

Введение в радиационную гигиену

Водоватов А.В.

ФБУН НИИРГ им. П. В. Рамзаева, Санкт-Петербург
Лаборатория радиационной гигиены медицинских
организаций

VISION

Радиационная гигиена

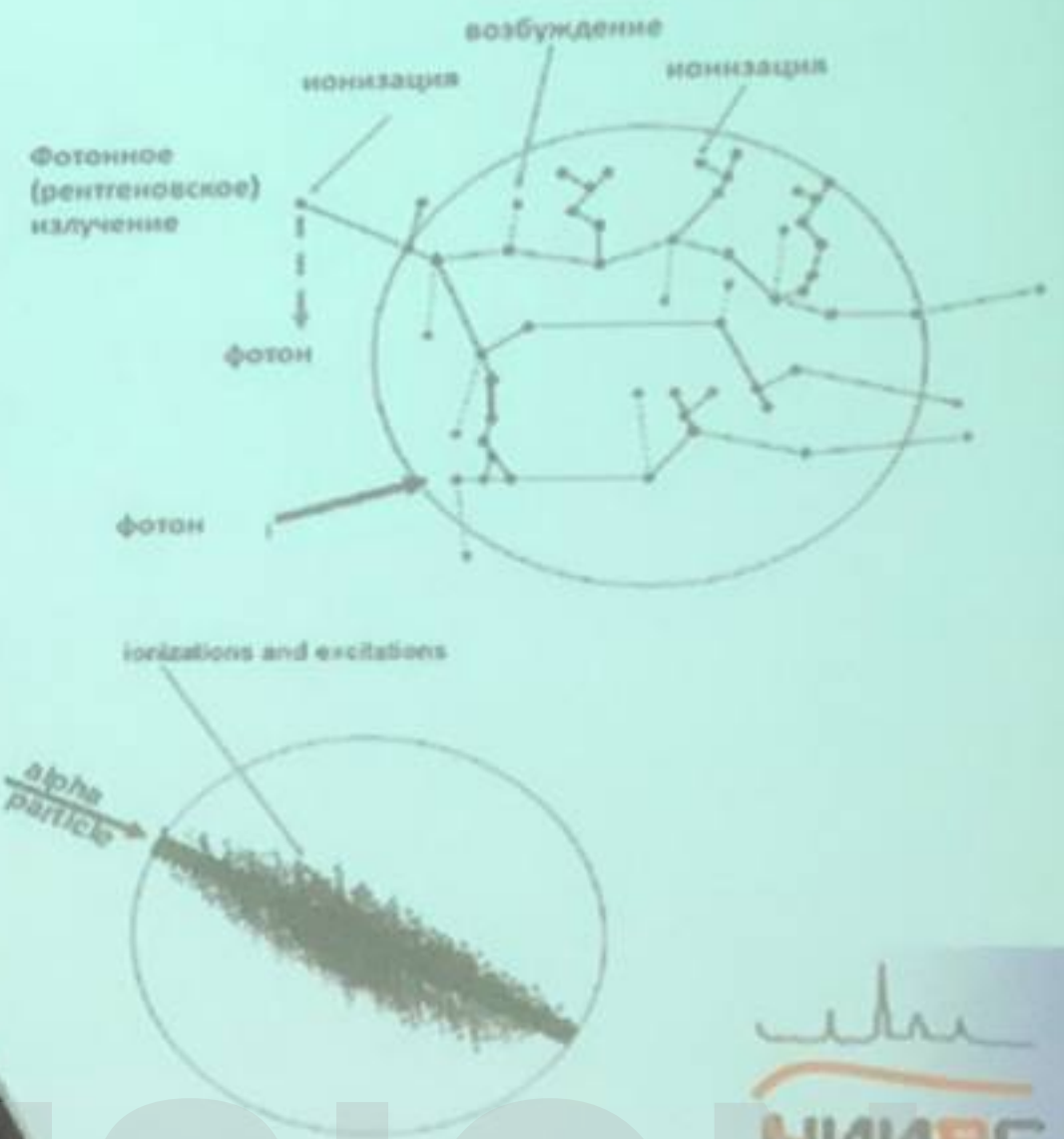
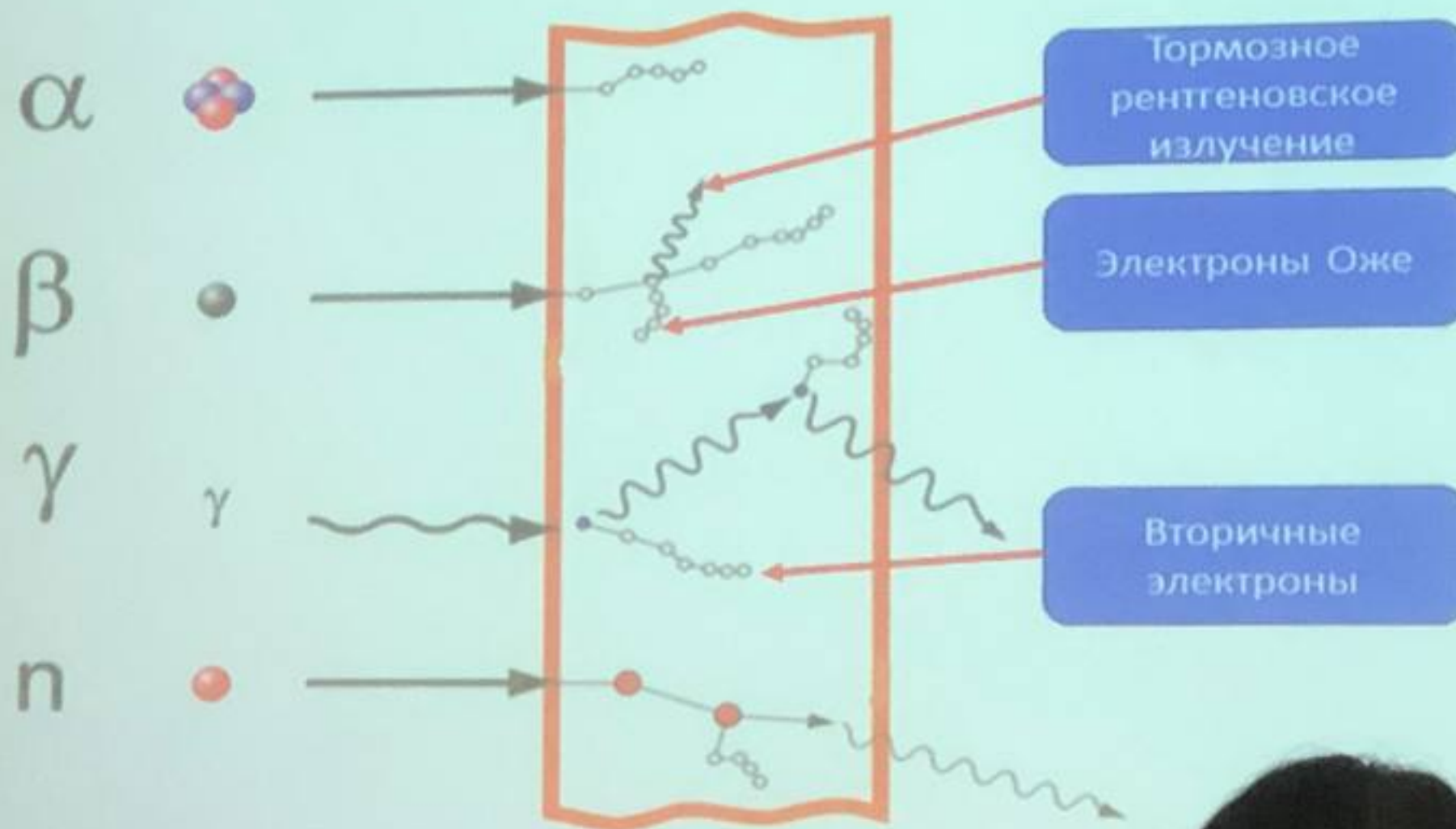
- Научная дисциплина, которая разрабатывает методологические основы и практические рекомендации по осуществлению мероприятий в области защиты человека от воздействия ионизирующих излучений
- Зарубежные аналоги:
 - Health physics
 - Medical radiation physics

VISION

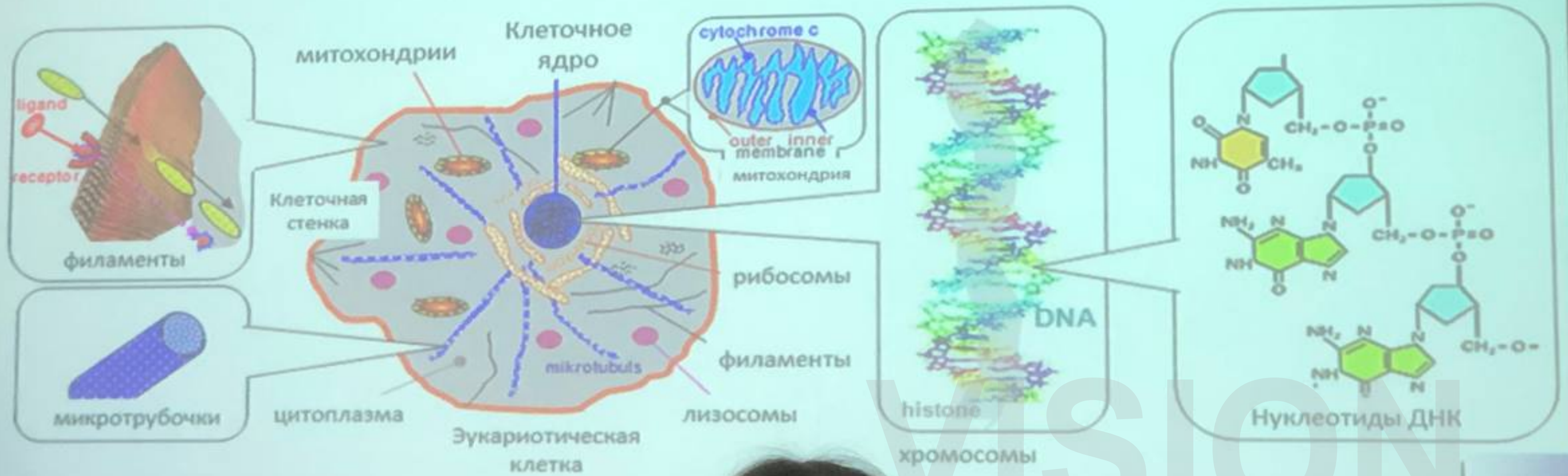
Задачи, решаемые в рамках радиационной гигиены

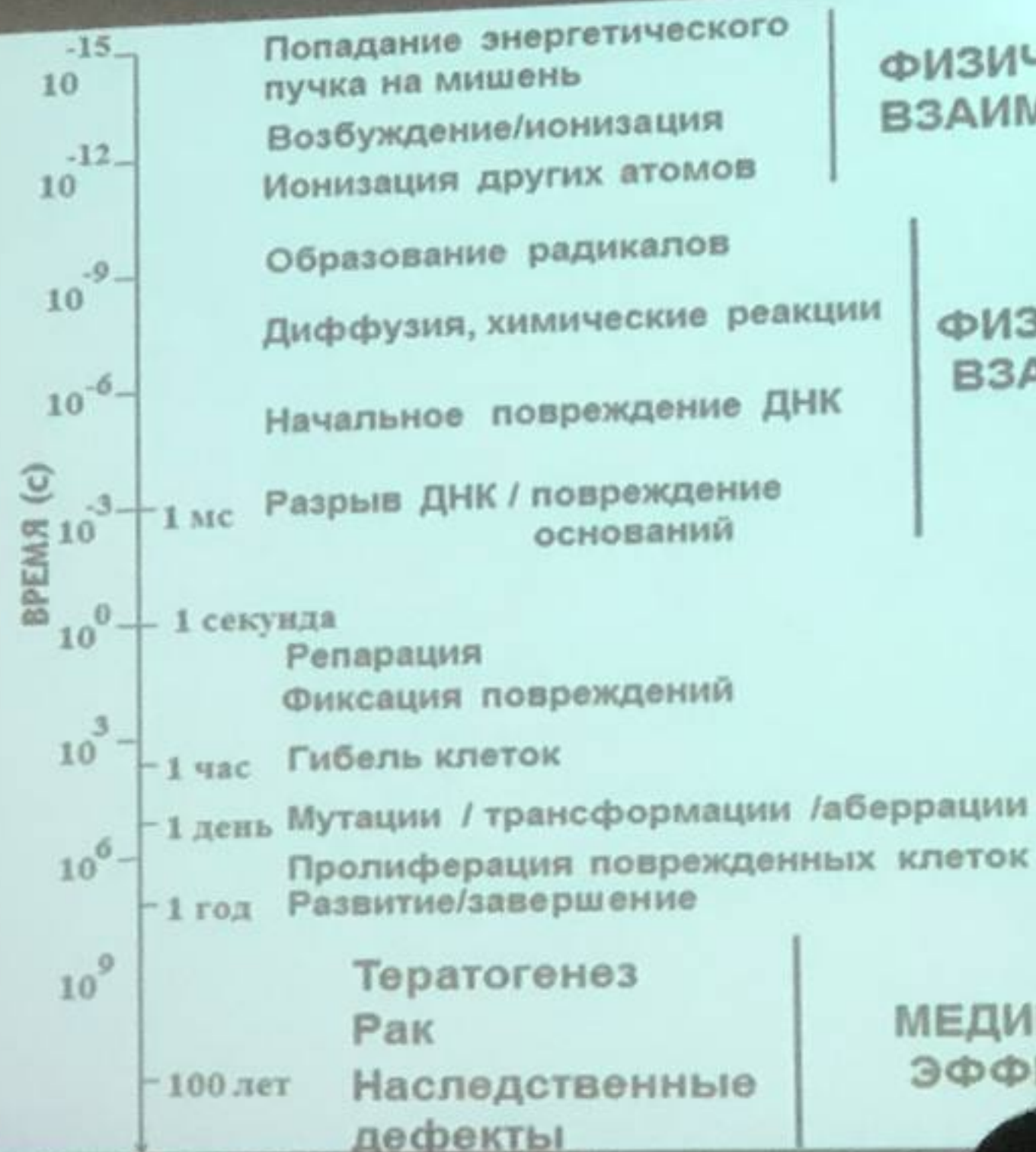
- Установить источники воздействия ИИ на человека (персонал, пациентов, население, аварийные бригады и пр.)
- Установить пути воздействия ИИ на организм человека
 - Внешнее/внутреннее
 - Поражаемые органы
 - Пути поступления
 - Пути выведения
- Оценить реальный/потенциальный вред для организма человека
- Определить стратегию защиты/ограничения облучения
- Разработать методы защиты
- Внедрить данные методы в практику
- Обеспечить выполнение методов защиты от ИИИ
- Оценить результат

Виды ионизирующего излучения



Основные мишени в клетке





ФИЗИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

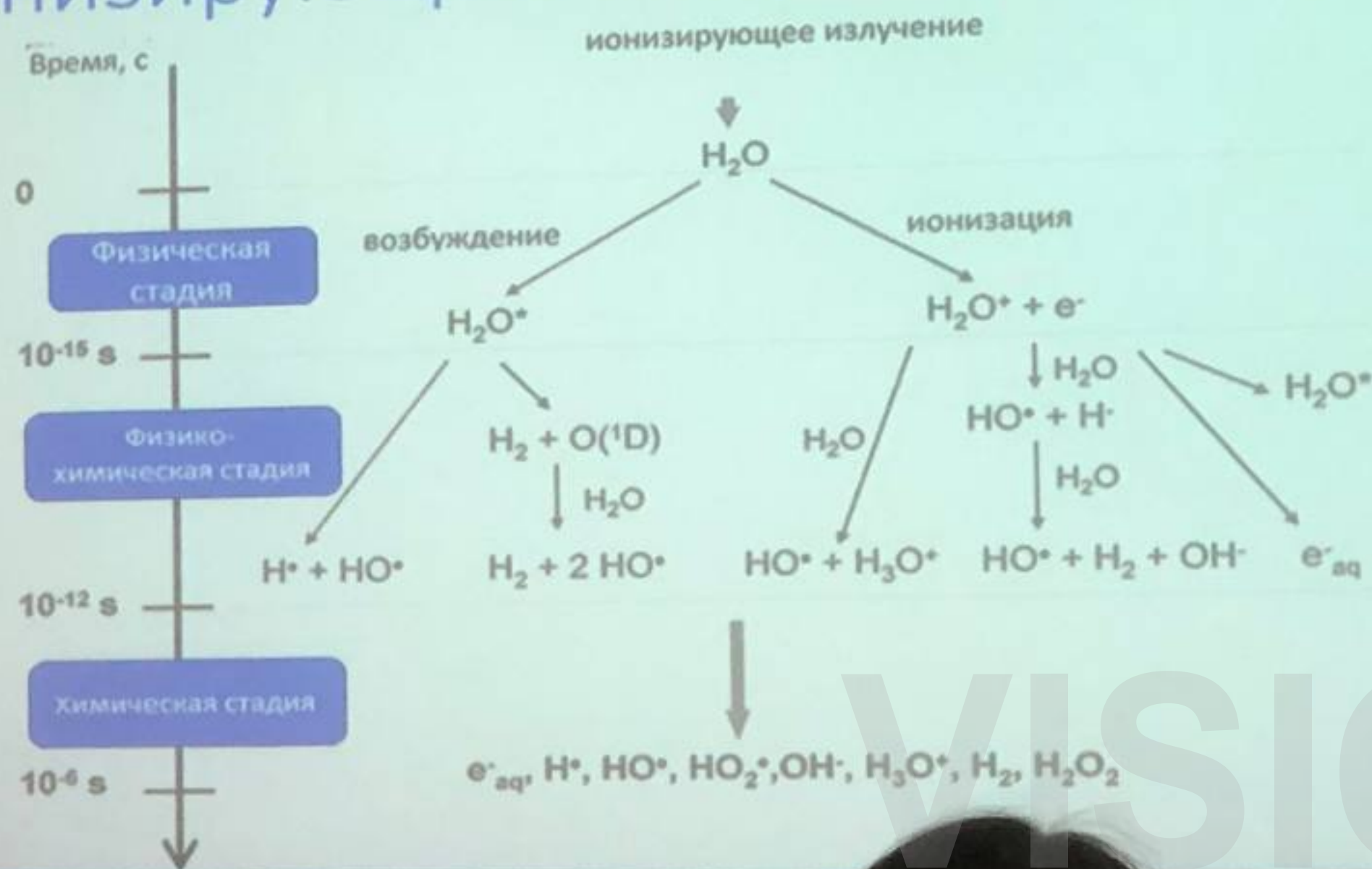
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Распределение по времени
событий, приводящих к
радиационным эффектам.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

МЕДИЦИНСКИЕ ЭФФЕКТЫ

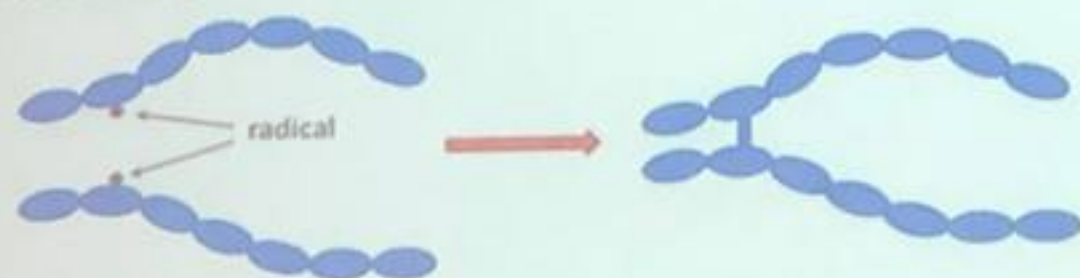
Вода как основной фактор воздействия ионизирующего излучения внутри клетки



VISION

Воздействие ионизирующего излучения на белки и мембраны

a) Crosslinking



b) Scission

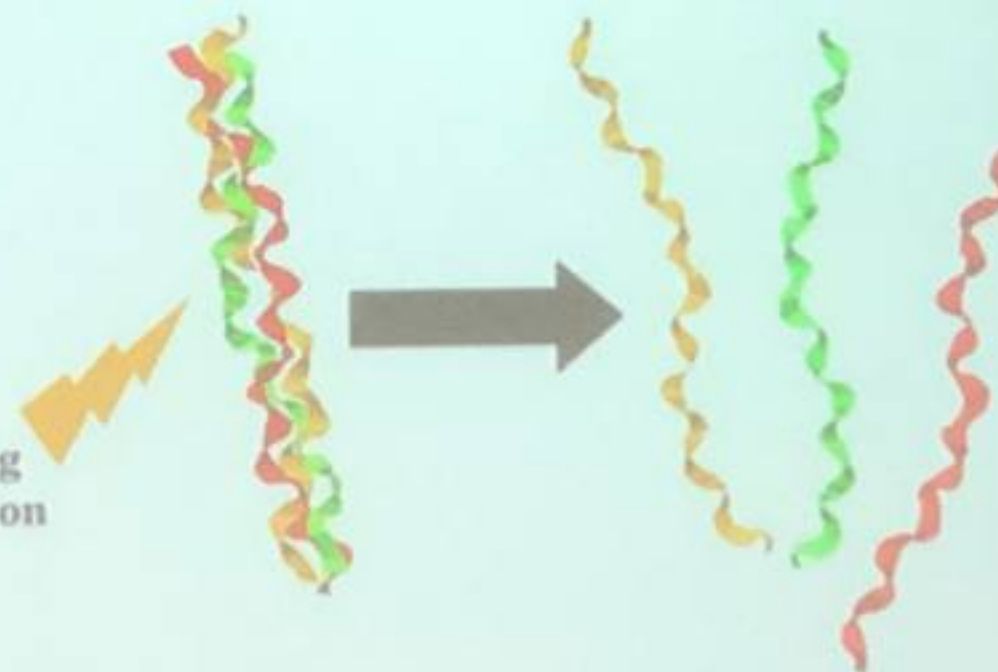


c) Grafting



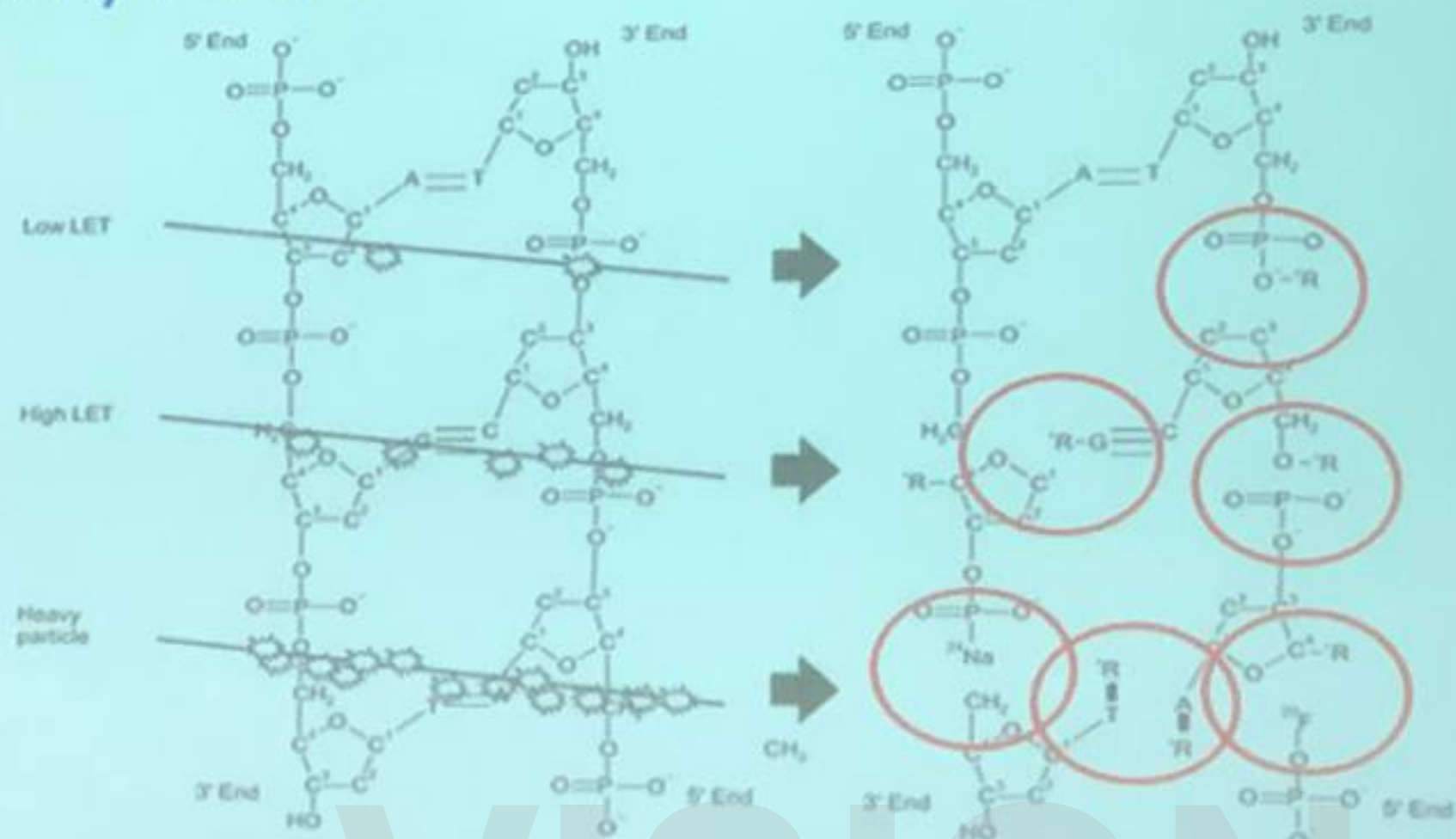
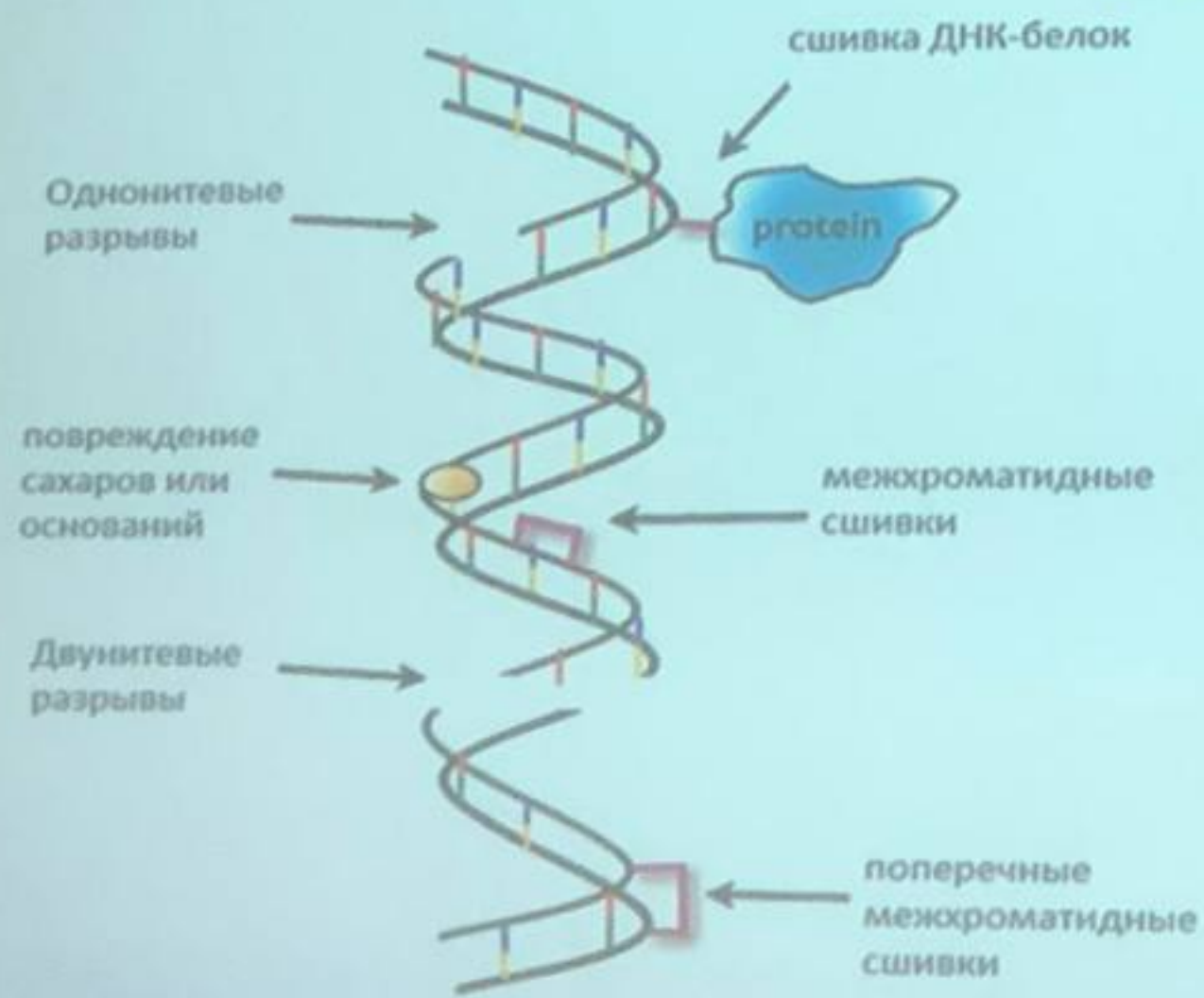
Повреждение пептидных цепочек

Ionizing radiation

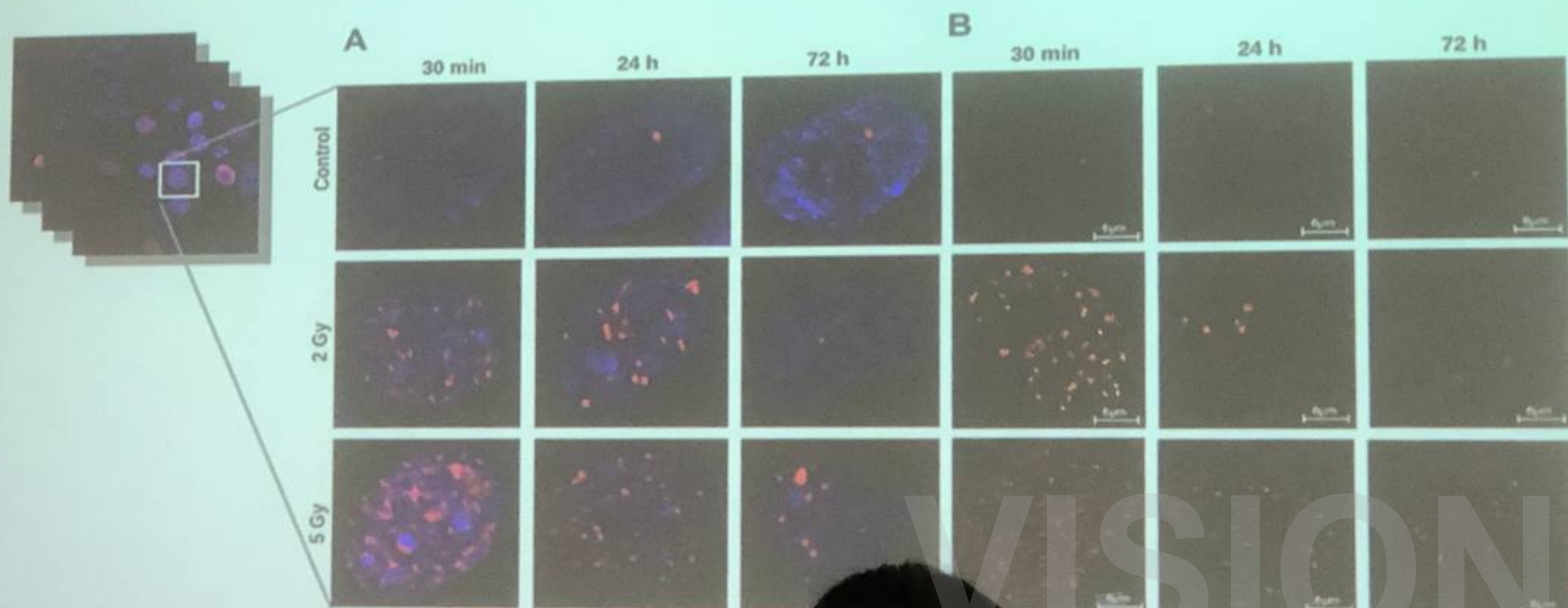


Изменение структуры белка
(третичная/четвертичная)

Воздействие ионизирующего излучения на ДНК/РНК



Визуализация повреждения ДНК

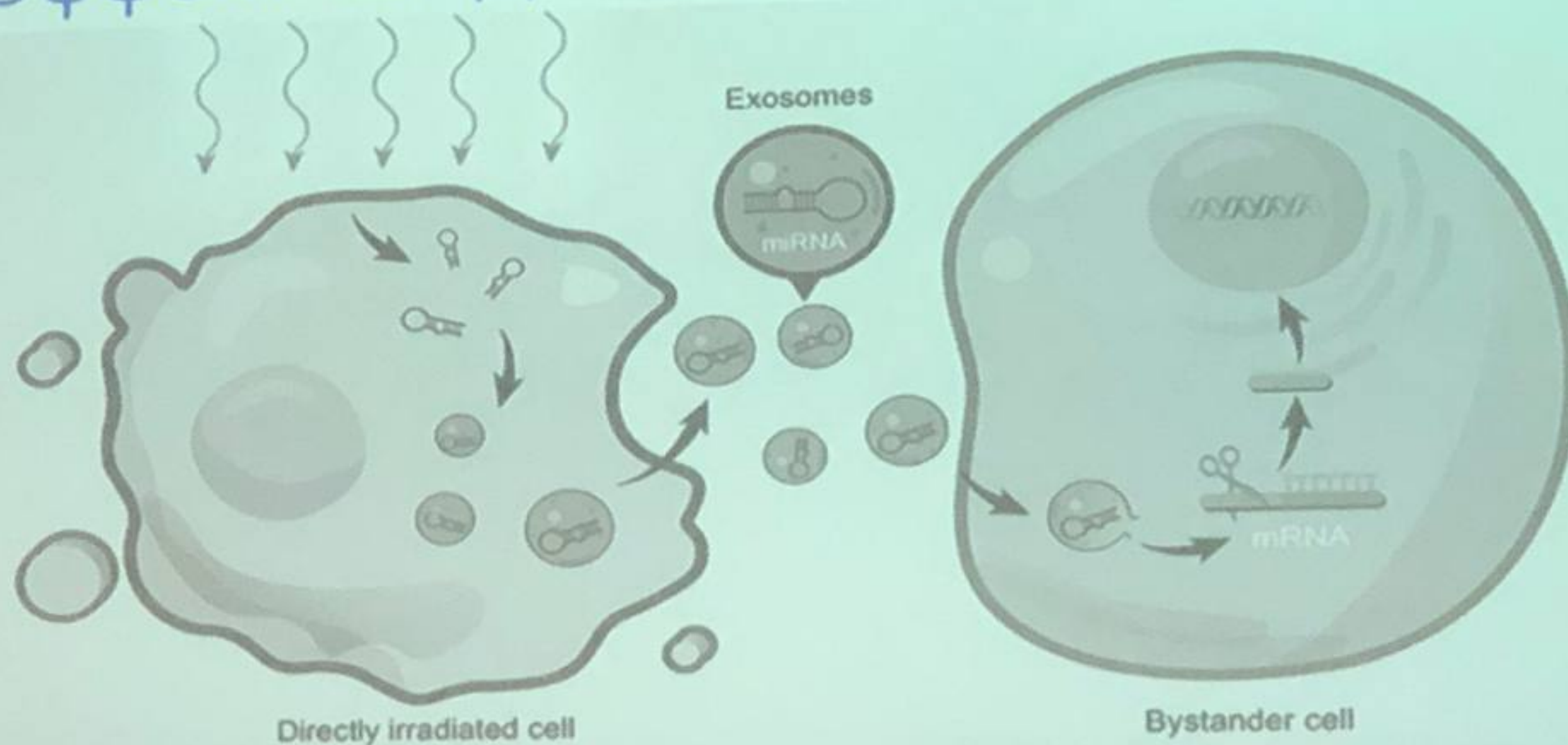


VISION

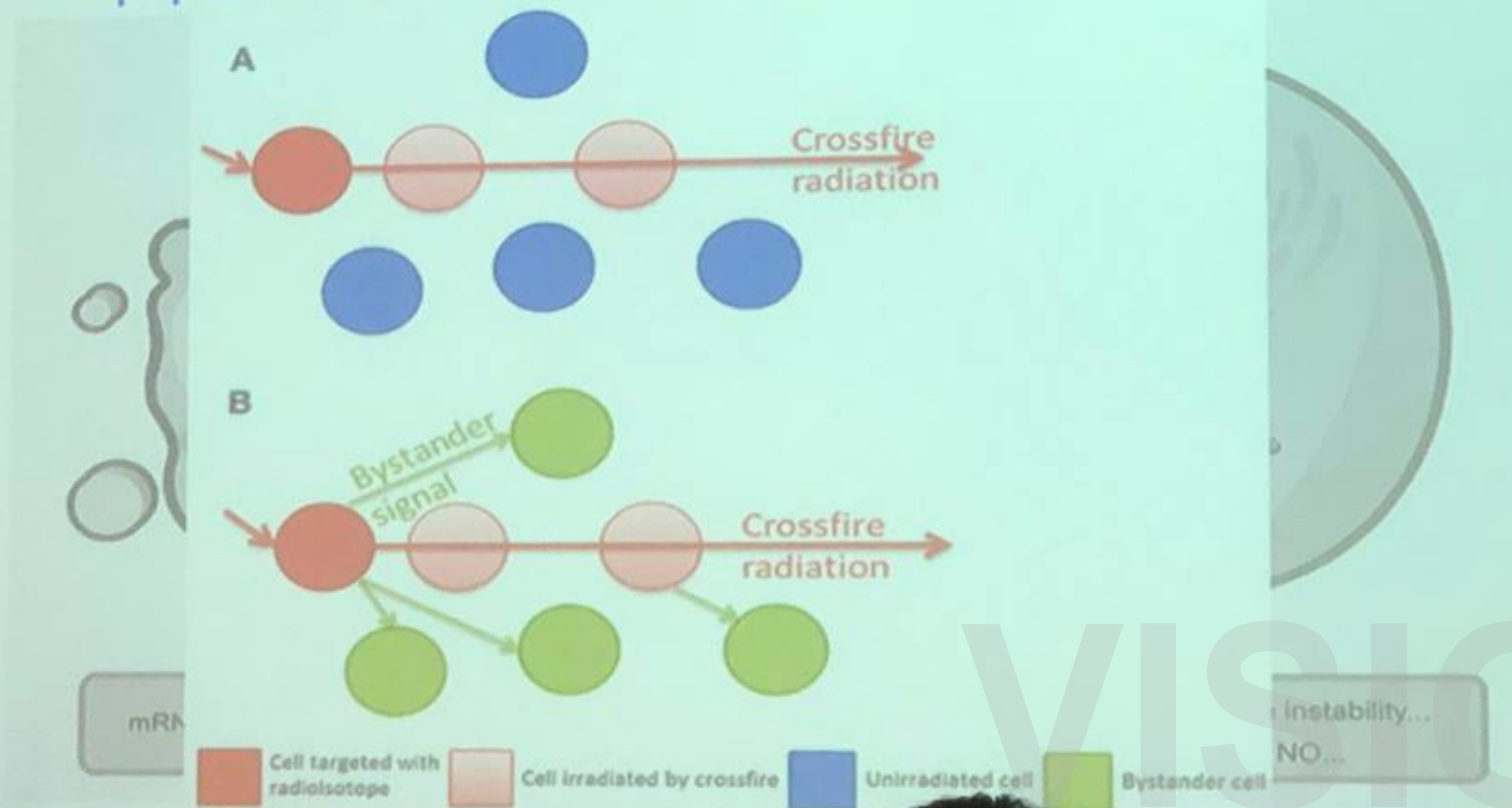
Визуализация повреждения ДНК



Эффект свидетеля (bystander effect)



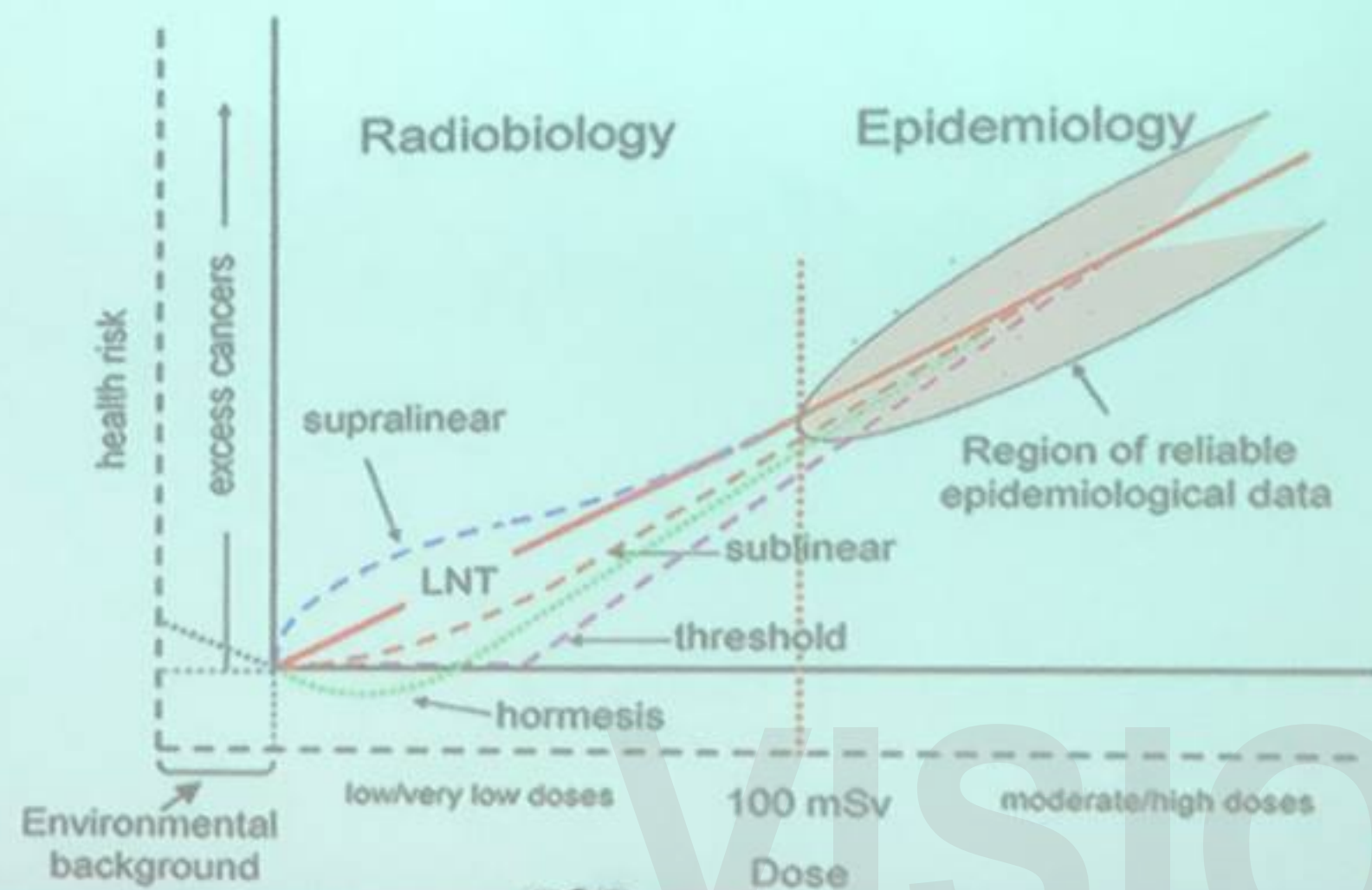
Эффект свидетеля (bystander effect)



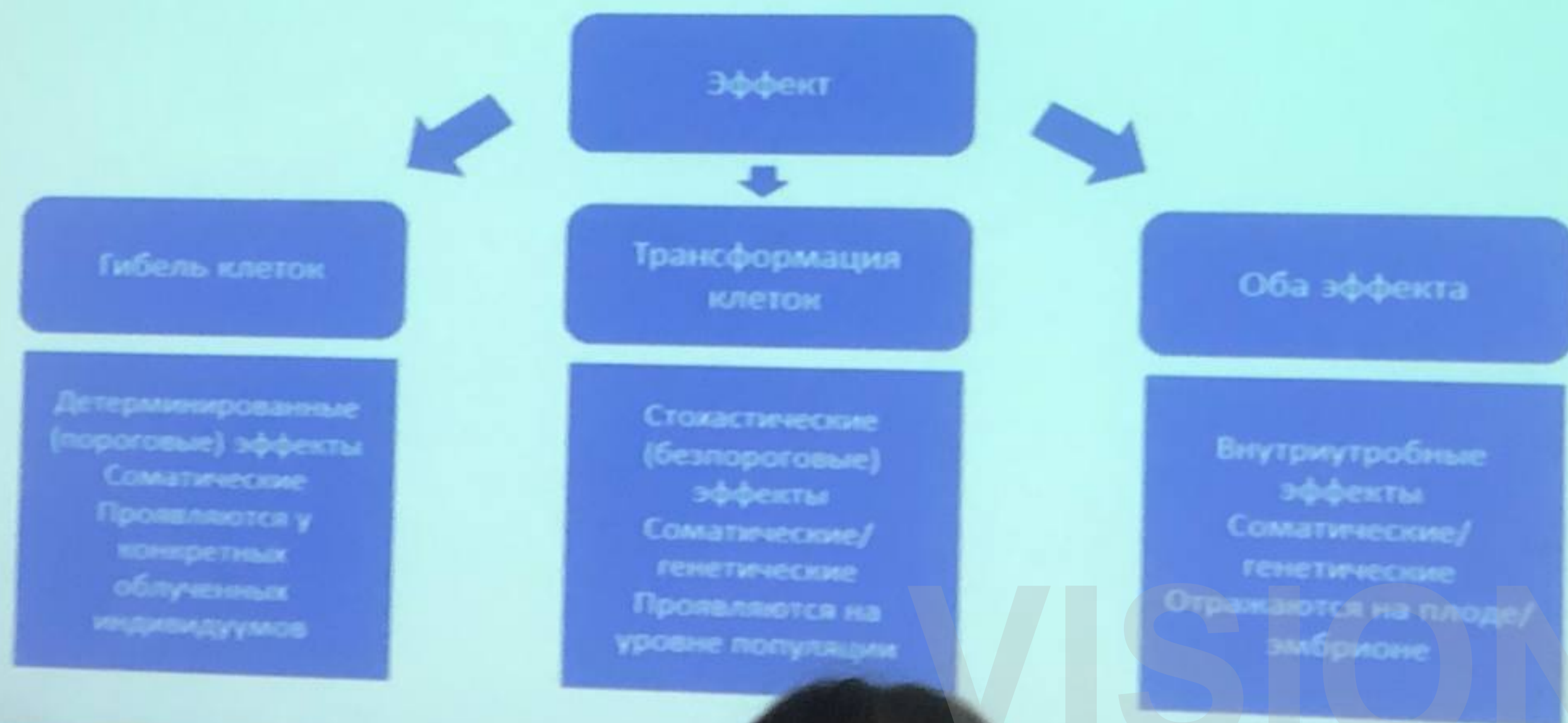
Современные представления о воздействии ИИ на организм человека

Источники информации:

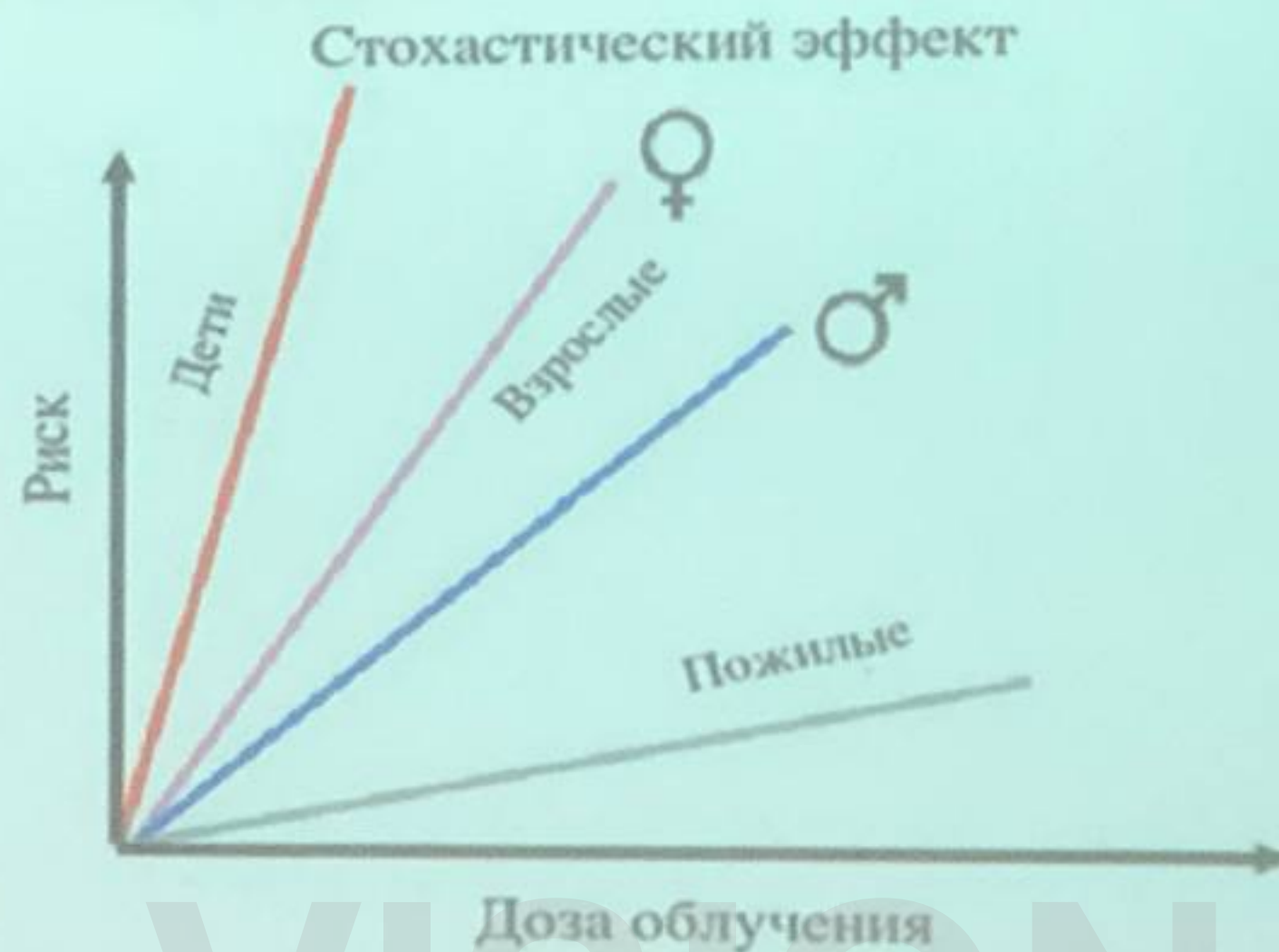
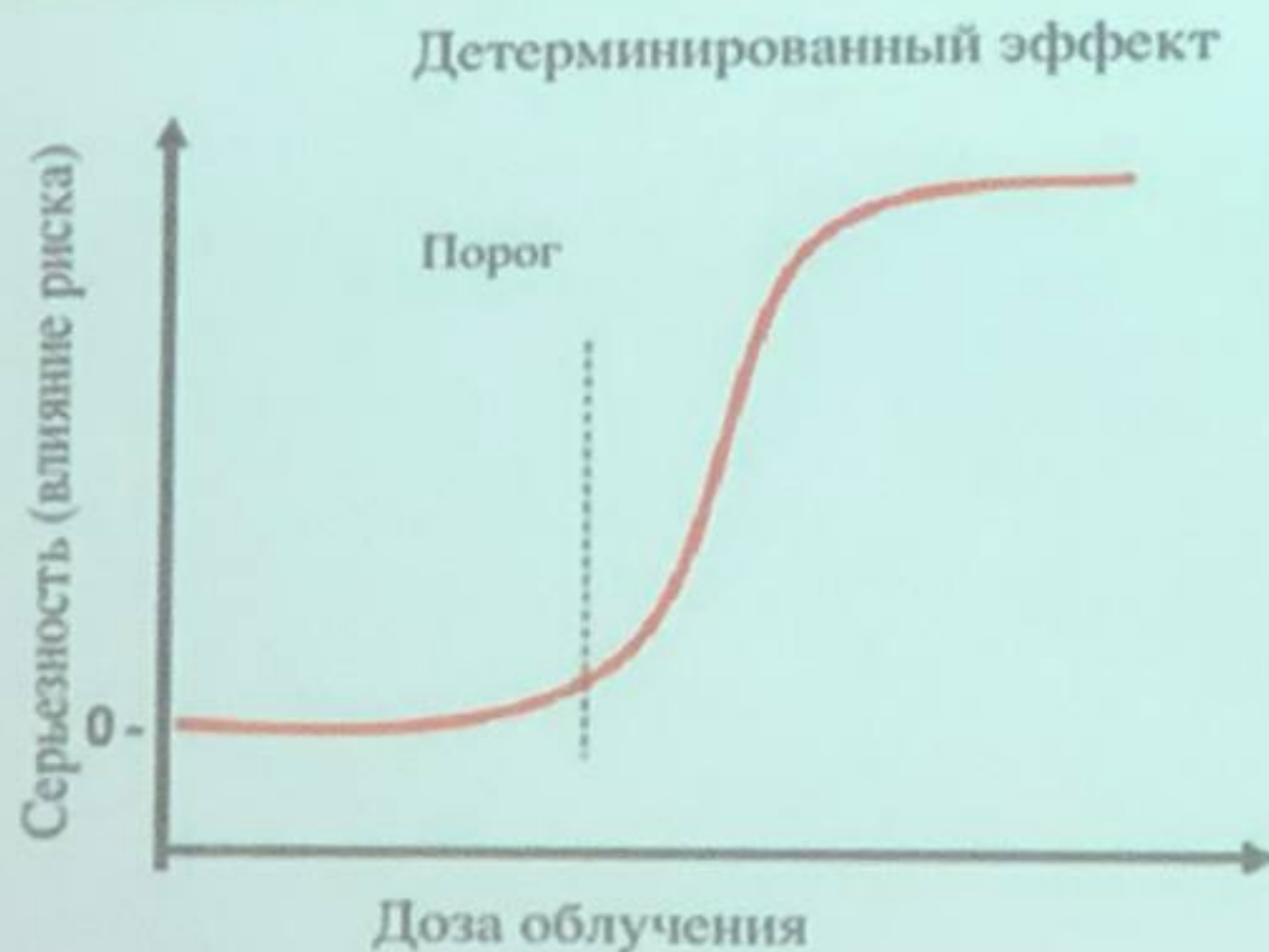
- Жители Хиросимы и Нагасаки
- пострадавшие при авариях (комбинат «Маяк», Восточно-Уральский Сибирский след, Чернобыль, и пр.).
- Эксперименты на животных/культурах клеток



Негативные эффекты воздействия ионизирующего излучения на организм человека



Детерминированные и стохастические эффекты



VISION

Детерминированные эффекты

- Возникают при превышении пороговой дозы
- Органы риска:
 - Кожа
 - Хрусталики
 - Гонады
 - Красный костный мозг
- Учет индивидуальной радиочувствительности
- Основные виды лучевой диагностики:
 - Интервенционные исследования
 - КТ
 - Лучевая терапия

Орган/ткань и эффект	Порог	
	Поглощенная доза за одно облучение (Гр)	Годовая поглощенная доза в случае фракционированного облучения (Гр/год)
Яички Временная стерильность Постоянная стерильность	0.15 3.5-6.0	0.4 2.0
Яичники Стерильность	2.5-6.0	>0.2
Хрусталик глаза Различные помутнения Катаракта	0.5-2.0 5.0	>0.1 >0.15
Красный костный мозг Угнетение гемопоэза	0.5	>0.4

Детерминированные эффекты



0-2 Гр
Легкое
покраснение



2-5 Гр
Транзиторная
эритема



5-10 Гр
Эритема



10+ Гр
Десквамация
эпителия



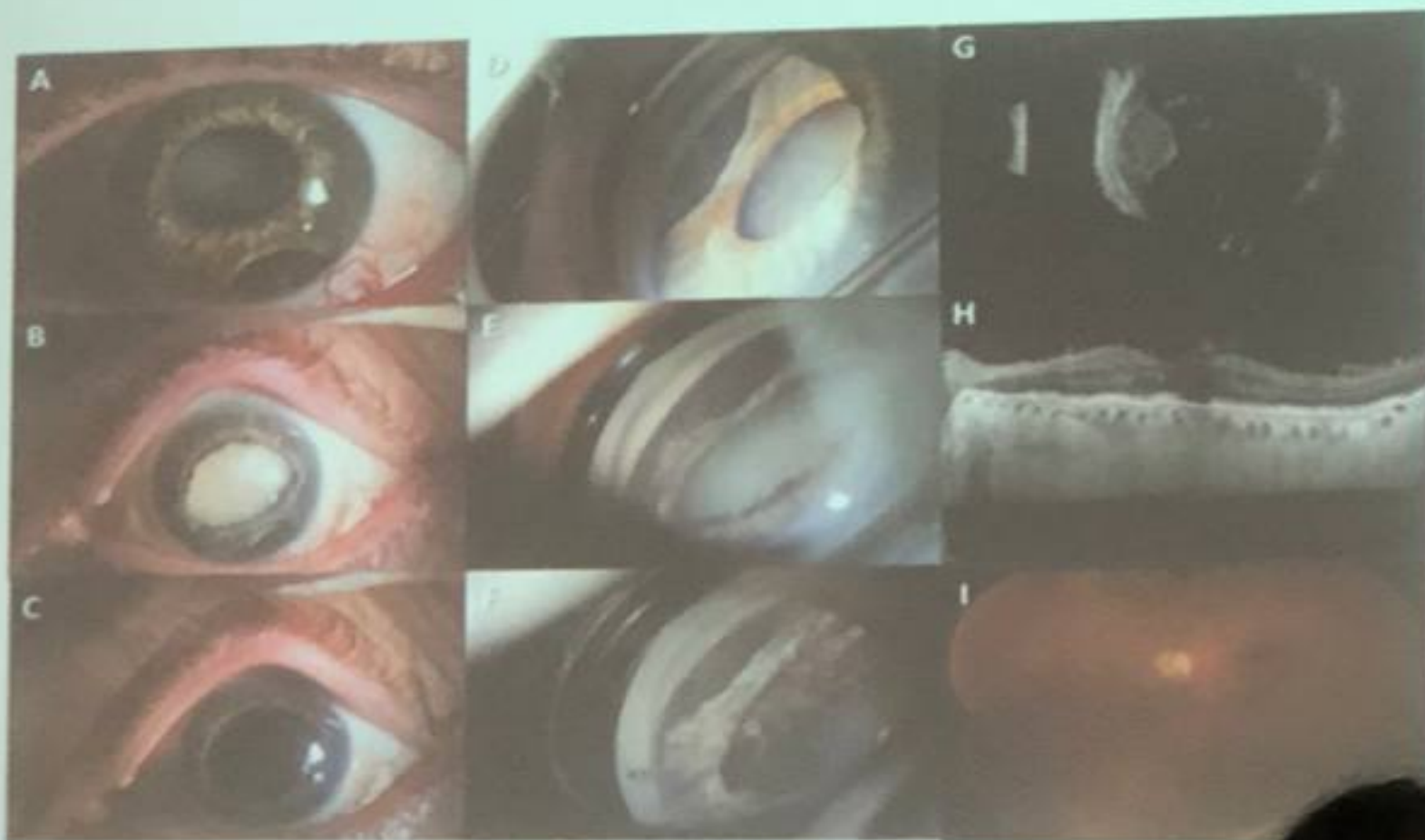
Около 3 Гр
Временная алопеция



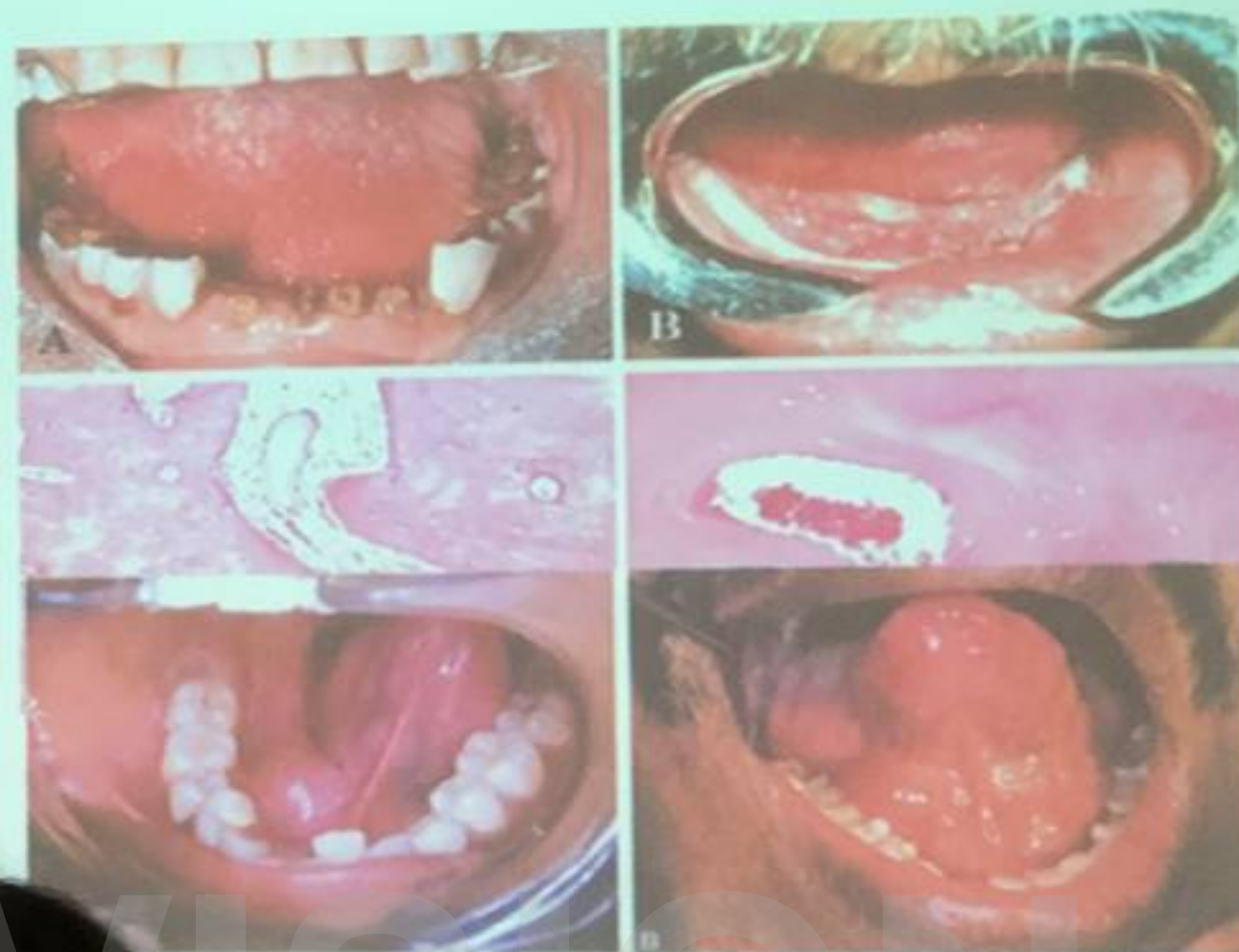
Около 7 Гр
Постоянная алопеция



Детерминированные эффекты



Радиационная катаракта

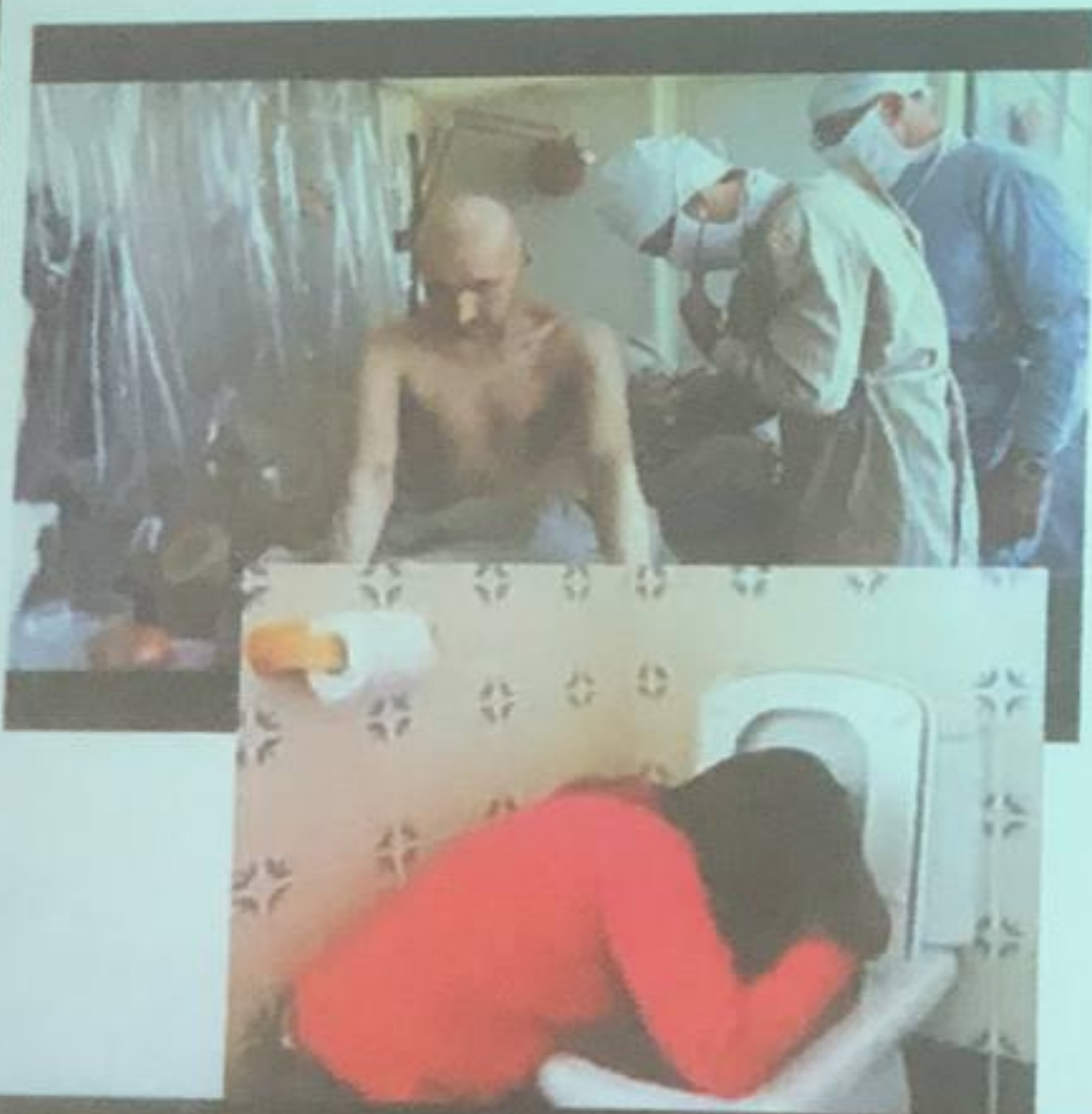


Повреждение слюнных желез

ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ

Доза облучения, Гр	Основной эффект, степень заболевания	Время максимального проявления последствий
0,5–3	1 степень, временное повреждение костного мозга	30-45 суток
3-5	2 степень, тяжелое повреждение костного мозга	30-60 суток
5-15	3 степень. Повреждение желудочно-кишечного тракта и легких	10-20 суток
Более 15	4 степень. Повреждение центральной нервной системы	1-5 суток

Лучевая болезнь



VISION



Эффекты низких доз ИИ в медицине

Radiat Environ Biophys (2015) 54:1–12
DOI 10.1007/s00411-014-0580-3

ORIGINAL PAPER

Risk of cancer incidence before the age of 15 years after exposure to ionising radiation from computed tomography: results from a German cohort study

L. Krille · S. Dreger · R. Schindl · T. Albrecht · M. Asmussen · J. Barkhausen · J. D. Berthold · A. Chavan · C. Claussen · M. Forsting · E. A. L. Gianicolo · K. Jablonka · A. Jahnke · M. Langer · M. Landolt · J. Lotz · H. J. Mentzel · A. Queißer-Wahrendorf · O. Rompel · I. Schlick · K. Schneider · M. Schumacher · M. Seldenbusch · C. Spix · B. Spors · G. Stantz · T. Vogl · J. Wagner · G. Weissner · H. Zeeb · M. Blettner

Received: 12 August 2014 / Accepted: 12 December 2014 / Published online: 8 January 2015
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2015

of cancer at the time of first CT. Overall, more cancer cases were observed (O) than expected (E), but this was mainly driven by unexpected and possibly biased results for lymphomas. For leukaemia, the SIR (SIR = O/E) was 1.72 (95 % CI 0.89–3.01, $O = 12$), and for CNS tumours, the SIR was 1.35 (95 % CI 0.54–2.78, $O = 7$). Despite careful

Results: During a mean follow-up of 4 years, 27 cases of tumours of the central nervous system, 25 of leukaemia and 21 of lymphoma were diagnosed; 32% of them among children with PF. Specific patterns of CT exposures were observed according to PFs. Adjustment for PF reduced the excess risk estimates related to cumulative doses from CT scans. No significant excess risk was observed in relation to CT exposures.

FULL PAPER

BJC

British Journal of Cancer (2015) 112:185–193 | doi:10.1038/bjc.2014.576

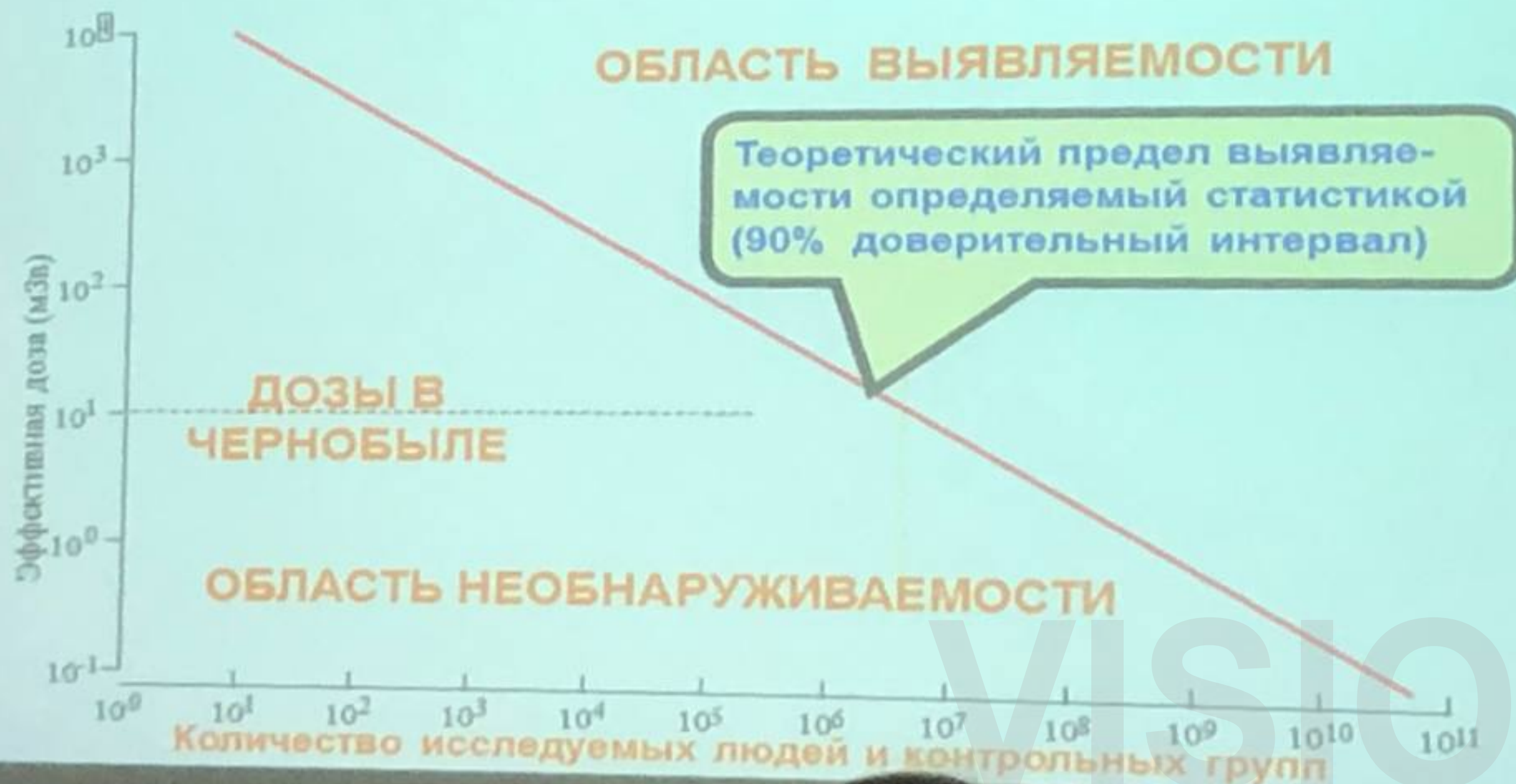
Keywords: cancer risk; computed tomography; radiation protection; radiology; paediatrics; indication bias; cohort study

Are the studies on cancer risk from CT scans biased by indication? Elements of answer from a large-scale cohort study in France

N. Journe¹, J.-L. Rehal², H. Ducou Le Pointe³, C. Lee⁴, H. Brisse⁵, J.-F. Chatell⁶, S. Caen-Lorho¹, D. Laurier¹ and M.-O. Bernier^{1,7}

Источник	Страна	Сроки проведения	Размер выборки (когорты), чел	Возрастные категории, лет	Результат
Pearce и др., 2012 [9]	Великобритания	1985-2002	178604	0-22	Достоверное подтверждение корреляции между дозой от КТ сканирования и шансом развития лейкемии и опухолей головы
Mathews и др., 2013 [10]	Австралия	1985-2005	10900000	0-19	Превышение фоновой заболеваемости для солидных раков, лейкемий и лимфом
Huang и др., 2014 [11]	Тайвань	1998-2006	24418	0-18	Подтверждение связи между дозами от КТ-сканирования и шансами развития доброкачественных опухолей головного мозга у детей.
Krille и др., 2015 [12]	Германия	1980-2010	44584	0-15	Отсутствие достоверной связью между КТ-сканированиями и избыточными онкологическими заболеваниями
Journy и др., 2015 [13]	Франция	2000-2010	67274	0-10	Отсутствие достоверного избыточного риска развития радиогенного рака
Meulepas и др., 2018 [14]	Нидерланды	1979-2012	168394	0-18	Достоверное подтверждение между дозами от КТ-сканирования и шансами развития злокачественных опухолей головы
Bernier и др., 2018 [15]	Бельгия, Дания, Франция, Германия, Нидерланды, Норвегия, Испания, Швеция, Великобритания	1977-2014	950000	0-21	Превышение фонового уровня заболеваемости онкологическими заболеваниями для всех стран-участников

Границы выявляемости в радиационной эпидемиологии



Области воздействия ионизирующего излучения на человека

- Космическое излучение
- Природное излучение
- Медицинское излучение
- Техногенное излучение
- Радиационные аварии



■ Природные источники
■ Эксплуатация ИИИ

■ Медицинское облучение
■ Техногенный фон

Космическое излучение

Космическая радиация

Солнечная радиация

Тяжелые частицы, возникающие во время вспышек на Солнце. Эти частицы не настолько мощны, как галактические, но опасны непредсказуемостью их выбросов

Галактическая радиация

Тяжелые и очень быстрые частицы, проникающие в Солнечную систему извне. Источником являются взрывы сверхновых, произошедшие миллионы лет назад. Тяжелые заряженные частицы поражают все органы человека. От них Землю защищает магнитосфера

Уровень радиации на поверхности Земли 1 мЗв (миллизиверт) в год

На МКС 0,54 мЗв в сутки

На Луне 1,4 мЗв в сутки

При полете на Марс 1,8 мЗв в сутки

На Марсе 0,7 мЗв в сутки

Полет на Марс и обратно (500 суток) – 1000 мЗв за полет

▶ Российским законодательством для космонавтов установлено ограничение в 1000 мЗв за карьеру

▶ Накопление такой дозы сокращает жизнь человека на 2,5-3 года

▶ Ее космонавт может получить за несколько длительных полетов на околоземной орбите или за один полет на Марс и обратно

▶ Смертельная доза для человека 500 мЗв за одни сутки

Природное облучение

Излучения земного происхождения
2,03 мЗв/год

0,48 мЗв/год – внешнее облучение;
1,55 мЗв/год - внутреннее облучение

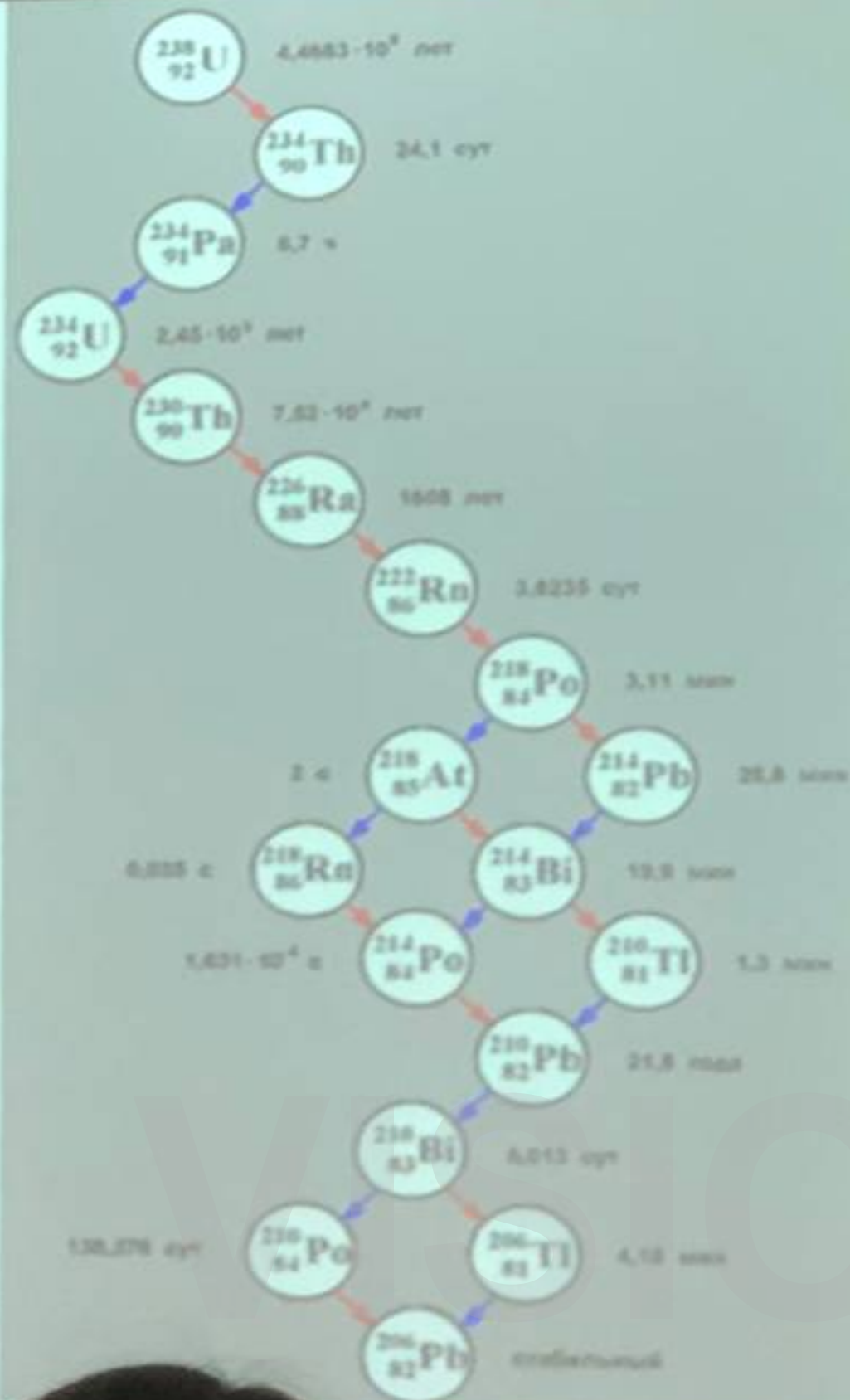
Первая группа естественных
радионуклидов:

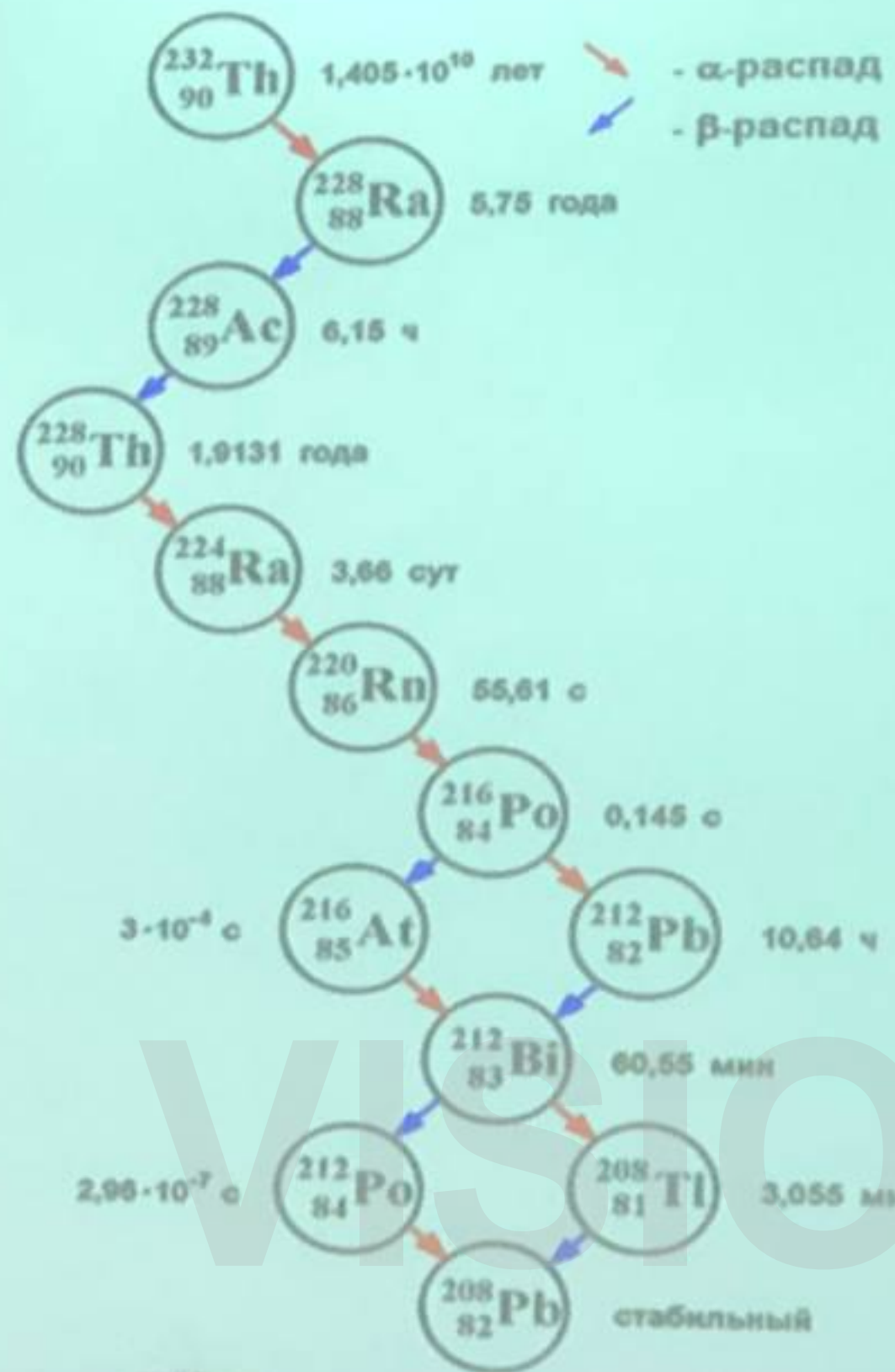
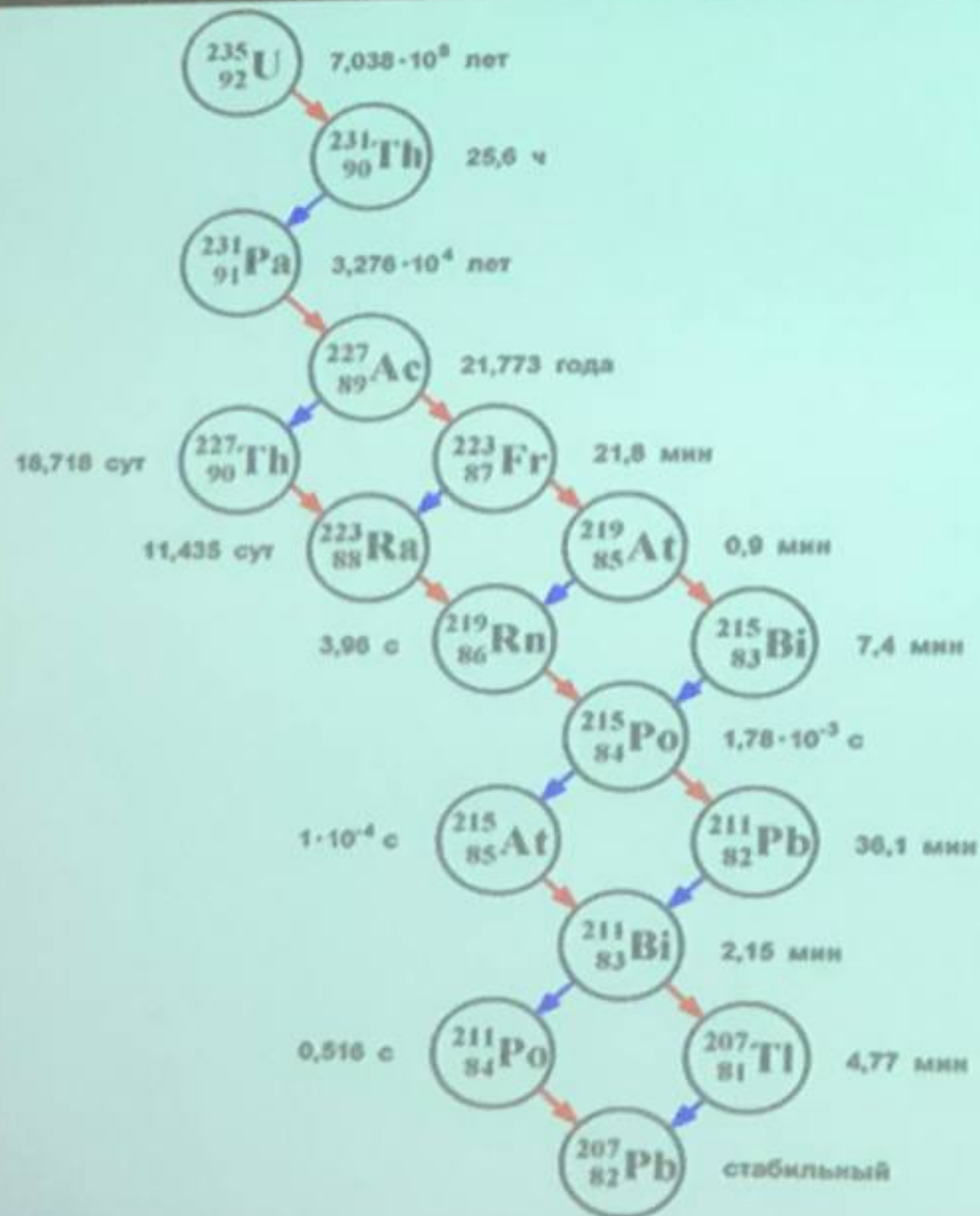
радионуклиды ураноториевого
и ториевого семейств, которые
берут свое начало от урана-238
и тория-232

(всего 82 радионуклида)

1,58 мЗв/год

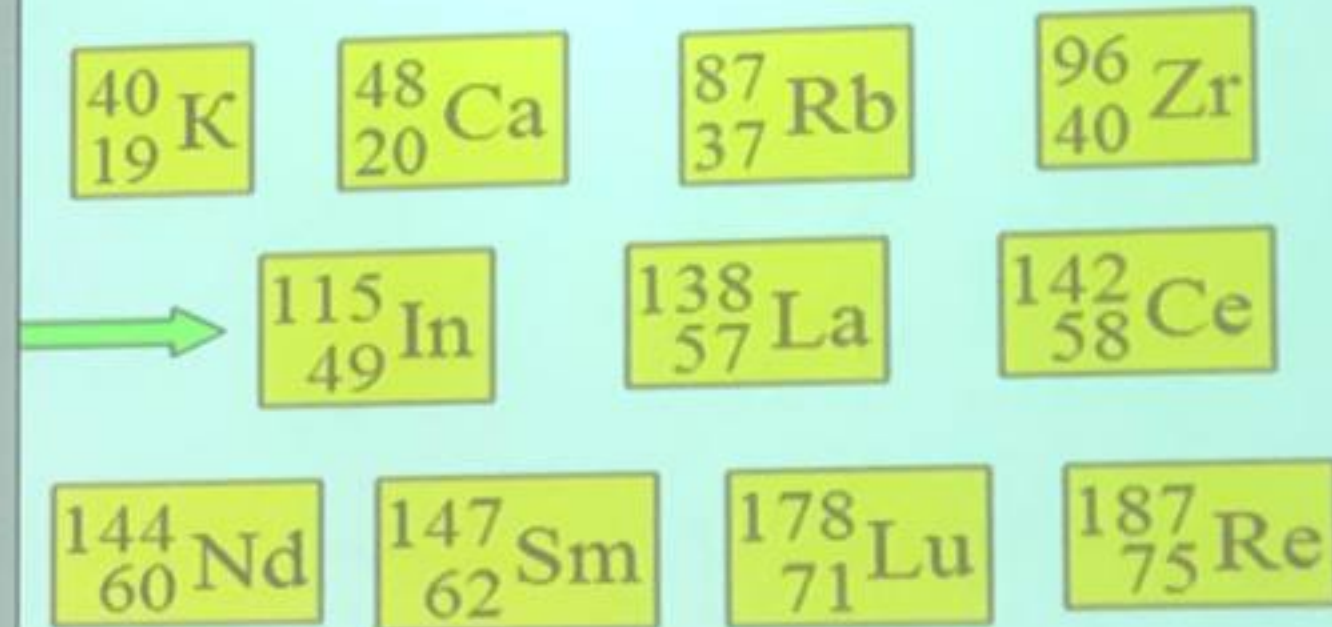
Вклад радона-222 и торона-220
1,25 мЗв/год





Вторая группа естественных радионуклидов:
это 11 долгоживущих радионуклидов, находящихся вне этих семейств
(калий-40, кальций-48, рубидий-87, цирконий-96, индий-115, лантан-138, церий-142, неодим-144, самарий-147, лютеций-178, рений-187)

0,45 мЗв/год



Калий-40 - период полураспада равен $1,4 \cdot 10^9$ лет.

Внешнее / Внутреннее облучение

0,12 / 0,18 (мЗв/год)

В природном калии содержится 0,01% радиоактивного калия-40 и это соотношение постоянно везде, где бы калий не встречался.

Смесь изотопов калия входит в состав мышечной ткани, и в среднем в организме человека весом 70 кг содержится калия-40 активностью 4200 Бк.

Rn - Радон находится в восьмой группе периодической таблицы химических элементов и представляет собой инертный одноатомный газ не имеющий вкуса и запаха, в 7,5 раза тяжелее воздуха.

Имеет три изотопа

(являются альфа излучателями):

^{219}Rn (актинон) – производное ^{235}U ;

^{220}Rn (торон) – производное ^{232}Th ;

^{222}Rn (радон) – производное ^{238}U .

Механизм перемещения – молекулярная диффузия, активный перенос в горизонтальном направлении воздуха.

В жилой дом радон поступает:

- из почвогрунтов через фундамент и перекрытия подвальных помещений здания – 70 %,
- за счет воздухообмена с атмосферным воздухом – 13 %,
- за счет эксхалации (выделения) из строительных материалов и изделий, из которых построено здание – 7 %,
- с водопроводной водой – 5-10 % и бытовым газом – 4 %,
- от др. источников – 2 %.

Наибольшую значимость имеют изотопы ^{220}Rn и ^{222}Rn .

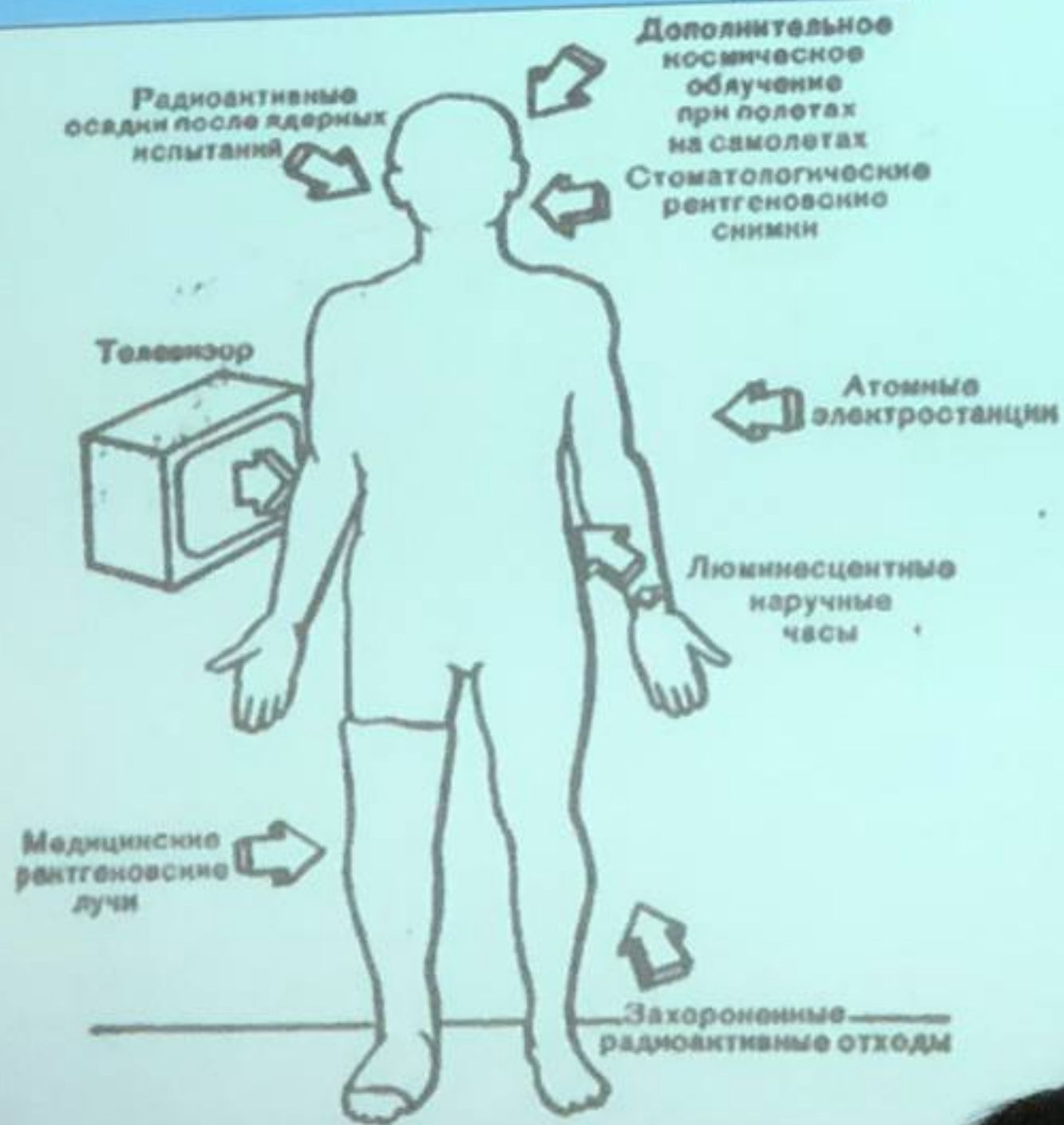
Образование их зависит от концентрации в материалах ^{226}Ra и ^{226}Ra .

Их много в горных породах, особенно в гранитах.





2. Искусственные источники ионизирующих излучений.



Искусственный радиационный фон - 0,421 мЗв/год

Медицинские процедуры
- 0,4 мЗв/год

Радиоактивные осадки
(испытания ядерного оружия)
- 0,2 мЗв/год

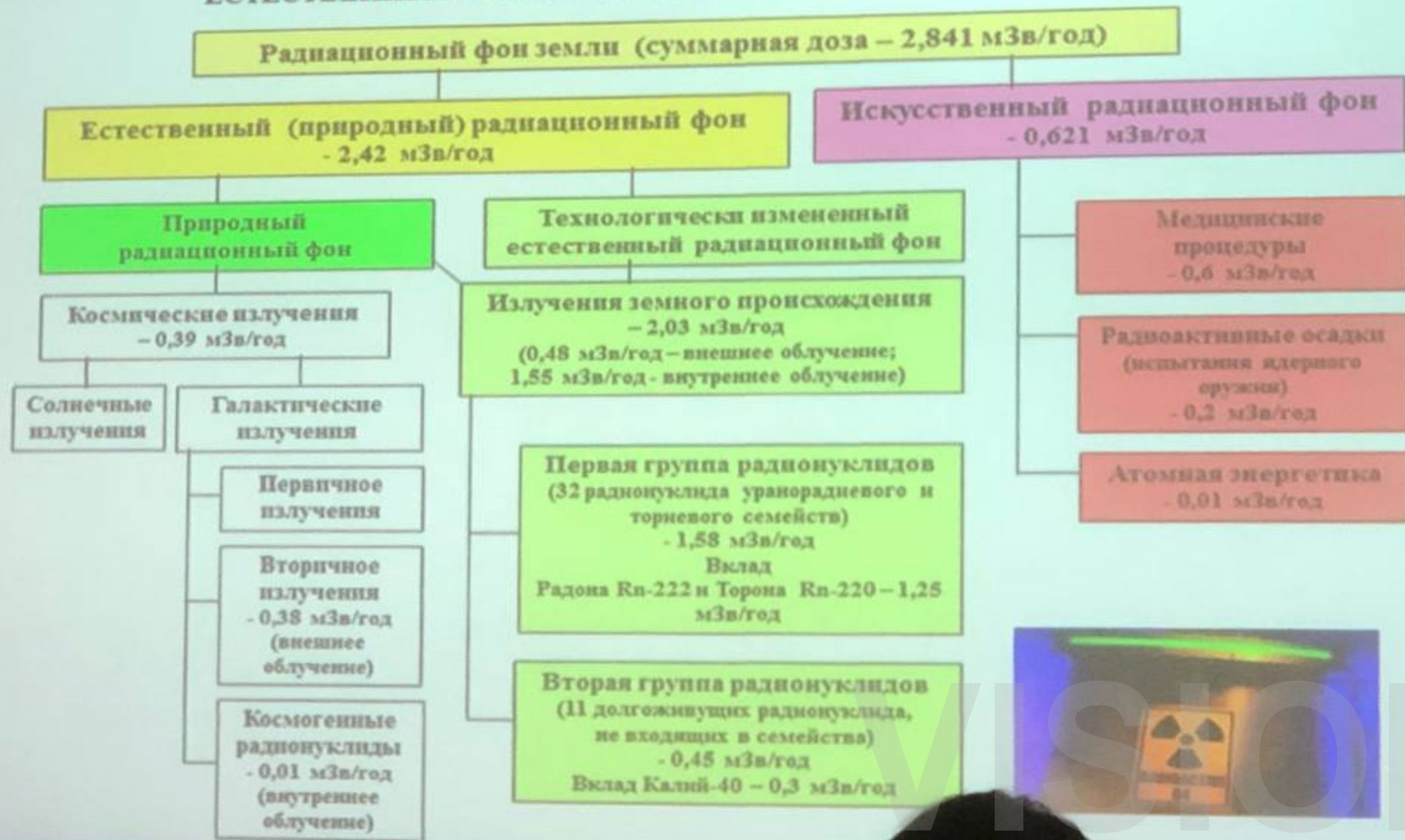
Атомная энергетика
- 0,01 мЗв/год



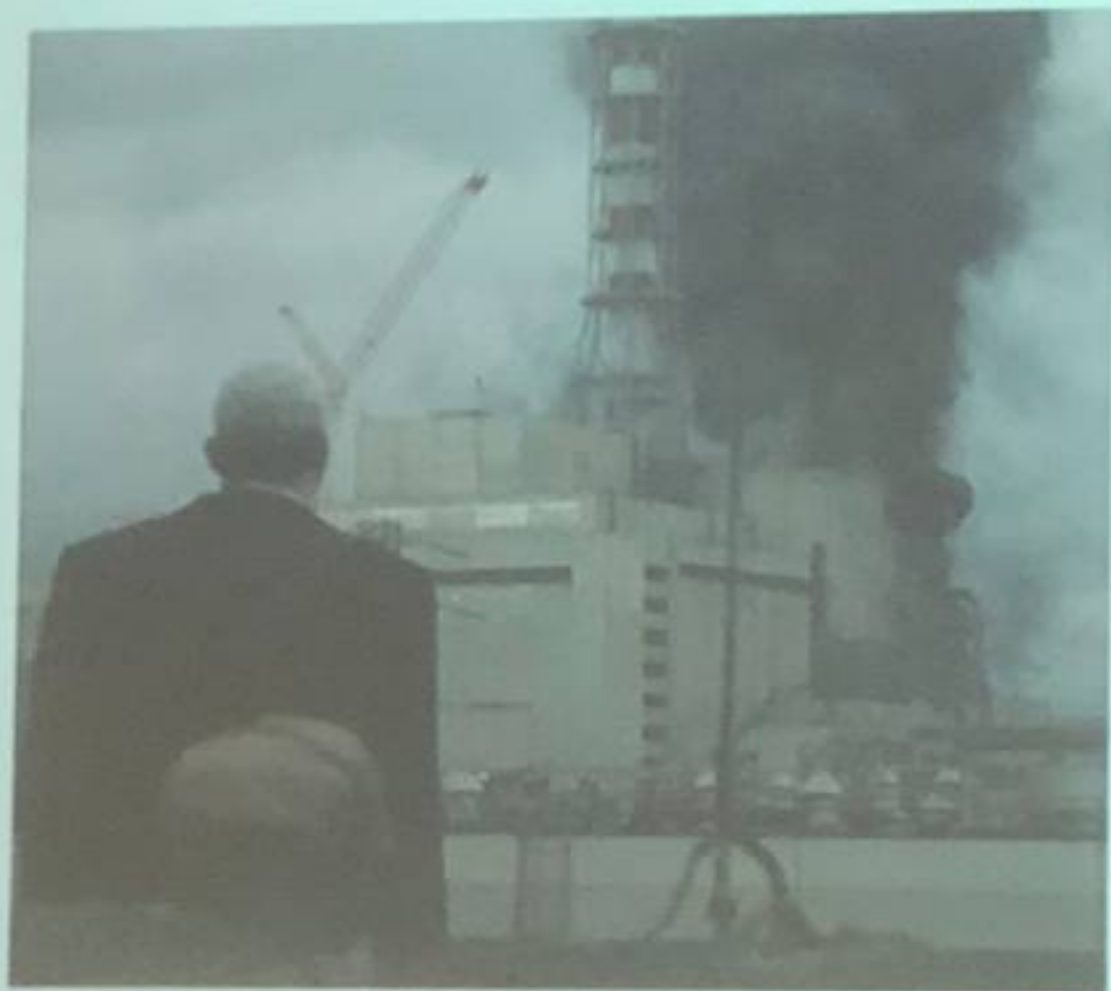
Дозы, получаемые от различных источников излучения

Вид облучения	Эффективная эквивалентная доза
Просмотр кинофильма по цветному телевизору на расстоянии от экрана около 2 м	0,01 мкЗв
Полет в течении одного часа на сверхзвуковом самолете (высота полета 18–20 км)	10–30 мкЗв
Полет в течении 1 сут на орбитальном космическом корабле (без вспышек на солнце)	0,18–0,35 мЗв
Прием радоновой ванны	0,01–1 мЗв
Флюорография	0,1–0,5 мЗв
Рентгеноскопия грудной клетки	2–4 мЗв
Рентгенография зубов	0,03–3 мЗв
Рентгеновская номография	5–100 мЗв
Рентгеноскопия желудка, кишечника	0,1–0,25 мЗв
Лучевая гамма-терапия после операции	0,2–0,25 Зв

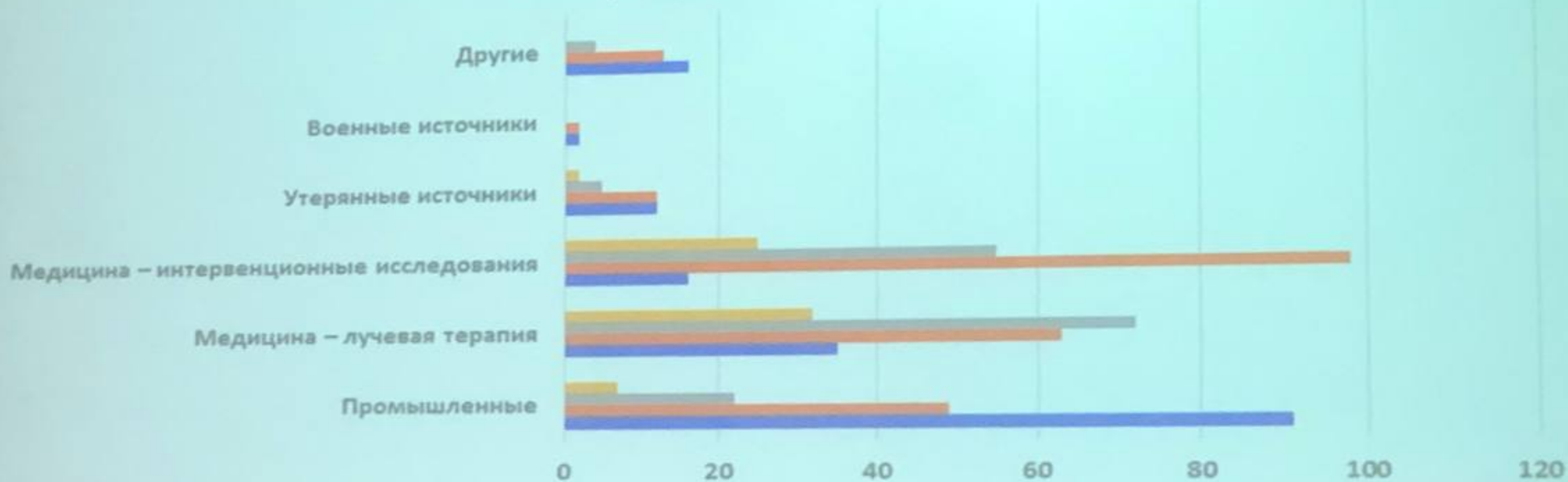
ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ИСКУССТВЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ РАДИАЦИИ



Радиационные аварии

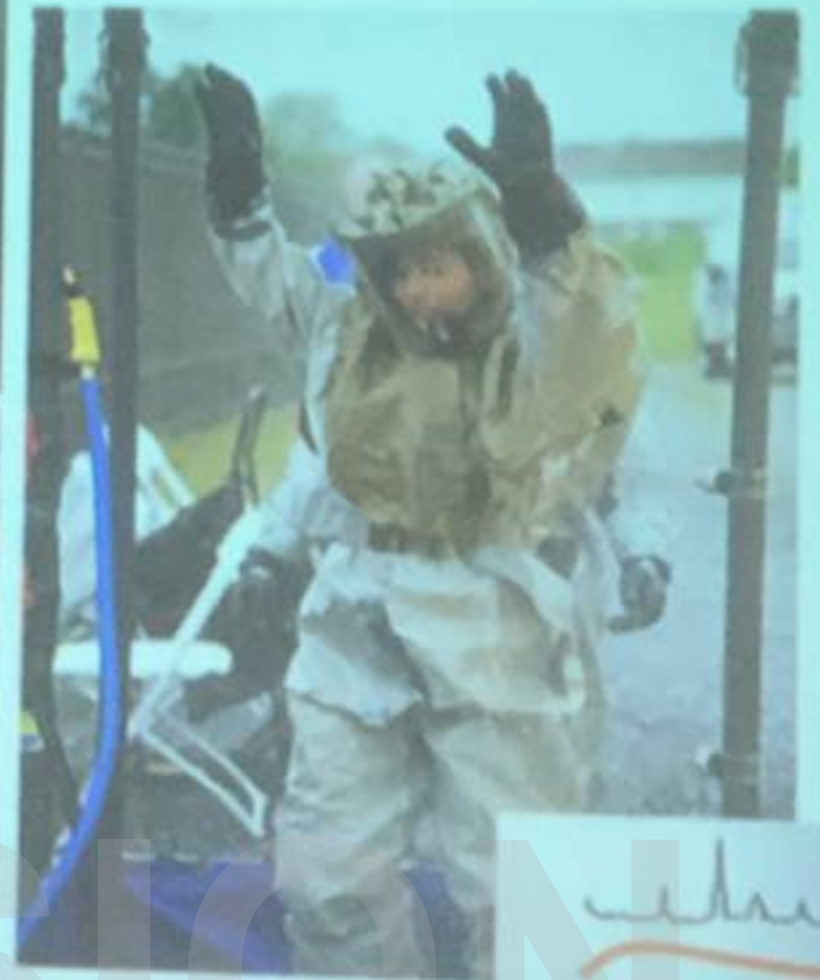
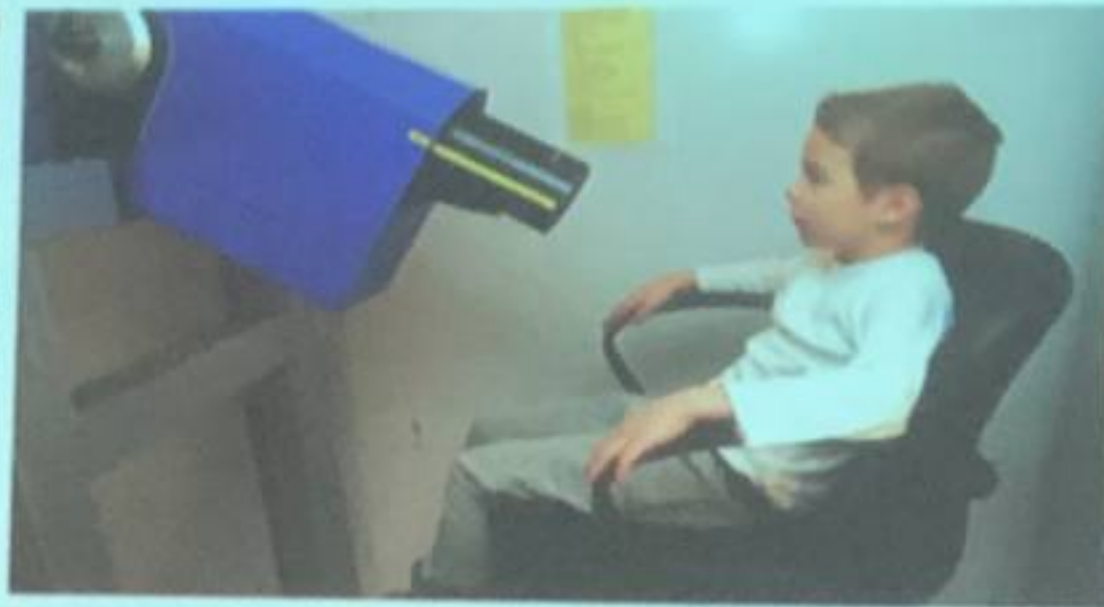


Число радиационных аварий, шт



	Промышленные	Медицина – лучевая терапия	Медицина – интервенционные исследования	Утерянные источники	Военные источники	Другие
■ 2010-2013	7	32	25	2		
■ 2000-2009	22	72	55	5		4
■ 1990-1999	49	63	98	12	2	13
■ 1980-1989	91	35	16	12	2	16

Радиационный терроризм



НИИРГ

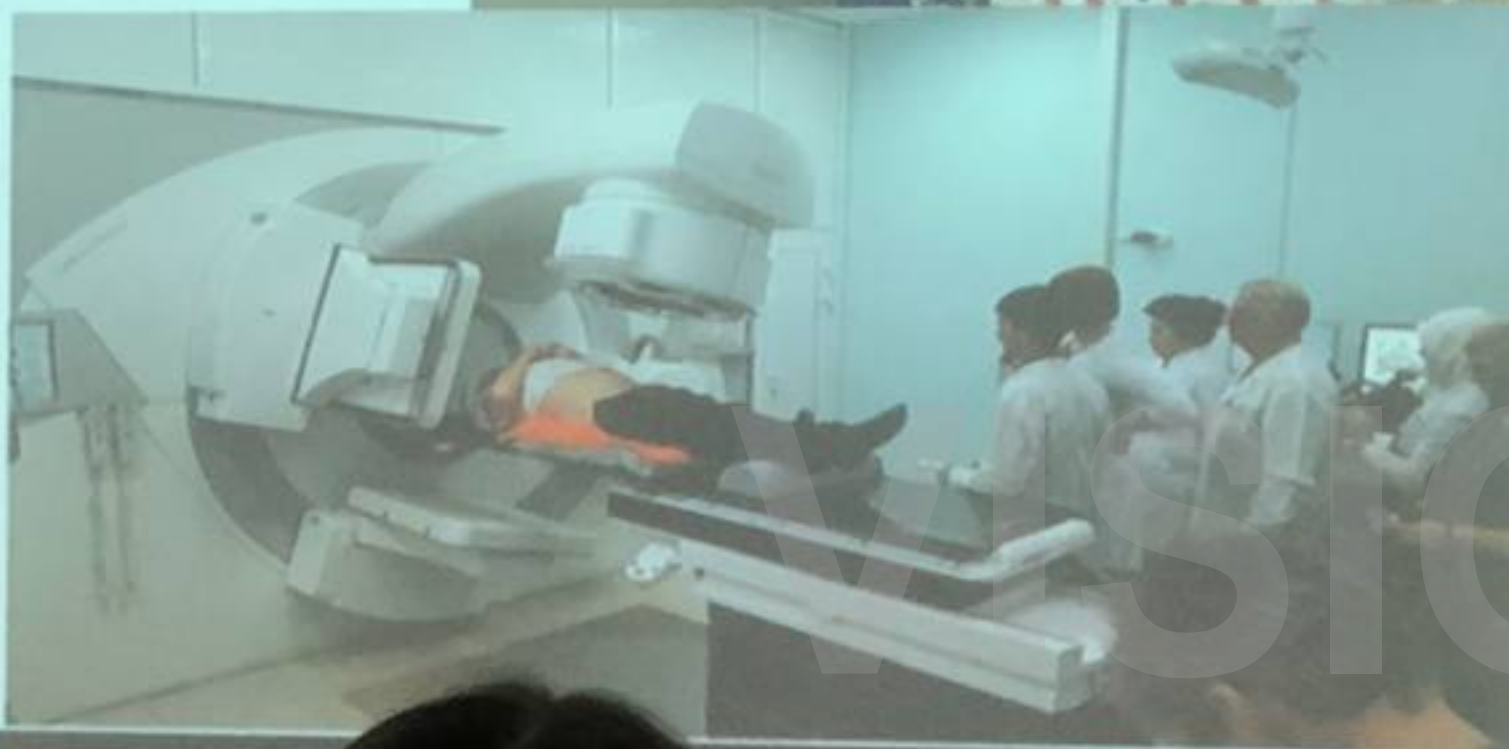
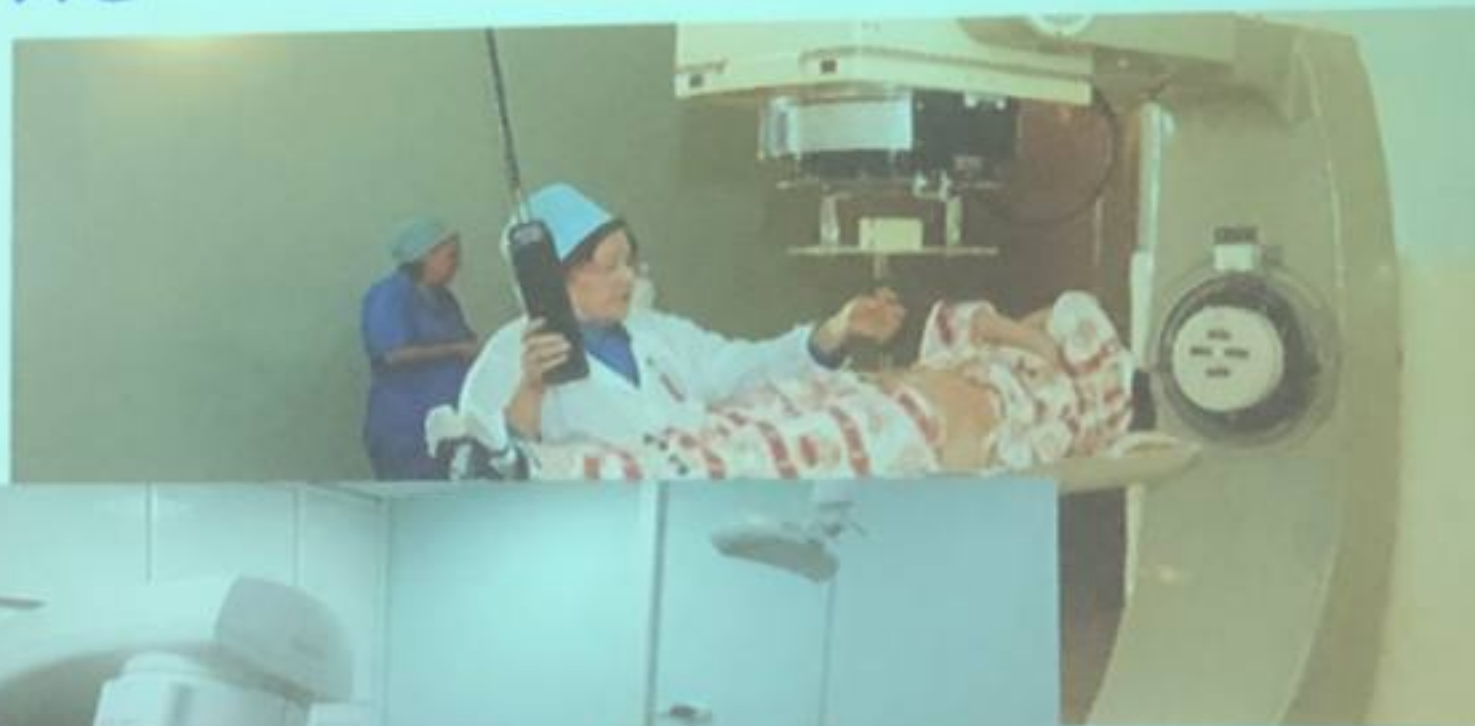
Медицинское облучение

- Лучевая диагностика
 - рентгенография
 - рентгеноскопия
 - Интервенционные исследования
 - Компьютерная томография
- Скрининг
 - Флюорография
 - НДКТ (ОГК, сердце, пр.)
 - Томосинтез



Медицинское облучение

- Лучевая терапия
 - Рентгеновская
 - Пучками электронов
 - Гамма-излучением
 - Протонами
 - нейтронами



Основные принципы радиационной защиты

- **принцип нормирования** - не превышение допустимых пределов индивидуальных доз облучения граждан от всех источников ионизирующего излучения;
- **принцип обоснования** - запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением;
- **принцип оптимизации** - поддержание на возможно низком и достижимом уровне с учетом экономических и социальных факторов индивидуальных доз облучения и числа облучаемых лиц при использовании любого источника ионизирующего излучения.