half-life from the thyroid gland is 7.5 days.**

**The remaining 70% of absorbed iodine is evenly distributed to other organs and tissues.**

**The main amount of radioactive iodine is excreted with urine. A small amount - through the lungs, as well as with sweat, saliva, milk.**

**The greatest danger of radioactive iodine ingestion is associated with the possibility of thyroid cancer.**

**Плутоний  
239**

Трансурановый элемент, обладающий высокой радиотоксичностью  
Период полураспада  $^{239}\text{Pu}$  - 24360 лет.

Среди продуктов, участвующих в формировании зон радиоактивного заражения после ядерных взрывов или аварий ЯЭУ присутствует плутоний.

Обычно его количества мало значимы, однако в случаях механического разрушения ядерных боеприпасов заражение плутонием может быть достаточно существенно.

Плутоний склонен к комплексообразованию. Образующиеся в результате соединения в большинстве очень плохо растворимы.

Внешнее облучение  $^{239}\text{Pu}$  не опасно для человека. Поступление же этого изотопа внутрь организма, которое может произойти алиментарным, ингаляционным путем или через поврежденную и даже неповрежденную кожу требует проведения немедленных лечебных мероприятий

Абсорбция плутония из ЖКТ в кровь очень мала.

При ингаляционном поступлении значительное количество плутония надолго оседает в легких, позднее частично перемещается в бронхолегочные лимфатические узлы, а затем и в кровь.

Всасывание плутония через кожу зависит от ее состояния. Наличие ссадин и царапин, воздействие растворителей, кислот резко повышают резорбцию плутония через кожу. Если кожа не повреждена, плутоний поступает, в основном, через волосяные фолликулы.

Поступивший в кровь плутоний откладывается в печени (45%), в скелете (45%), остальное его количество - в других органах и тканях и выводится с экскретами в ранние сроки после поступления.

Биологический период полувыведения плутония из скелета составляет 100 лет, а из печени - 40 лет.

**Plutonium  
239**

**A transuranic element with high radiotoxicity**

**The half-life of  $^{239}\text{Pu}$  is 24360 years.**

**Plutonium is among the products involved in the formation of radioactive contamination zones after nuclear explosions or nuclear power plant accidents.**

**Usually its amounts are not significant, but in cases of mechanical destruction of nuclear warheads plutonium contamination can be quite significant.**

**Plutonium is prone to complexation. The resulting compounds are mostly very poorly soluble.**

**External exposure to  $^{239}\text{Pu}$  is not dangerous for humans. However, ingestion of this isotope, which can occur by alimentary, inhalation or through damaged or even intact skin, requires immediate treatment measures**

**Absorption of plutonium from the gastrointestinal tract into the blood is very low.**

**During inhalation, a significant amount of plutonium settles permanently in the lungs, later partially moving to bronchopulmonary lymph nodes and then to the blood.**

**Absorption of plutonium through the skin depends on its condition. The presence of abrasions and scratches, exposure to solvents, acids sharply increase the resorption of plutonium through the skin. If the skin is intact, plutonium is mainly absorbed through hair follicles.**

**Plutonium entering the blood is deposited in the liver (45%), in the skeleton (45%), the rest of its amount is deposited in other organs and tissues and is excreted early after entry.**

**The biological half-life of plutonium excretion from the skeleton is 100 years, and from the liver - 40 years.**

## Радон 222

Представляет собой не имеющий запаха бесцветный инертный газ, образующийся в процессе радиоактивного распада урана ( $^{238}\text{U}$ ), а точнее радия ( $^{226}\text{Ra}$ ).

Считается, что как элемент, вносящий свой вклад в общий естественный радиационный фон, радон обуславливает появление от 1000 до 20 000 случаев заболевания раком легких

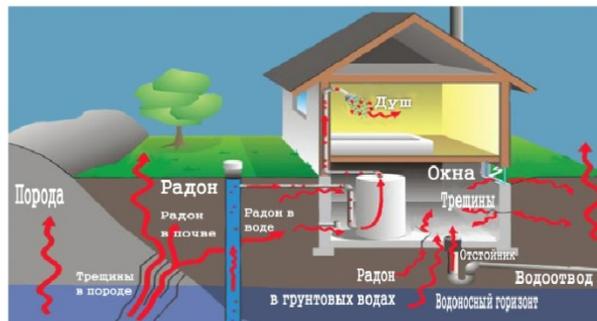
### *Источники радона.*

В атмосфере радон появляется благодаря расщеплению радия, повсеместно распространенного в каменных породах и почве.

Серия распадов начинается с атома урана-238 и проходит 4 промежуточных этапа до образования радия-226 с периодом полураспада последнего, равным 1600 лет.

приводит к образованию химически и радиологически активных дочерних атомов.

Радон - это природный инертный газ, не имеющий ни цвета, ни запаха.



## Radon 222

It is an odourless, colourless, inert gas produced by the radioactive fission of uranium ( $^{238}\text{U}$ ) and more specifically radium ( $^{226}\text{Ra}$ ).

As an element contributing to the total natural background radiation, radon is thought to be responsible for between 1,000 and 20,000 cases of lung cancer

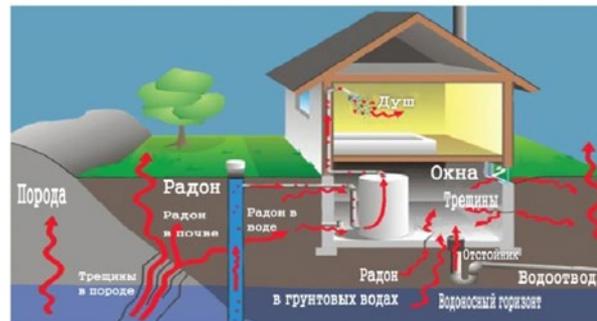
### *Sources of radon.*

In the atmosphere, radon is produced by the fission of radium, which is ubiquitous in rock and soil.

The series of fissions begins with the uranium-238 atom and passes through 4 intermediate stages until the formation of radium-226 with the half-life of the latter equal to 1600 years.

leads to the formation of chemically and radiologically active daughter atoms.

Radon is a natural inert gas that has no colour or odour



**Радий-226 расщепляется с выделением радона-222.**

**Период полураспада радона составляет 3,8 сут, что позволяет ему проникать через почву в дома людей, где дальнейшая дезинтеграция элемента приводит к образованию химически и радиологически активных дочерних атомов. Последние, к которым относится 4 изотопа с периодом полураспада менее 30 мин, представляют максимальную опасность для человека, так как испускают альфа-частицы.**

**Такое альфа-излучение способно вызвать клеточную трансформацию в респираторном тракте и привести к развитию рака легких, т. е. рака, фактически индуцированного радоном.**

**Подземные урановые рудники есть на всех континентах, в них присутствует радон в больших концентрациях.**

**В прошлом отвалы шахт нередко использовались в качестве строительного материала при возведении домов, школ и других строений.**

### ***Механизм действия радона.***

**Внешнее облучение за счет воздействия  $^{222}\text{Rn}$  и его производных, присутствующих в воздухе, составляет лишь малую долю от общей дозы, получаемой человеком за счет естественного фона.**

**Ингаляция радона и его дочерних элементов может привести к поглощению тканями потенциально большого количества энергии, т. е. значительной общей дозы, воздействующей на эпителий трахеи и бронхов (ЭТБ) за счет короткоживущих продуктов распада, выделяющих альфа- и бета-частицы.**

**Radium-226 is fissioned with release of radon-222.**

**The half-life of radon is 3.8 days, which allows it to pass through the soil into people's homes, where further disintegration of the element leads to the formation of chemically and radiologically active daughter atoms. The latter, which include 4 isotopes with a half-life of less than 30 min, pose the maximum danger to humans because they emit alpha particles.**

**Such alpha radiation can cause cellular transformation in the respiratory tract and lead to the development of lung cancer, i.e. cancer actually induced by radon.**

**Underground uranium mines exist on all continents and radon is present in high concentrations.**

**In the past, mine dumps were often used as building material for houses, schools and other structures.**

### ***Mechanism of radon action.***

**External exposure due to exposure to  $^{222}\text{Rn}$  and its derivatives present in the air is only a small fraction of the total dose received by humans due to natural background.**

**Inhalation of radon and its daughter elements can lead to absorption of potentially large amounts of energy by tissues, i.e. a significant total dose affecting tracheal and bronchial epithelium (TBE) due to short-lived fission products emitting alpha- and beta-particles.**

**Доза оказывается высокой благодаря распаду дочерних элементов радона, контактирующих с ЭТБ.**

**Более 85 % дозы, поражающей ЭТБ, — это облучение альфа-частицами. Оно проникает на глубину 30 мкм от участка распада.**

**Факторы риска отравления радоном.**

**К факторам, усиливающим действие радона на человека, относятся:**

- **курение сигарет,**
- **контакт с радиацией такого рода на производстве,**
- **высокие концентрации радона из естественных источников,**
- **слишком длительный контакт с газом**
- **большой минутный объем вентиляции (например, у детей).**

### ***Радон в жилом помещении.***

**Иногда радон попадает в дом по системе водоснабжения.**

**Что касается муниципального водопровода и открытых источников, большая часть радона успевает улетучиться или разложиться до того момента, когда вода попадает к человеку.**

**Однако этого нельзя сказать о воде из частных колодцев. Грунтовые воды, которые поступают из глубоких горизонтов и проходят сквозь каменистые слои, обогащаются радием за счет растворения газа, образуемого в результате распада радия**

**The dose is high due to the fission of radon daughter elements in contact with TBE.**

**More than 85% of the dose affecting TBE is alpha particle exposure. It penetrates to a depth of 30  $\mu\text{m}$  from the fission site.**

**Risk factors for radon poisoning.**

**Factors that increase the effects of radon on humans include:**

- **cigarette smoking,**
- **contact with this kind of radiation at work,**
- **high concentrations of radon from natural sources,**
- **excessive exposure to the gas for too long**
- **high minute ventilation volume (e.g. in children).**

### ***Radon in a living space.***

**Sometimes radon enters the home through the water supply.**

**In the case of municipal water supply and open sources, most of the radon has time to volatilise or decompose before the water reaches a person.**

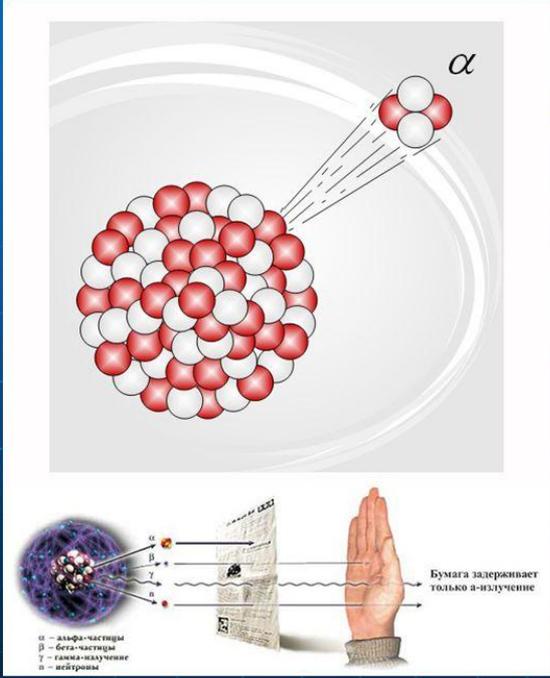
**However, the same cannot be said for water from private wells. Groundwater, which comes from deep horizons and passes through rocky layers, is enriched with radium due to the dissolution of the gas produced by the fission of radium**

При разбрызгивании воды в душе, смывании туалета, мойке посуды и стирке радон попадает в воздух и действует на органы дыхания.

Радон может также присутствовать в природном газе.

Количество радона, поднимающегося из почвы и концентрирующегося в жилище человека, в значительной мере варьирует в зависимости от региона и места

К территориям, где в зданиях непременно будут выявляться повышенные уровни радона, относятся те, на которых строительство велось из материалов, взятых из отвалов переработки гранита, урановой руды, глинистых сланцев и фосфатов, — все они содержат значительное количество радия и являются в связи с этим потенциальными источниками радона.



Радон – **альфа**-излучатель (распадается с образованием дочернего элемента и альфа-частицы) с **периодом полураспада 3, 82 сут.** Среди дочерних продуктов радиоактивного распада (ДПР) радона есть как альфа-, так и бета-излучатели. Иногда альфа- и бета-распад сопровождается гамма-излучением.

α – альфа-частицы  
β – бета-частицы  
γ – гамма-излучение  
n – нейтроны

Бумага задерживает только α-излучение

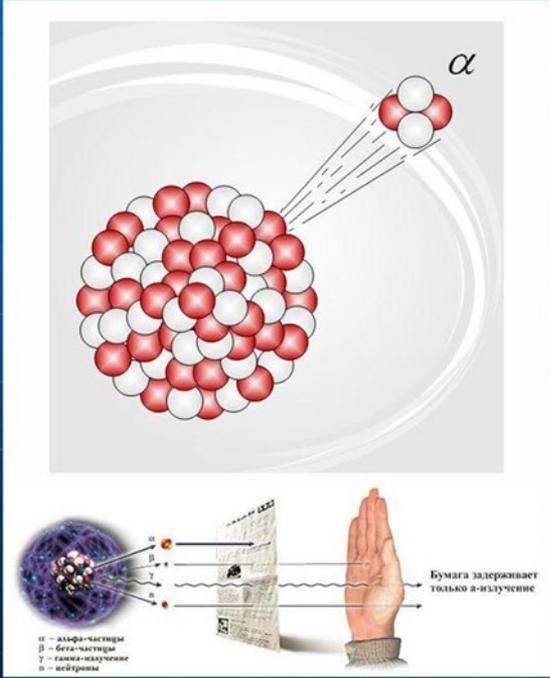
MyShared

When splashing water in the shower, flushing toilets, washing dishes, and doing laundry, radon gets into the air and affects the respiratory system.

Radon may also be present in natural gas.

The amount of radon that rises from the soil and concentrates in a person's home varies greatly from region to region and from place to place

Areas where elevated levels of radon will certainly be detected in buildings include those where construction has been carried out with materials from granite, uranium ore, clay shale and phosphate dumps, all of which contain significant amounts of radium and are therefore potential sources of radon.



The diagram illustrates the process of alpha decay. At the top, a large nucleus of red and white spheres is shown emitting an alpha particle, represented by four red spheres and two white spheres, labeled with the Greek letter alpha ( $\alpha$ ). Below this, a smaller diagram shows a hand holding a piece of paper. Arrows represent different types of radiation: alpha particles (red and white spheres) are stopped by the paper; beta particles (smaller red and white spheres) pass through the paper but are stopped by the hand; gamma rays (wavy lines) pass through both the paper and the hand; and X-rays (smaller red and white spheres) pass through both. A legend at the bottom left identifies the symbols:  $\alpha$  - alpha-particle,  $\beta$  - beta-particle,  $\gamma$  - gamma-radiation, and  $x$  - X-rays. A Russian caption on the right states: "Бумага задерживает только  $\alpha$ -излучение" (Paper only stops alpha radiation).

Radon is an **alpha** emitter (fissions to form a daughter element and an alpha particle) **with a half-life of 3.82 days**.

Among the daughter products of radioactive fission (DPR) of radon there are both alpha- and beta-emitters. Sometimes alpha- and beta-decay is accompanied by gamma-radiation.

MyShared

### ***Радон как причина рака.***

**По самым скромным оценкам на основе имеющейся информации, радон является одним из самых значимых экологических факторов, определяющих смертность.**

**Удалось также выяснить, что примерно 14 % от числа всех зарегистрированных на текущий момент случаев рака легких связано с облучением за счет распада радона.**

### ***Клиника облучения радоном.***

**Воздействие радона, присутствующего в норме в окружающей среде, не проявляет себя никакими острыми или подострыми симптомами, если говорить о влиянии на здоровье: не бывает ни раздражения, ни каких-либо других признаков патологии.**

**Единственный критерий оценки влияния этого элемента на здоровье человека, контактирующего с радоном, — это число случаев рака легких.**

**Данный показатель повышается пропорционально увеличению суммарной дозы облучения и курению сигарет.**

**Эпидемиологические исследования и недавние работы по выявлению радона в грунтовых водах, а также анализ уровня смертности от опухолей показали отсутствие влияния данного фактора на заболеваемость злокачественными новообразованиями внелегочной локализации, например лейкозами и опухолями желудочно-кишечного тракта.**

**Не найдено также доказательств того, что наличие радона во внешней среде отрицательно влияет на детородную функцию.**

**В ряде исследований не обнаружено существенной взаимосвязи между очень низкими концентрациями радона в домах**

### ***Radon as a cause of cancer.***

**Based on the best available information, it is estimated that radon is one of the most significant environmental determinants of mortality.**

**It has also been found that approximately 14% of all currently reported lung cancer cases are attributable to exposure due to radon fission.**

### ***Clinic of radon exposure.***

**Exposure to radon, present normally in the environment, does not manifest itself by any acute or subacute symptoms, if we talk about the impact on health: there is no irritation or any other signs of pathology.**

**The only criterion for assessing the impact of this element on the health of a person in contact with radon is the number of cases of lung cancer.**

**This indicator increases in proportion to the increase in the total radiation dose and cigarette smoking.**

**Epidemiological studies and recent work on the detection of radon in groundwater, as well as analysis of tumour mortality rates, have shown that there is no influence of this factor on the incidence of extrapulmonary malignancies, such as leukaemia and gastrointestinal tumours.**

**No evidence was also found that the presence of radon in the external environment adversely affects fertility.**

**A number of studies have found no significant relationship between very low concentrations of radon in homes**

### ***Минимизация бытовой экспозиции радона.***

**Радон проникает в помещения через трещины в заливных полах; через стыки в конструкциях; трещины в стенах; отверстия, присутствующие в подвесных полах и вокруг коммуникационных труб; полости в стенах и систему водоснабжения.**

### ***Ослабление действия радона.***

**Если внутри здания обнаруживаются чрезмерно высокие концентрации радона, то в первую очередь предпринимают дешевые и быстродействующие методы. К ним относятся сокращение времени пребывания в зараженной зоне и усиление вентиляции.**

**Прежде чем предпринять более решительные шаги по предотвращению контакта с радиацией, желательно проконсультироваться с учреждением радиационного контроля.**

**Помимо увеличения интенсивности воздухообмена, к мерам по борьбе с радоном относятся герметизация фундаментов, почвенная декомпрессия (создание отрицательного давления в толще почвы), создание положительного давления внутри жилища.**

**Обновлению воздуха в помещениях способствуют открывание окон, проветривание подвалов и скрытых полостей, отстойников и дренажей в полах с выведением воздуха наружу, также усиление движения воздуха с помощью подвесных вентиляторов.**

**Вентиляция должна быть правильно организована, так как в некоторых случаях она может способствовать понижению давления внутри здания.**

**Теплообменники реализуют возможность поступления свежего воздуха в помещения без значительной потери тепла, но в данном случае необходима правильная сбалансированность в их работе, поскольку они способны усугубить ситуацию.**

## ***Minimising household exposure to radon.***

**Radon enters rooms through cracks in flood floors; joints in structures; cracks in walls; holes present in suspended floors and around communication pipes; cavities in walls and the water supply system.**

### ***Radon mitigation.***

**If excessively high concentrations of radon are found inside a building, cheap and quick methods are the first to be undertaken. These include reducing the time spent in the contaminated area and increasing ventilation.**

**Before taking more drastic steps to prevent exposure to radiation, it is advisable to consult with the radiation control center.**

**In addition to increasing air exchange, radon control measures include sealing foundations, soil decompression (creating negative pressure in the soil), and creating positive pressure inside the house.**

**Air renewal in the premises is promoted by opening windows, ventilation of basements and hidden cavities, sumps and drains in the floors with air discharged to the outside, as well as strengthening the air movement with the help of suspended fans.**

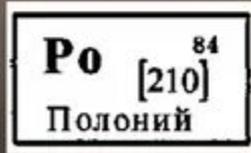
**Ventilation must be properly organised, as in some cases it can contribute to lowering the pressure inside the building.**

**Heat exchangers provide the possibility of introducing fresh air into the rooms without significant heat loss, but in this case a correct balance in their operation is necessary, as they can aggravate the situation.**

## Полоний 210

### Полоний-210

Достаточно токсичен из-за своего альфа-излучения. Человек, выкурив всего одну сигарету, "забрасывает" в себя столько полония-210 и бензопирена, сколько бы он поглотил их, вдыхая выхлопные газы 16 часов.



Полоний-210 изотоп полония.

Он подвергается альфа-распаду до стабильного варианта с периодом полураспада 138,376 дней (около 4+1/2 месяца), самый длительный период полураспада из всех природных изотопов полония.

Впервые идентифицированный в 1898 году, а также ознаменовавший открытие элемента полония.

<sup>210</sup>Po образуется в цепи распада урана 238 и радия 226

Он является заметным загрязнителем окружающей среды, в основном затрагивающим морепродукты и табак.

Его чрезвычайная токсичность объясняется интенсивной радиоактивностью и способностью вызвать тяжелейшее поражение человека

Чрезвычайно токсичен; он и другие изотопы полония являются одними из самых радиотоксичных веществ для человека.

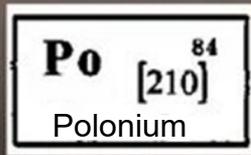
При том, что одного микрограмма более чем достаточно, чтобы убить среднего взрослого человека,

<sup>210</sup>Po в 250 000 раз токсичнее цианистого водорода по весу

## Polonium 210

### Polonium-210

Quite toxic because of its alpha radiation. A person smoking just one cigarette "takes in" as much polonium-210 and benzopyrene as he would have absorbed by inhaling exhaust fumes for 16 hours.



**Polonium-210 is an isotope of polonium.**

**It undergoes alpha fission to a stable variant with a half-life of 138,376 days (about 4+1/2 months), the longest half-life of any natural isotope of polonium.**

**First identified in 1898 and also marked the discovery of the element polonium.**

**<sup>210</sup> Po is formed in the fission chain of uranium 238 and radium 226**

**It is a notable environmental contaminant, mainly affecting seafood and tobacco.**

**Its extreme toxicity is due to its intense radioactivity and its ability to cause severe human injury**

**Extremely toxic; it and other isotopes of polonium are among the most radiotoxic substances to humans.**

**While one microgramme is more than enough to kill the average adult human,**

**<sup>210</sup> Po is 250,000 times more toxic than hydrogen cyanide by weight**

Также считается, что одного грамма  $^{210}\text{Po}$  достаточно, чтобы убить 50 миллионов человек и заболеть еще 50 миллионами. Это следствие его ионизирующего альфа-излучения, так как альфа-частицы особенно повреждают органические ткани внутри организма.

Однако  $^{210}\text{Po}$  не представляет угрозы вне организма, так как альфа-частицы не могут проникать через кожу человека<sup>1</sup>

Токсичность  $^{210}\text{Po}$  полностью связана с его радиоактивностью. Он не является химически токсичным сам по себе, но его растворимость в водном растворе, а также в его солях представляет опасность, поскольку его распространение по всему организму облегчается в растворе.

Поступление  $^{210}\text{Po}$  происходит в основном через загрязненный воздух, пищу или воду, а также через открытые раны. Попав в организм,  $^{210}\text{Po}$  концентрируется в мягких тканях и кровотоке. Его биологический период полураспада составляет примерно 50 дней.

В окружающей среде  $^{210}\text{Po}$  может накапливаться в морепродуктах. Он был обнаружен в различных организмах Балтийского моря, где он может распространяться и, таким образом, загрязнять пищевую цепь.

$^{210}\text{Po}$  загрязняет растительность, главным образом в результате распада атмосферного радона  $^{222}\text{Rn}$  и поглощения из почвы.

В частности,  $^{210}\text{Po}$  присоединяется к табачным листьям и концентрируется в них.

Курильщики сигарет подвергаются значительно большим дозам радиации от  $^{210}\text{Po}$  и его родительского  $^{210}\text{Pb}$ .

$^{210}\text{Po}$  наиболее опасен при вдыхании сигаретного дыма, что является дополнительным доказательством связи между курением и раком легких:

**It is also believed that one gram of  $^{210}\text{Po}$  is enough to kill 50 million people and make another 50 million sick. This is a consequence of its ionising alpha radiation, as alpha particles are particularly damaging to organic tissues inside the body.**

**However,  $^{210}\text{Po}$  poses no threat outside the body because alpha particles cannot penetrate human skin**

**The toxicity of  $^{210}\text{Po}$  is entirely due to its radioactivity. It is not chemically toxic in itself, but its solubility in aqueous solution as well as in its salts is hazardous, since its distribution throughout the body is facilitated in solution.**

**The ingestion of  $^{210}\text{Po}$  occurs mainly through contaminated air, food or water, and through open wounds. Once in the body,  $^{210}\text{Po}$  concentrates in soft tissues and the bloodstream. Its biological half-life is approximately 50 days.**

**In the environment,  $^{210}\text{Po}$  can accumulate in seafood. It has been detected in various organisms in the Baltic Sea, where it can spread and thus contaminate the food chain.**

**$^{210}\text{Po}$  contaminates vegetation, mainly through fission of atmospheric radon 222 and uptake from soil.**

**In particular,  $^{210}\text{Po}$  attaches to and concentrates in tobacco leaves.**

**Cigarette smokers are exposed to significantly higher radiation doses from  $^{210}\text{Po}$  and its parent  $^{210}\text{Pb}$ .**

**$^{210}\text{Po}$  is most dangerous when inhaled in cigarette smoke, providing further evidence of a link between smoking and lung cancer.**

**Вопрос 6 Лучевые поражения  
в результате алиментарного и  
ингаляционного поступления  
продуктов ядерного деления**

Question 6 Radiation injuries due  
to alimentary and inhalation intake  
of nuclear fission products

**Представления о патогенезе и клинике поражений большими количествами продуктов ядерного деления (ПЯД) основываются на экспериментальных данных. В реальных условиях собственно ПЯД могут оказаться смешанными в разных соотношениях с продуктами наведенной радиоактивности**

**Радиоактивность поступивших в организм молодых ПЯД быстро снижается в первое время за счет распада короткоживущих изотопов, и интенсивность облучения организма со временем падает.**

**Во всех органах кроме костей 30-50 % всей накопленной дозы формируется в течение 1 сут после поступления ПЯД в организм, в течение недели - практически вся доза.**

**При распаде ПЯД испускают  $\beta$ -, а во многих случаях и  $\gamma$ -излучение. Характерна резкая неравномерность в распределении поглощенных доз (до 3 порядков) между различными органами и тканями, что зависит, прежде всего, от тропности отдельных радионуклидов к различным органам и низкой проникающей способности  $\beta$ -частиц.  $\gamma$ -излучение более равномерно поглощается различными участками тела.**

**Вначале наиболее интенсивно облучаются органы дыхания и пищеварения.**

**Далее следуют органы преимущественного депонирования: щитовидная железа, печень, почки.**

**В костях доза формируется гораздо медленнее по причине накопления в них таких долгоживущих радионуклидов как стронций.**

**Отдаленные последствия при внутреннем заражении ПЯД принципиально такие же, как и при внешнем облучении, однако существенно большая доля приходится на опухоли желез внутренней секреции напр. повреждению щитовидной железы, которую рассматривают как критический орган**

**The ideas about the pathogenesis and clinic of affection by large amounts of nuclear fission products (NFP) are based on experimental data. In real conditions, the NFP may be mixed in different ratios with induced radioactivity products**

**The radioactivity of young NFP entering the organism decreases rapidly at first due to the decay of short-lived isotopes, and the intensity of irradiation of the organism decreases with time.**

**In all organs except bones 30-50 % of the total accumulated dose is formed within 1 day after NFP entry into the organism, within a week - practically the entire dose.**

**When decaying, NFP emit  $\beta$ - and in many cases  $\gamma$ -radiation. A sharp unevenness in the distribution of absorbed doses (up to 3 orders of magnitude) between different organs and tissues is characteristic, which depends, first of all, on the tropicity of individual radionuclides to different organs and the low penetration ability of  $\beta$ -particles.  $\gamma$ -radiation is absorbed more uniformly by different parts of the body.**

**At first, the respiratory and digestive organs are most intensively irradiated.**

**Next come the organs of preferential deposition: thyroid gland, liver, kidneys.**

**In bones the dose is formed much slower due to accumulation of such long-lived radionuclides as strontium.**

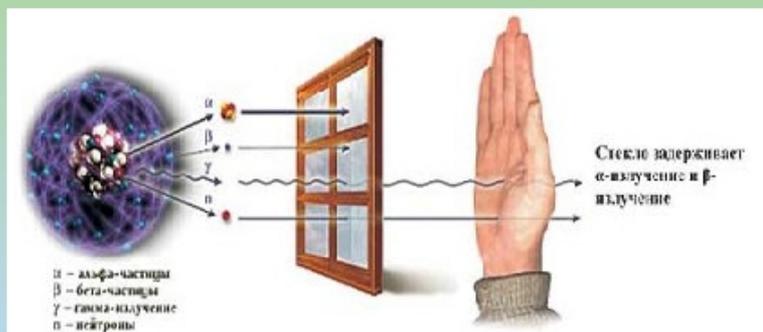
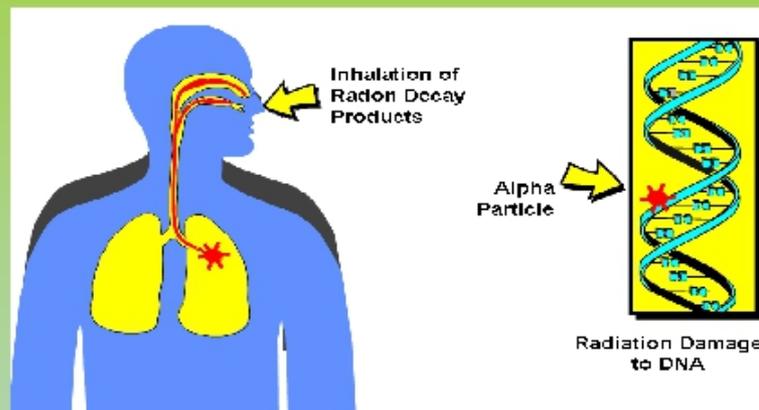
**The long-term consequences of internal contamination with NFP are fundamentally the same as those of external exposure, but a significantly higher proportion is attributed to tumours of the internal secretion glands, e.g. the injury of the thyroid gland, which is regarded as a critical organ**

# Механизм попадания радиоактивных веществ в организм человека



Радиоактивные изотопы могут проникать в организм вместе с пищей или водой.

Радиоактивные частицы из воздуха во время дыхания могут попасть в легкие.



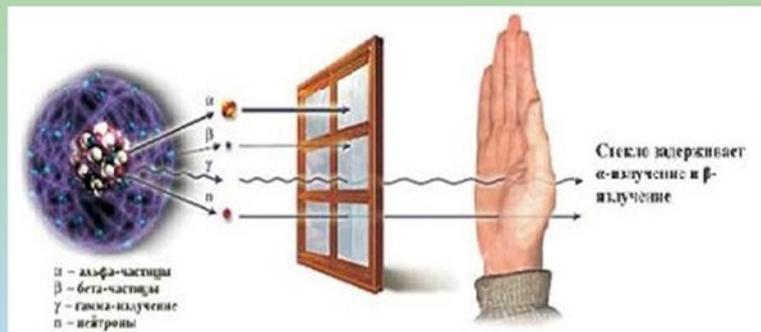
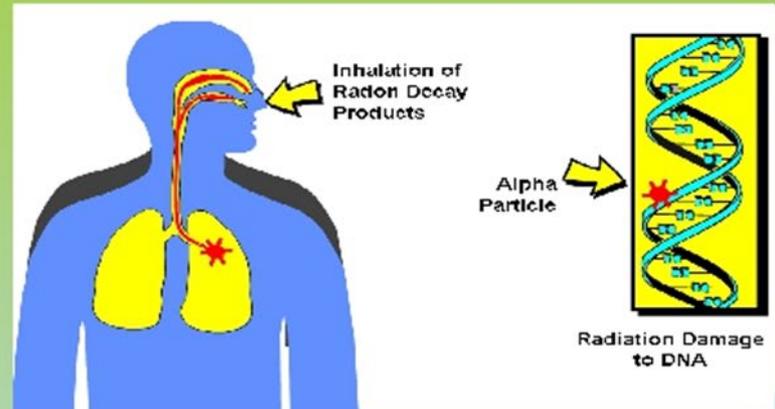
Изотопы, испуская гамма-излучение, способны облучить организм снаружи.

# Mechanism of entry of radioactive substances into the human body



Radioactive isotopes can enter the body with food or water.

Radioactive particles from the air can enter the lungs while breathing.



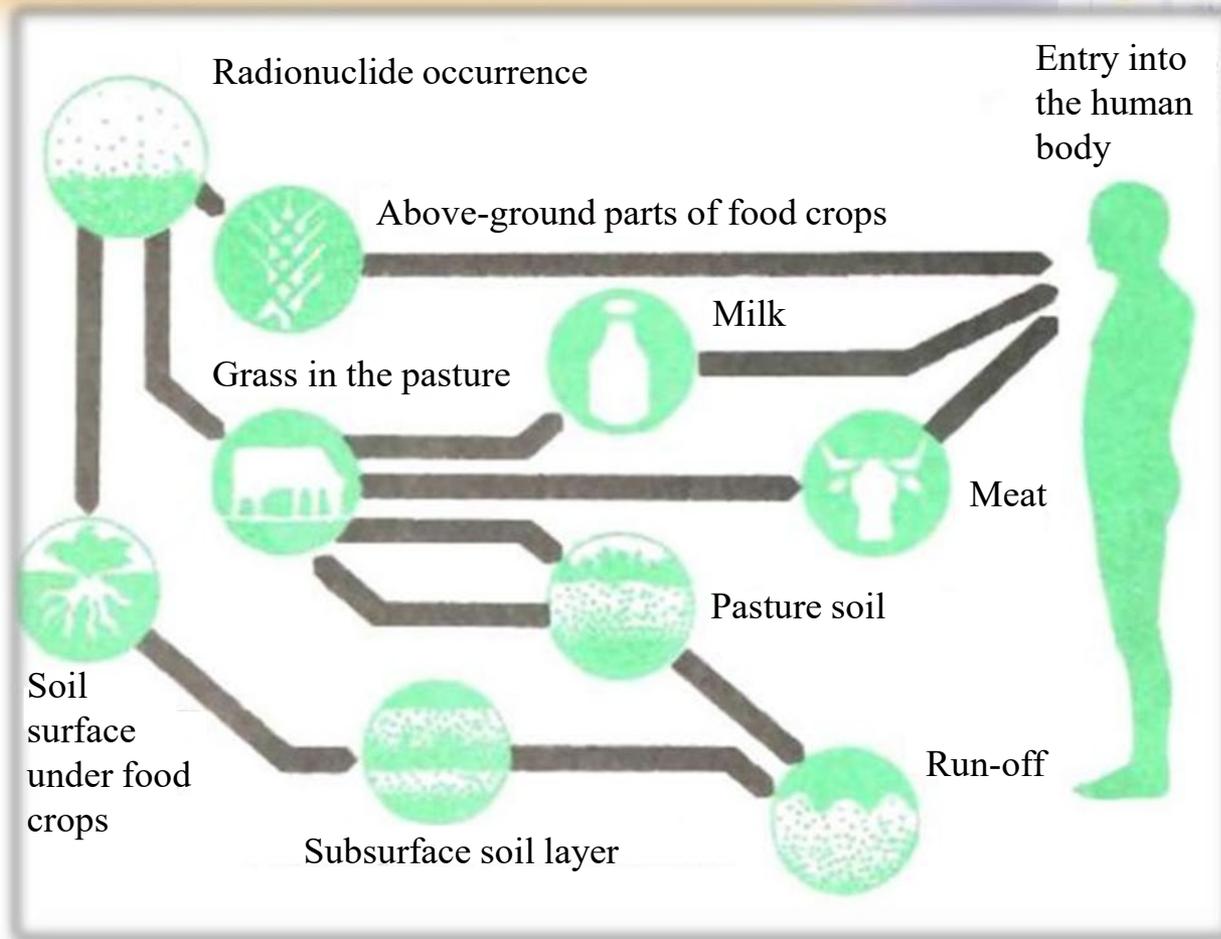
Isotopes, by emitting gamma radiation, can irradiate the body externally.

# ПУТИ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ



## Gastrointestinal tract

# PATHWAYS OF RADIONUCLIDE ENTRY INTO THE BODY



## **Поступление радионуклидов через ЖКТ**

**В клинике ОЛБ при алиментарном поступлении больших количеств ПЯД доминируют проявления поражения кишечника, вызванные контактным бета-облучением.**

**Повреждения кишки часто имеют очаговый характер, особенно при поступлении плохо растворимых радионуклидов, длительно задерживающихся в регионарных лимфатических узлах, в результате чего местно формируются высокие дозы.**

**Нарушается баланс жидкостей и электролитов, развиваются интоксикация, бактериемия, страдают секреция и ферментообразование в желудке, кишечнике.**

**Клинически для тяжелой степени поражения характерны рвота, понос, тенезмы, слизь и кровь в кале, обезвоживание организма**

**Патологический процесс можно обозначить как острый геморрагический гастроэнтероколит. Состояние тонкой кишки при этом напоминает поражение при кишечной форме ОЛБ от внешнего облучения.**

**В связи с очаговым характером поражения, а также с большей длительностью облучения равноэффективные дозы для кишки при внутреннем заражении ПЯД оказываются в 2-2,5 раза выше, чем при внешнем облучении.**

## **Radionuclide entry through the GIT**

**In the clinic of ARD in case of alimentary intake of large amounts of NFP, manifestations of intestinal injury caused by contact beta-irradiation dominate.**

**Intestine injury is often focal, especially when poorly soluble radionuclides are ingested and retained for a long time in regional lymph nodes, resulting in local formation of high doses.**

**The balance of fluids and electrolytes is disturbed, intoxication, bacteraemia develops, secretion and enzyme formation in the stomach and intestine are affected.**

**Clinically, a severe degree of affection is characterised by vomiting, diarrhoea, tenesmus, mucus and blood in the faeces, dehydration of the body**

**The pathological process can be designated as acute hemorrhagic gastroenterocolitis. The condition of the small intestine in this case resembles the lesion in the intestinal form of ARS from external radiation.**

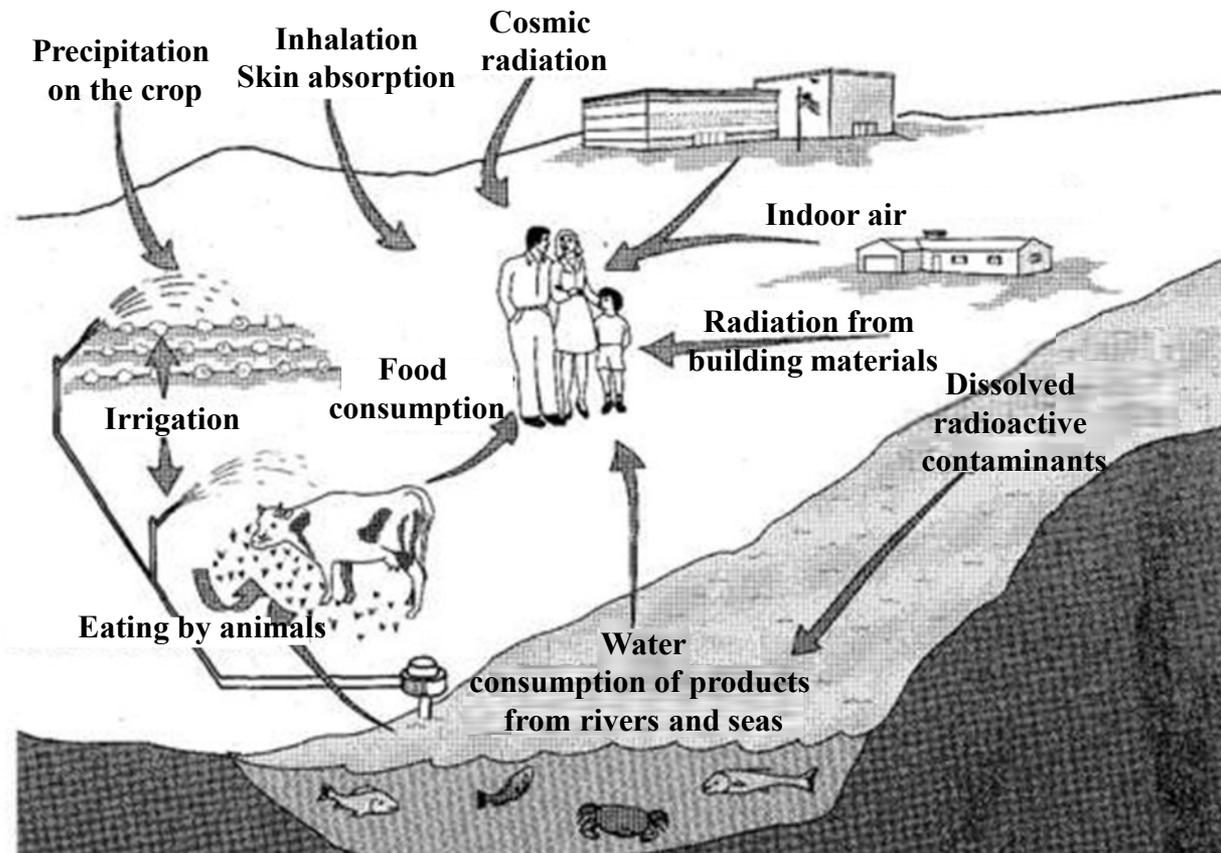
**Due to the focal nature of the injury, as well as to the longer duration of irradiation, the equally effective doses for the intestine at internal contamination with NFP are 2-2.5 times higher than at external irradiation.**



## Inhalation entry

# PATHWAYS OF RADIONUCLIDE ENTRY INTO THE HUMAN BODY

### Airborne radioactive contaminants



**Ингаляционное поступление ПЯД опаснее, чем алиментарное. Это связано, в первую очередь с облучением легких за счет продуктов, задержавшихся в них и попавших в лимфатические узлы.**

**В результате высоких местных доз, формирующихся вокруг задержавшихся в легких радиоактивных частиц, развиваются очаги кровоизлияний, переходящие в фибринозно-геморрагическую пневмонию со слабо выраженной клеточной реакцией.**

**Наблюдаются проявления радиационного ожога ВЛП.**

**Наряду с органами дыхания при ингаляционном поступлении ПЯД поражается и кишечник. В остром периоде болезнь можно определить как бронхопневмонию с гастроэнтероколитом.**

### **Гематологические изменения**

**Гематологические изменения при поступлении ПЯД внутрь организма зависят от их количества, изотопного состава (который меняется в зависимости от "возраста" осколков) и растворимости.**

**Если поступление невелико, а продукты мало растворимы, обычно наблюдают умеренный лейкоцитоз, моноцитоз, сдвиг лейкоцитарной формулы влево.**

**При поступлении больших количеств радионуклидов появляются признаки угнетения лейко- и эритропоэза.**

**Значимость гематологических изменений для прогноза тяжести лучевой болезни в случае внутреннего поступления ПЯД значительно меньше, чем при внешнем облучении.**

**Inhalation ingestion of NFP is more dangerous than alimentary. This is due, first of all, to the exposure of the lungs due to products retained in them and reaching the lymph nodes.**

**As a result of high local doses formed around the radioactive particles retained in the lungs, foci of haemorrhages develop, transforming into fibrinous haemorrhagic pneumonia with weakly expressed cellular reaction.**

**There are manifestations of radiation burn of upper airway.**

**Along with respiratory organs at inhalation intake of NFP the intestine is also affected. In the acute period the disease can be defined as bronchopneumonia with gastroenterocolitis.**

### **Haematological changes**

**Haematological changes in the ingestion of NFP depend on their quantity, isotopic composition (which varies depending on the “age” of the fragments) and solubility.**

**If the intake is small and the products are insoluble, moderate leukocytosis, monocytosis, and a leftward shift of the leukocytic formula are usually observed.**

**When large amounts of radionuclides are ingested, there are signs of suppression of leukaemia and erythropoiesis.**

**The significance of haematological changes for predicting the severity of radiation sickness in the case of internal intake of NFP is much less than in the case of external irradiation.**

Так же как и при ОЛБ от внешнего облучения, при внутреннем заражении ПЯД развиваются существенные расстройства иммунологической реактивности: повышается чувствительность к инфекции, развиваются аутоимунные реакции.

Поражения кишечника, печени, щитовидной железы при внутреннем заражении ПЯД обуславливают нарушения углеводного, липидного и белкового обмена, активности ферментов, накопление токсичных метаболитов.

Причиной смерти при острых поражениях ПЯД чаще всего являются повреждения ЖКТ и органов дыхания, развивающиеся на фоне глубоких нарушений кроветворной функции и приводящие к обезвоживанию, потере электролитов, интоксикации, генерализации инфекции.

### **Восстановительные процессы**

Для восстановительных процессов при внутреннем заражении ПЯД характерно все то, что отмечают и при общем внешнем облучении:

- репарация молекулярных повреждений,
- клеточная регенерация,
- восстановление функций на органном и организменном уровнях.

К этому следует добавить процессы, направленные на удаление ПЯД из организма.

Мешает течению восстановительных процессов после внутреннего заражения продолжающееся облучение инкорпорированными радионуклидами, а также изменения гормональной регуляции, связанные, в первую очередь, с повреждением щитовидной железы радиоактивным йодом.

**Similarly to external radiation induced ARS, internal contamination with NFP develops significant disorders of immunological reactivity: sensitivity to infection increases and autoimmune reactions develop.**

**Injuries of the intestine, liver, thyroid gland during internal contamination with NFP cause disorders of carbohydrate, lipid and protein metabolism, enzyme activity, and accumulation of toxic metabolites.**

**The cause of death in acute NFP affection is most often GIT and respiratory disorders, developing against the background of profound disorders of hematopoietic function and leading to dehydration, loss of electrolytes, intoxication, and generalisation of infection.**

### **Recovery processes**

**Recovery processes during internal contamination with NFP are characterised by everything that is also observed during general external irradiation:**

- **molecular injury repair,**
- **cellular regeneration,**
- **restoration of functions at the organ and organismal levels.**

**To this should be added the processes aimed at removal of NFP from the organism.**

**The ongoing exposure to incorporated radionuclides, as well as changes in hormonal regulation, primarily related to the thyroid gland injury by radioactive iodine, hinder the course of recovery processes after internal contamination.**

## **Особенности ОЛБ**

**Течение ОЛБ от внутреннего поступления ПЯД отличают слабая выраженность первичной реакции и гематологического синдрома, отсутствие четких границ между периодами течения, рано появляющиеся признаки поражения критических органов (кишечника, легких), замедление восстановительных процессов.**

## **Отдаленные последствия**

**Отдаленные последствия при внутреннем заражении ПЯД принципиально такие же, как и при внешнем облучении.**

**Однако существенно большая доля приходится на опухоли желез внутренней секреции, в возникновении которых ведущее значение принадлежит повреждению щитовидной железы, которую рассматривают как критический орган в формировании отдаленной патологии при поступлении в организм ПЯД.**

## **Characteristics of ARS**

**The course of OLB from the internal entry of NFP is distinguished by the weak severity of the primary reaction and haematological syndrome, the absence of clear boundaries between periods of the course, early appearing signs of injury of critical organs (intestines, lungs), and delayed recovery processes.**

## **Long-term effects**

**The long-term effects of internal contamination with NFP are fundamentally the same as those of external exposure.**

**However, a considerably larger share is accounted for by tumours of the glands of internal secretion, in the occurrence of which the leading significance belongs to the thyroid gland injury, which is regarded as a critical organ in the formation of long-term pathology in the case of NFP intake into the body.**