

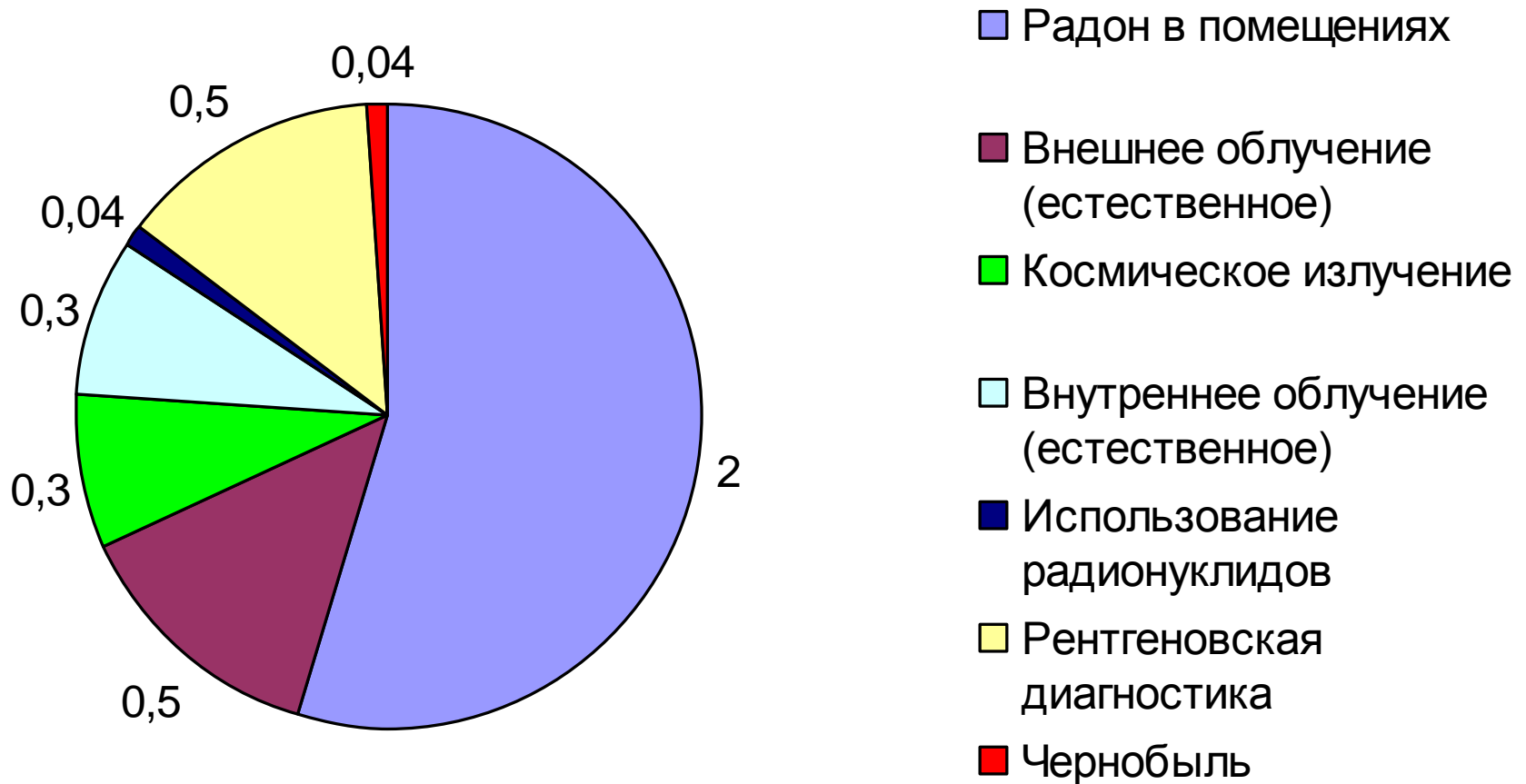


# Радияция вокруг нас

Калмыков Степан Николаевич

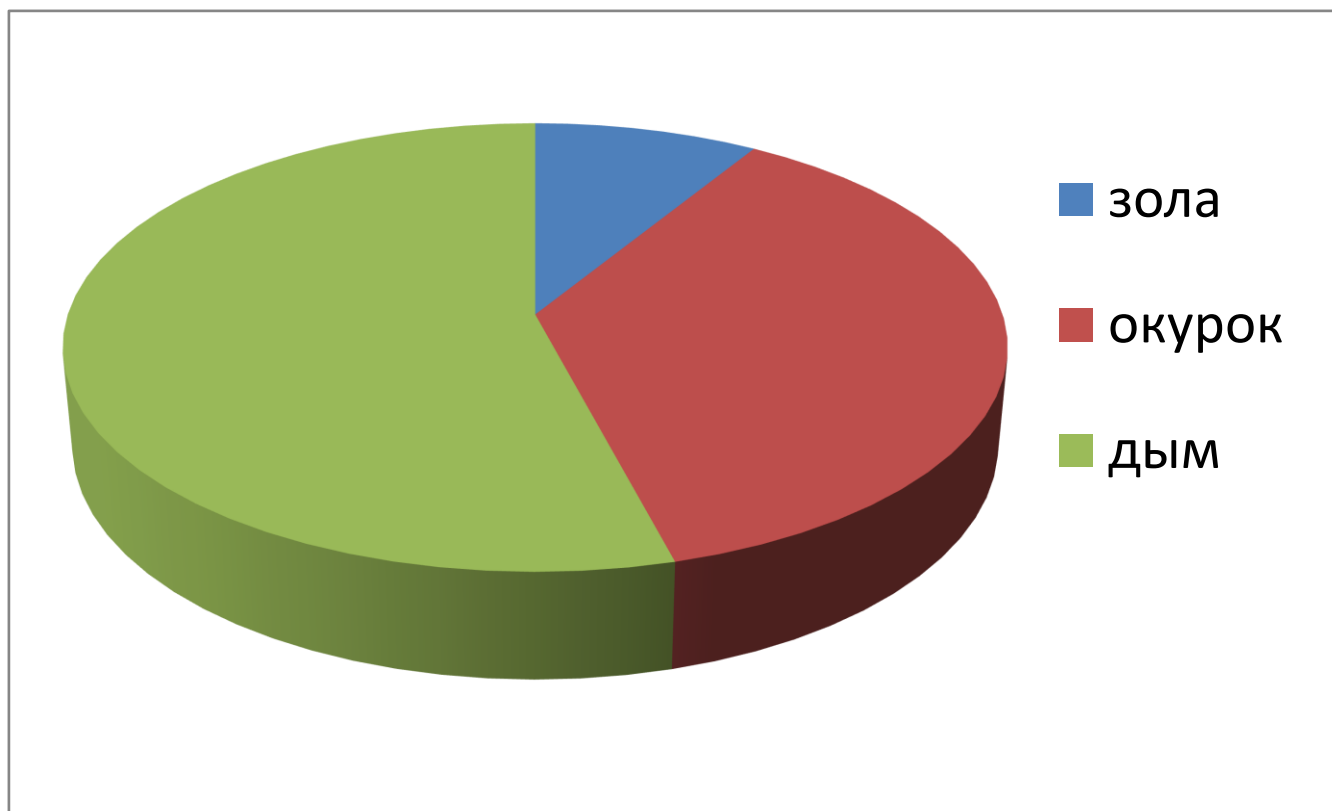
[stepan\\_5@hotmail.com](mailto:stepan_5@hotmail.com)  
[stepan@radio.chem.msu.ru](mailto:stepan@radio.chem.msu.ru)

## Составляющие индивидуальной дозы (мЗв), полученной среднестатистическим жителем Финляндии в 2000 г.

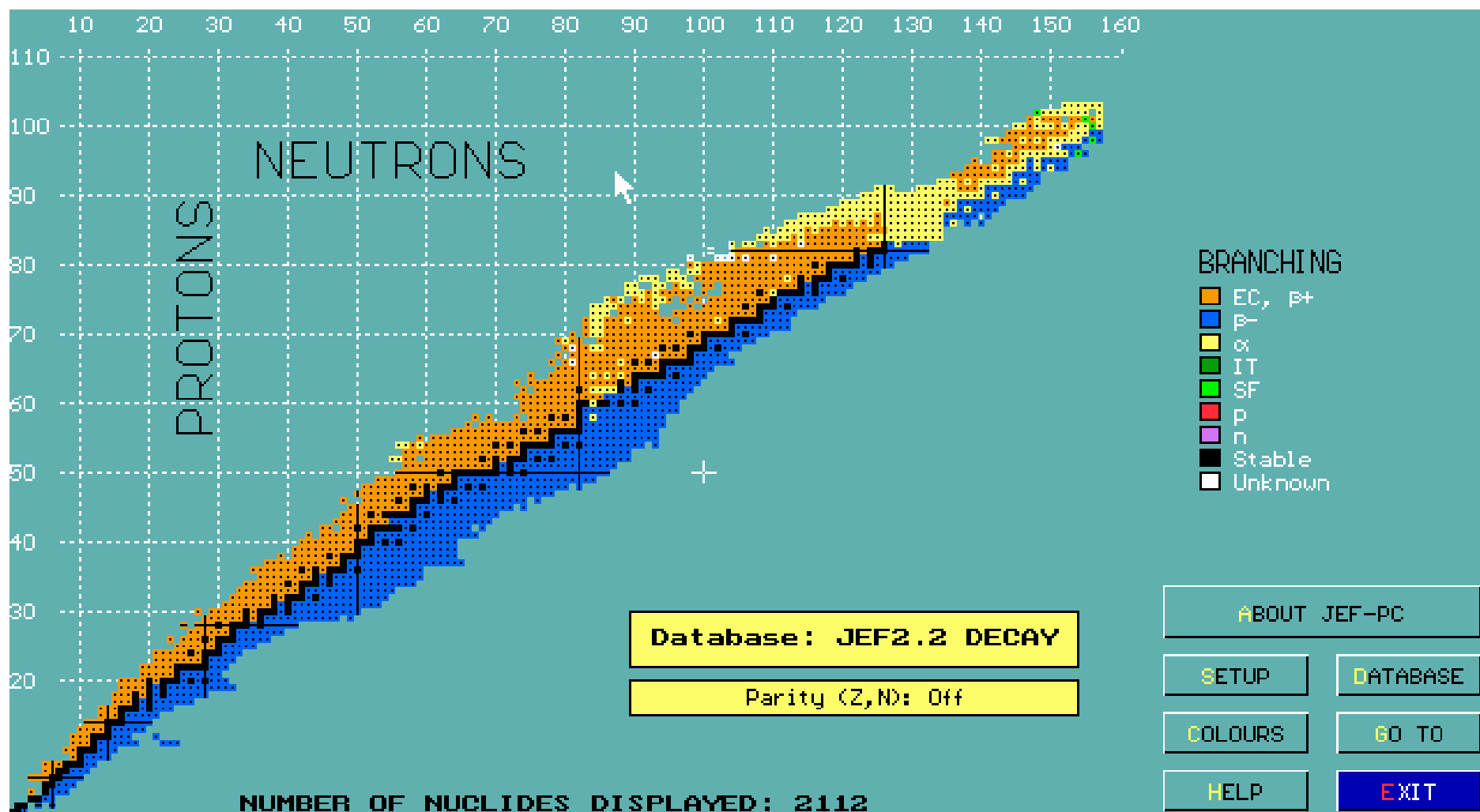


Доза, получаемая при курении 2 пачек сигарет в день  
превосходит в 7 раз дозу от естественных источников,

Общая активность десятки- сотни мБк,



# Стабильные и радиоактивные ядра





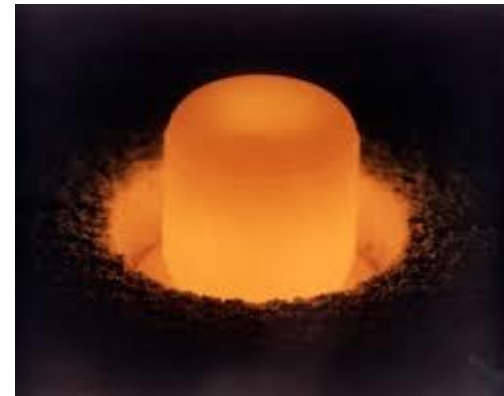
Ядерная энергетика

Радиоактивность окружающей среды (радиоэкология)

Ядерная медицина

## Примеры:

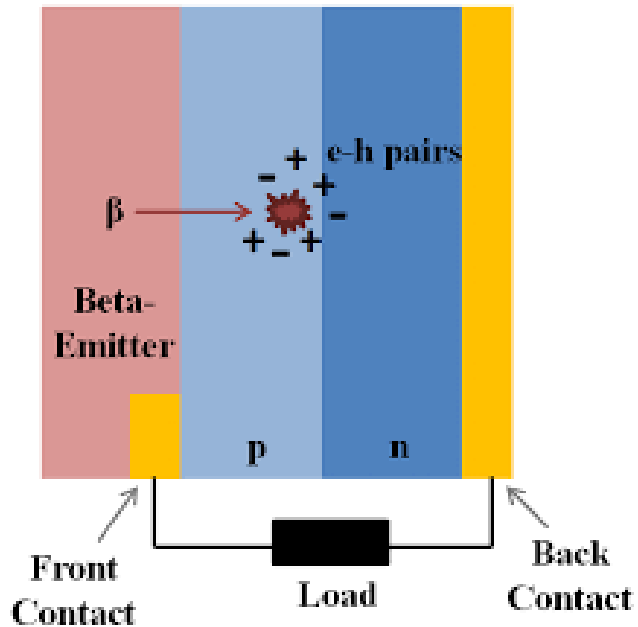
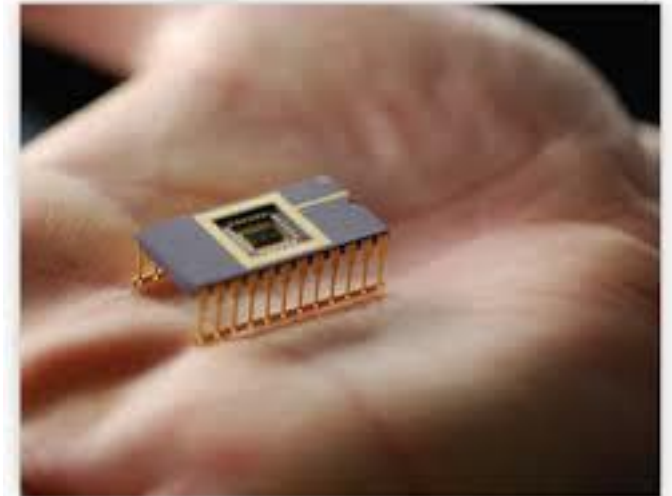
- Полимеры – памперсы
- Облучение продуктов
- Детекторы взрывчатых веществ
- Ядерные батарейки
- Ядерные фильтры – гемодиализ
- Ядерная медицина
- ...



Pu-238

$T_{1/2}=87$  лет

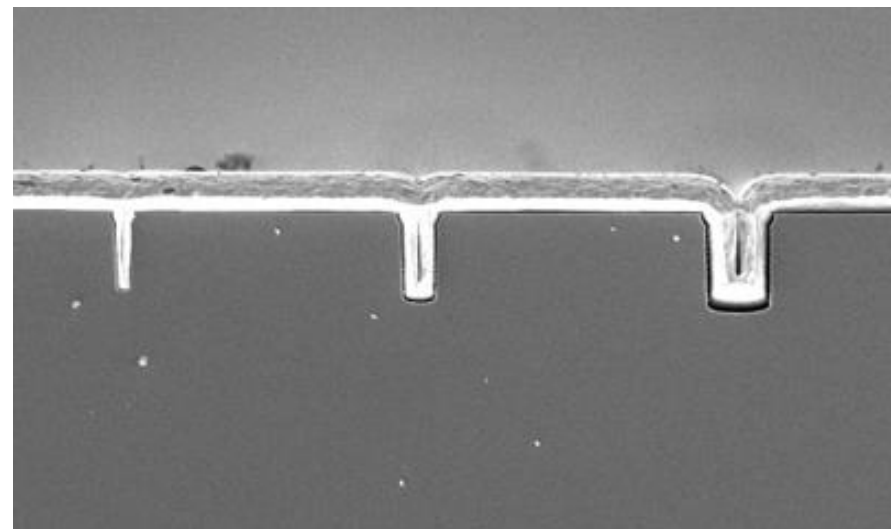
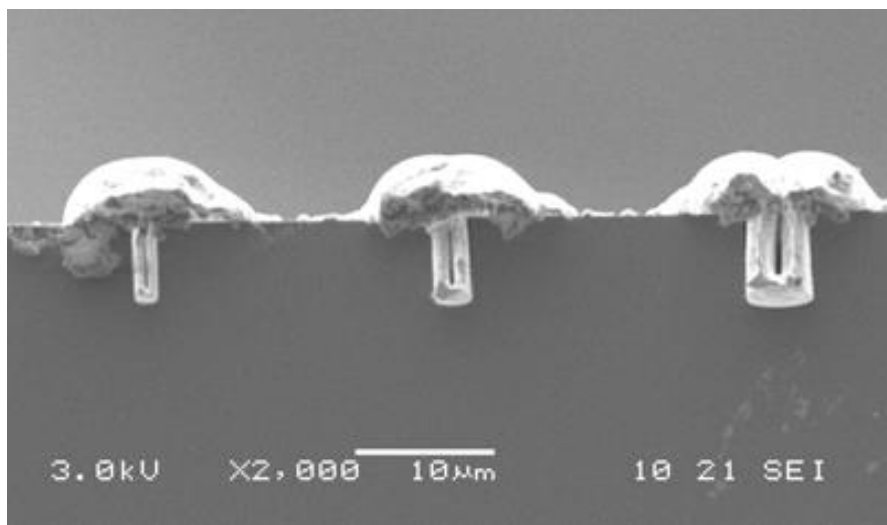
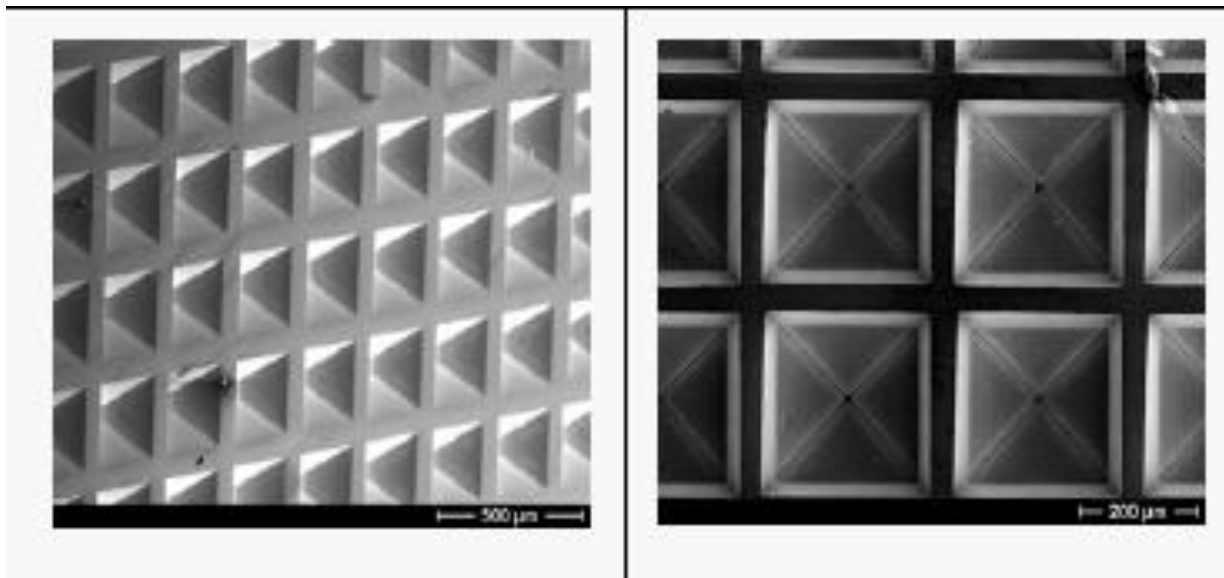
# Ядерные батарейки



Использование:  
Кардиостимуляторы,  
Маяки,  
Оборонная промышленность

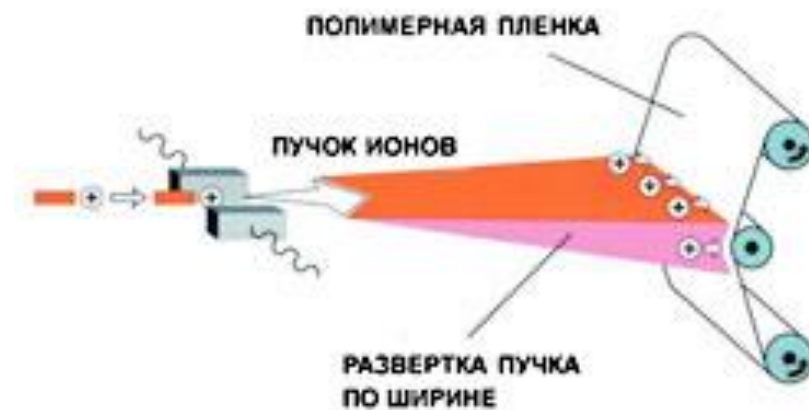
H-3, Sr-90, Ni-63

## Структура поверхности Si

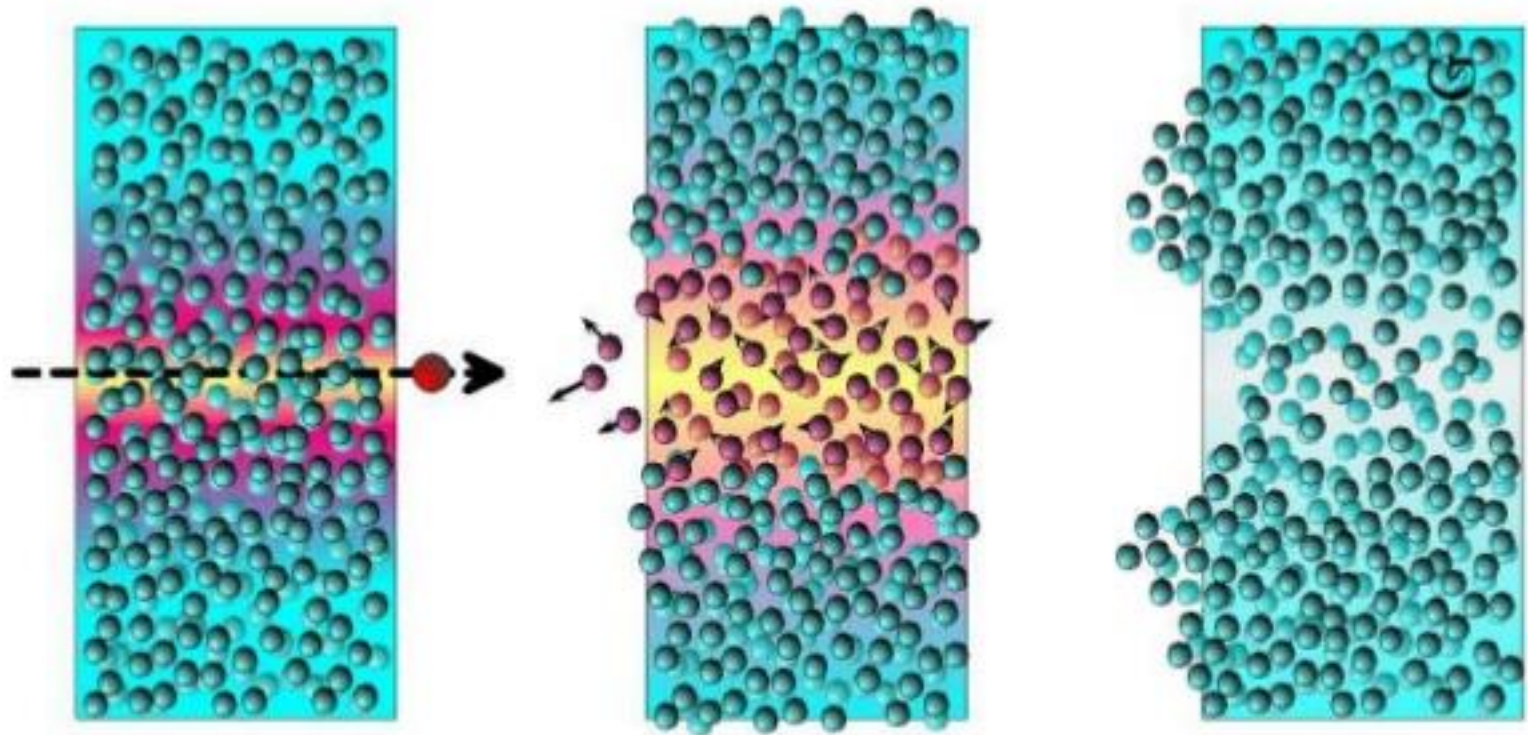


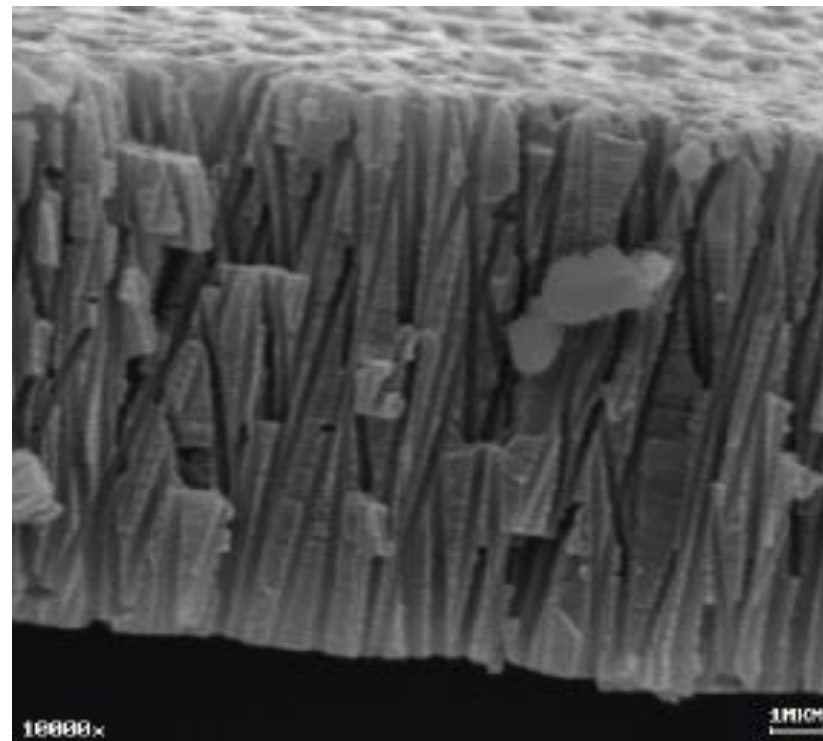
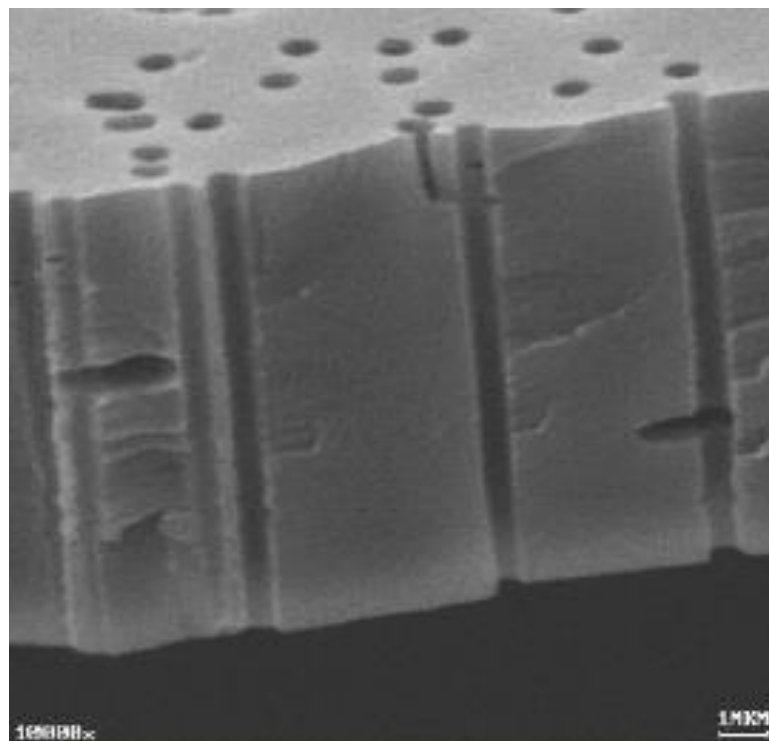
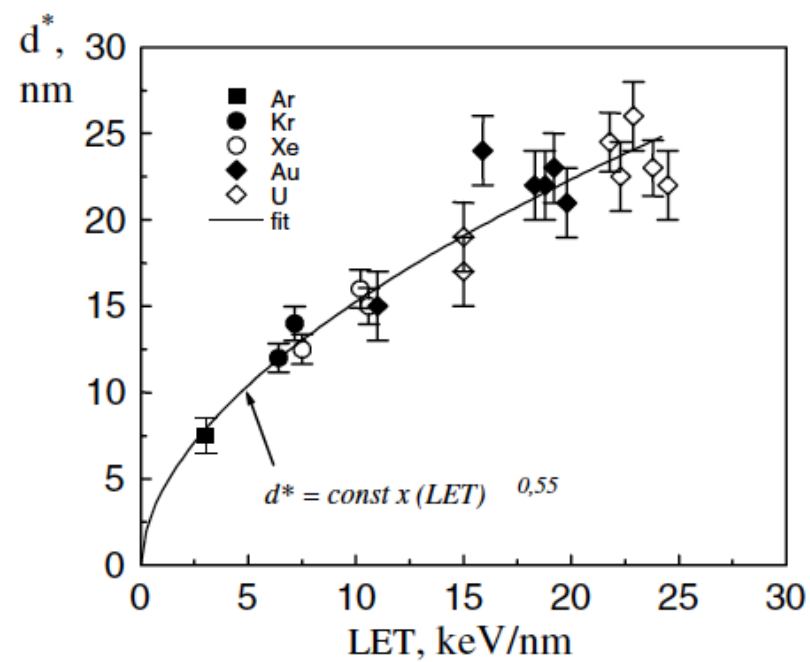
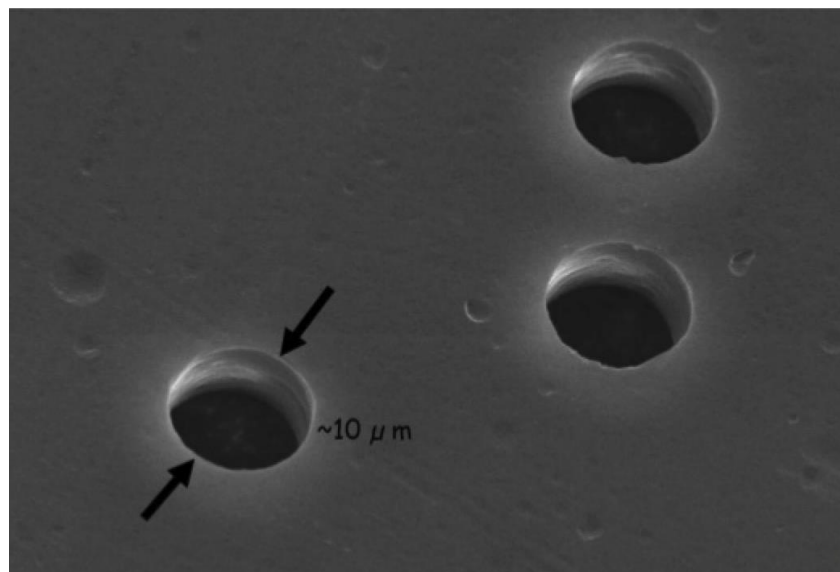


# Ядерные фильтры



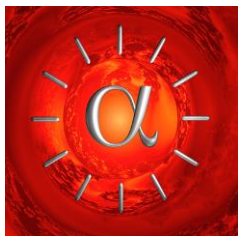
# Nuclear Tracks in Solids: Principles & Applications( Fleischer, Price & Walker, 1975)







ВЫБОР МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ: ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ, СЕЧЕНИЯ, ВЫХОДЫ, ПОБОЧНЫЕ РЕАКЦИИ



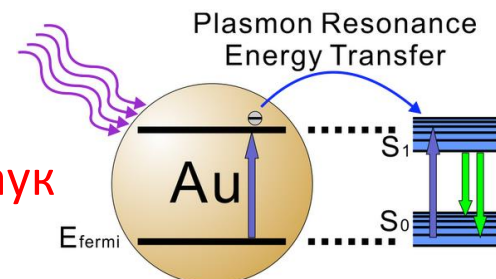
УНИКАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ: УСКОРИТЕЛИ, РЕАКТОРЫ, МИШЕНИ, ИЗОТОПНЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ



ВЕКТОРЫ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ: ПЕПТИДЫ, МОНОКЛОНАЛЬНЫЕ АНТИТЕЛА, БЛОЧНЫЕ НАНОТРАНСПОРТЕРЫ, НАНОЧАСТИЦЫ, ...



КОГНИТИВНЫЕ НАРУШЕНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ: СЕНСОРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НЕЙРОМЕДИАТОРОВ, ПЕРСОНИФИЦИРОВАННАЯ МЕДИЦИНА

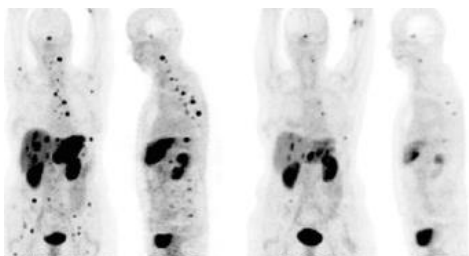


**Ядерная медицина - конвергенция наук**

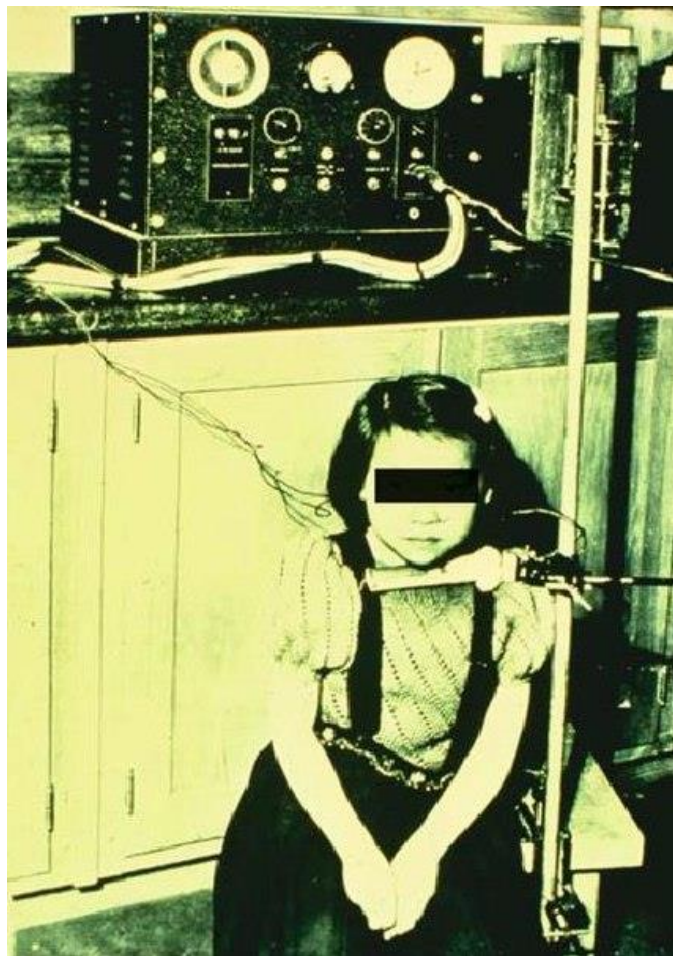
ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОФАРМАПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И ВЫДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ, СИНТЕЗ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РФП



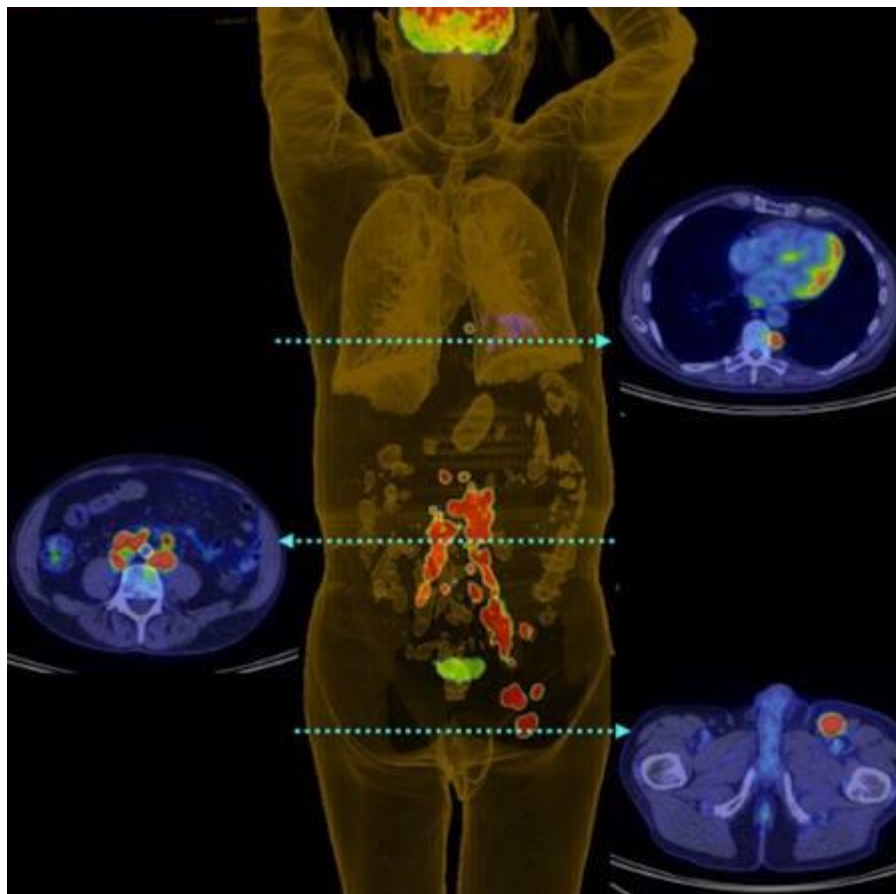
ДИАГНОСТИКА, ЛЕЧЕНИЕ И ТЕРАНОСТИКА: ОНКОЛОГИЯ, СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ, БОЛЕЗНЬ АЛЬЦГЕЙМЕРА, БОЛЕЗНЬ ПАРКИНСОНА



**Органотропность** - свойство того или иного вещества накапливаться в различных тканях организма.



Одно из первых исследований щитовидной железы с использованием  $^{131}\text{I}$



FDG-PET/CT scan in patient with merkel cell carcinoma ( $^{18}\text{F}$ -дизоксиглюкоза)

<https://www.facebook.com/photo.php?fbid=10151859561367357&set=a.10151859561282357.1073741830.364429672356&type=3&theater>

# Основные диагностические методы (medical imaging)

- Сонография (УЗИ)
- Рентгенологические методы
- Компьютерная рентгеновская томография (КТ)
- Магнитно-резонансная томография (МРТ)
- **Планарная (гамма) сцинтиграфия (ПС)**
- **Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ)**
- **Позитронная эмиссионная томография (ПЭТ)**
- **ОФЭКТ-КТ**
- **ПЭТ-КТ**
- **ПЭТ-МРТ**

Позитрон излучающий  
радионуклид



Позитрон

511 кэВ  
гамма-квант



511 кэВ  
гамма-квант

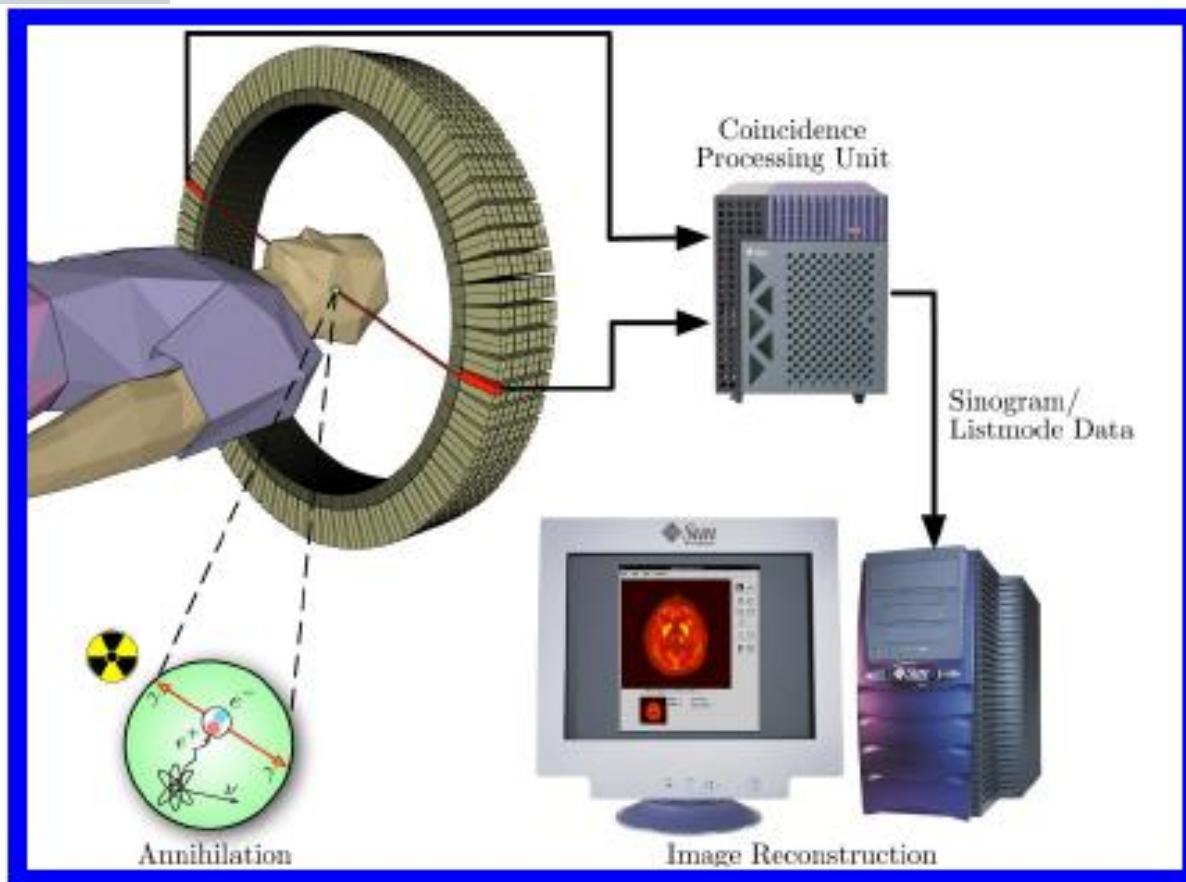
Электрон

Максимальный пробег в мышце:

4,1 мм (углерод-11)

2,39 мм (фтор-18)

9,3 мм (галлий-68)





# Состав клинического ПЭТ-центра



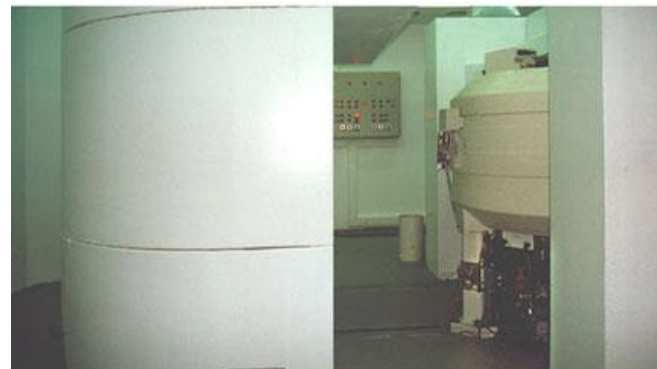
сканнер



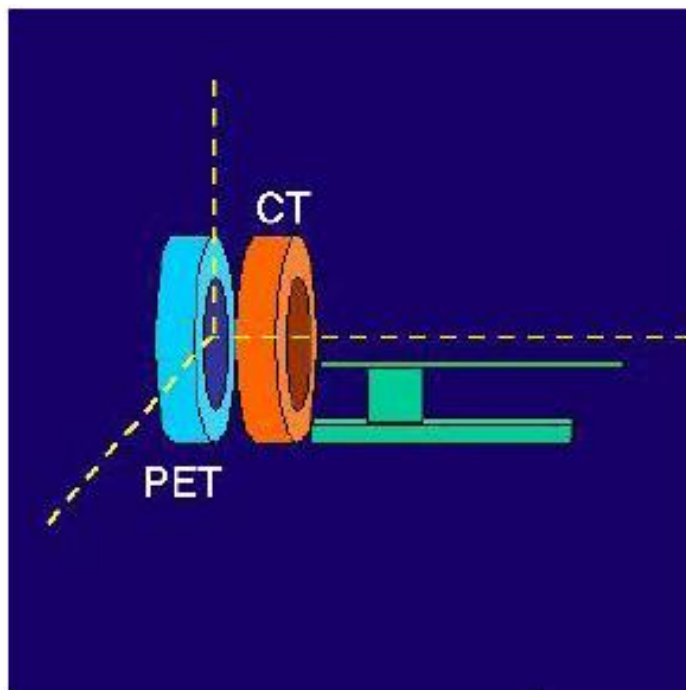
радиохимия



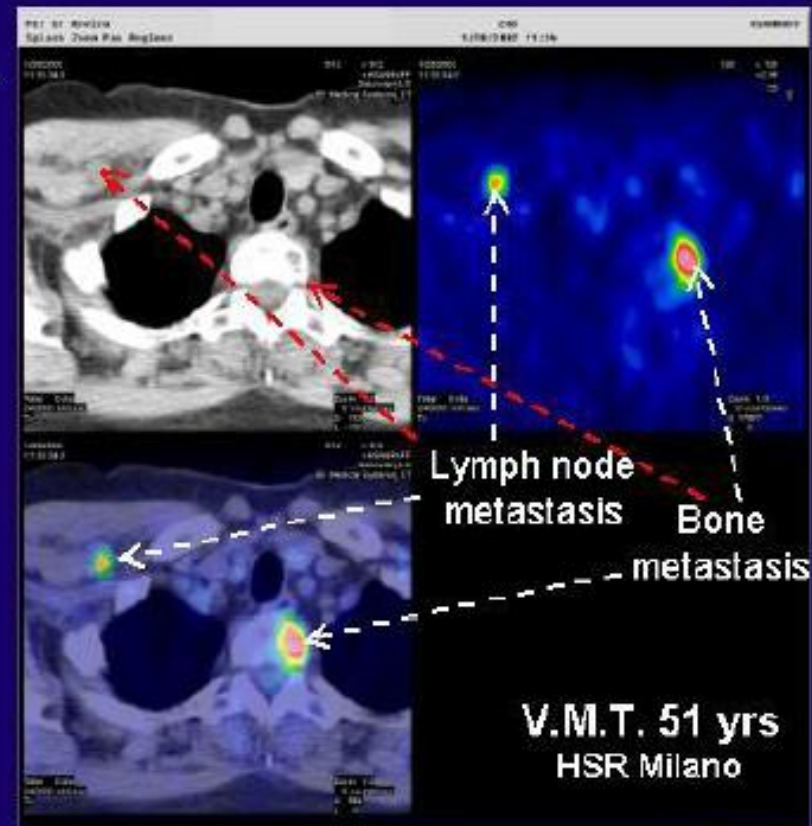
циклотрон







**ПЭТ КТ позволяет  
соотнести  
распределение  
радиотрейсера (ПЭТ)  
с анатомической  
структурой (КТ)**



DLS+

## Основные позитрон-излучающие радионуклиды для ПЭТ

**углерод-11** ( $T_{1/2} = 20,4$  мин.)

**кислород-15** ( $T_{1/2} = 2,03$  мин.)

**азот-13** ( $T_{1/2} = 9,96$  мин.)

**фтор-18** ( $T_{1/2} = 109,8$  мин.)

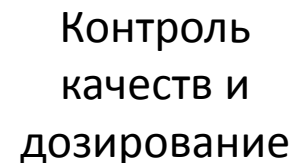
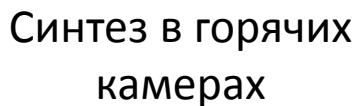
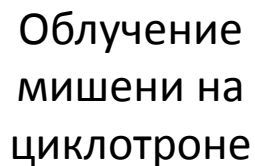
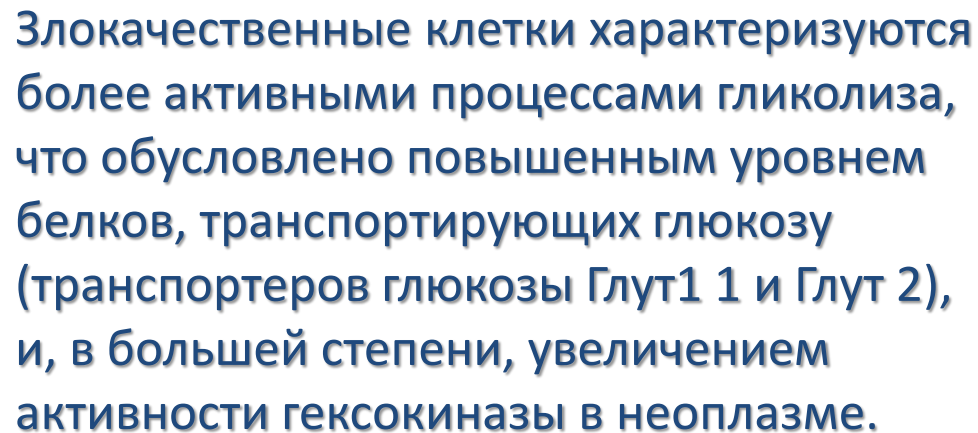
**йод-124** ( $T_{1/2} = 4,18$  сут.)

**циклотронные**

**германий-68/галлий-68** ( $T_{1/2} = 68$  мин.)

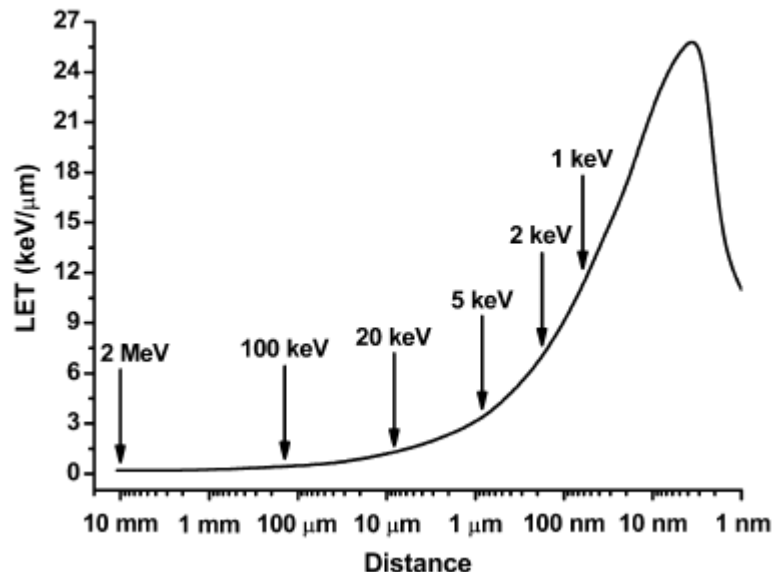
**стронций-82/рубидий-82** ( $T_{1/2} = 75$  сек.)

**генераторные**



# Радионуклиды для терапии

- Бета
- Альфа + ядра отдачи
- Оже



**Table 2. Physical Characteristics of Potential Therapeutic Radionuclides**

nuclides	$T_{1/2}$	radiation type (MeV)	particle maximum range
$^{80}\text{mBr}$	4.42 h	Auger, $\gamma$ (0.037)	<10 nm
$^{67}\text{Ga}$	3.26 d	Auger, $\gamma$ (0.09)	10 nm
$^{125}\text{I}$	60.0 d	Auger, $\gamma$ (0.027)	10 nm
$^{211}\text{At}$	7.2 h	$\alpha$ (6.8)	65 $\mu\text{m}$
$^{212}\text{Bi}$	1.0 h	$\alpha$ (7.8), $\gamma$ (0.72)	70 $\mu\text{m}$
$^{169}\text{Er}$	9.5 d	$\beta$ (0.34)	1.0 mm
$^{177}\text{Lu}$	6.7 d	$\beta$ (0.497), $\gamma$ (0.208)	1.5 mm
$^{161}\text{Tb}$	6.91 d	$\beta$ (0.51), $\gamma$ (0.025)	1.7 mm
$^{67}\text{Cu}$	2.58 d	$\beta$ (0.54), $\gamma$ (0.185)	1.8 mm
$^{105}\text{Rh}$	1.48 d	$\beta$ (0.57), $\gamma$ (0.320)	1.9 mm
$^{131}\text{I}$	8.04 d	$\beta$ (0.6), $\gamma$ (0.364)	2.0 mm
$^{77}\text{As}$	1.62 d	$\beta$ (0.68), $\gamma$ (0.239)	2.5 mm
$^{127}\text{Te}$	9.4 h	$\beta$ (0.7)	2.6 mm
$^{153}\text{Sm}$	1.95 d	$\beta$ (0.8), $\gamma$ (0.103)	3.0 mm
$^{198}\text{Au}$	2.7 d	$\beta$ (0.97), $\gamma$ (0.411)	4.4 mm
$^{111}\text{Ag}$	7.47 d	$\beta$ (1.05), $\gamma$ (0.34)	4.8 mm
$^{149}\text{Pm}$	2.21 d	$\beta$ (1.07), $\gamma$ (0.289)	5.0 mm
$^{186}\text{Re}$	3.77 d	$\beta$ (1.08), $\gamma$ (0.131)	5.0 mm
$^{89}\text{Sr}$	50.5 d	$\beta$ (1.49)	8.0 mm
$^{32}\text{P}$	14.3 d	$\beta$ (1.71)	8.7 mm
$^{188}\text{Re}$	16.95 h	$\beta$ (2.13), $\gamma$ (0.155)	11.0 mm
$^{142}\text{Pr}$	19.1 h	$\beta$ (2.16), $\gamma$ (1.6)	11.3 mm
$^{90}\text{Y}$	2.67 d	$\beta$ (2.28)	12.0 mm

## **$^{223}\text{Ra}$ – перспективный радионуклид для радиотерапевтического использования**

- Естественный остеотроп, изоморфен Са, накапливается в костной ткани с коэффициентом накопления 10,3 (для  $^{89}\text{Sr}$  и  $^{153}\text{Sm}$  = 1,6 и 4,4).
- Отсутствие дозолимитирующей токсичности до 200 кБк/кг;
- В отличие от других остеотропных радионуклидов, экскреция  $^{223}\text{Ra}$  происходит через гастроинтестинальный тракт, и лишь 10% - почками.
- Инъекции приводят к уменьшению болевого синдрома (70-75%) со снижением уровня PSA у всех больных.
- Независимый Комитет мониторинга данных прервал исследование по лечению больных раком простаты и костными метастазами  $^{223}\text{Ra}$  за счет очевидности преимуществ по сравнению с другими методами.

**Препарат Alpharadine®(Xofigo) :**

$^{223}\text{RaCl}_2$  в изотоническом растворе NaCl/NaCit для внутривенного введения (Algeta ASA, Норвегия)

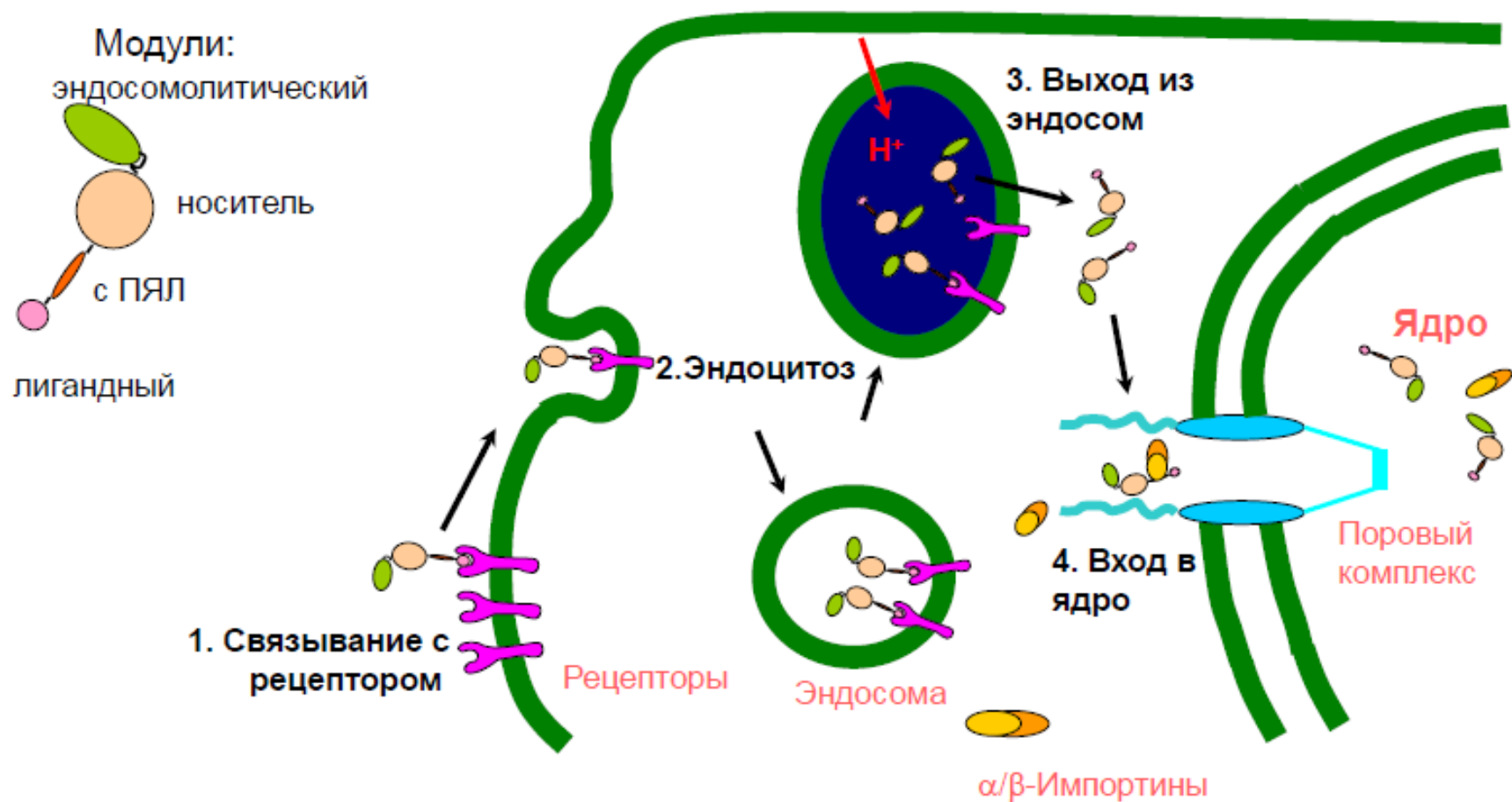
<http://www.medplus24.ru/magazine/mens-health/628.html>





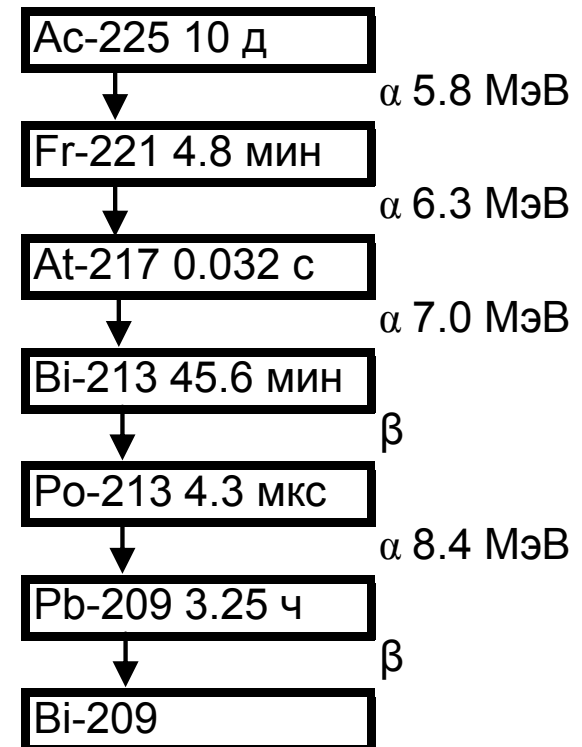
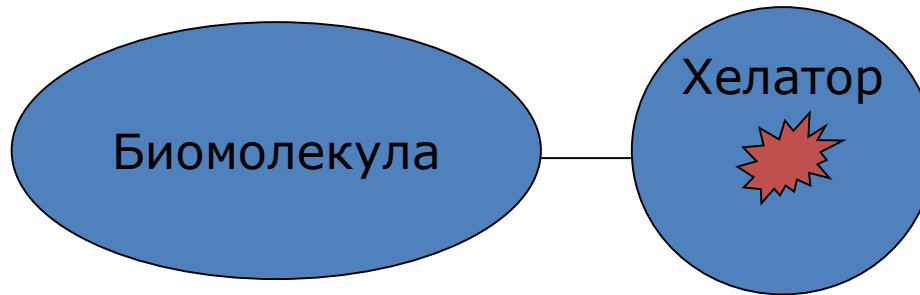
# Схема строения модульного нанотранспортера (МНТ) и этапов его проникновения в клетку-мишень

## Модульные нанотранспортеры и их модули

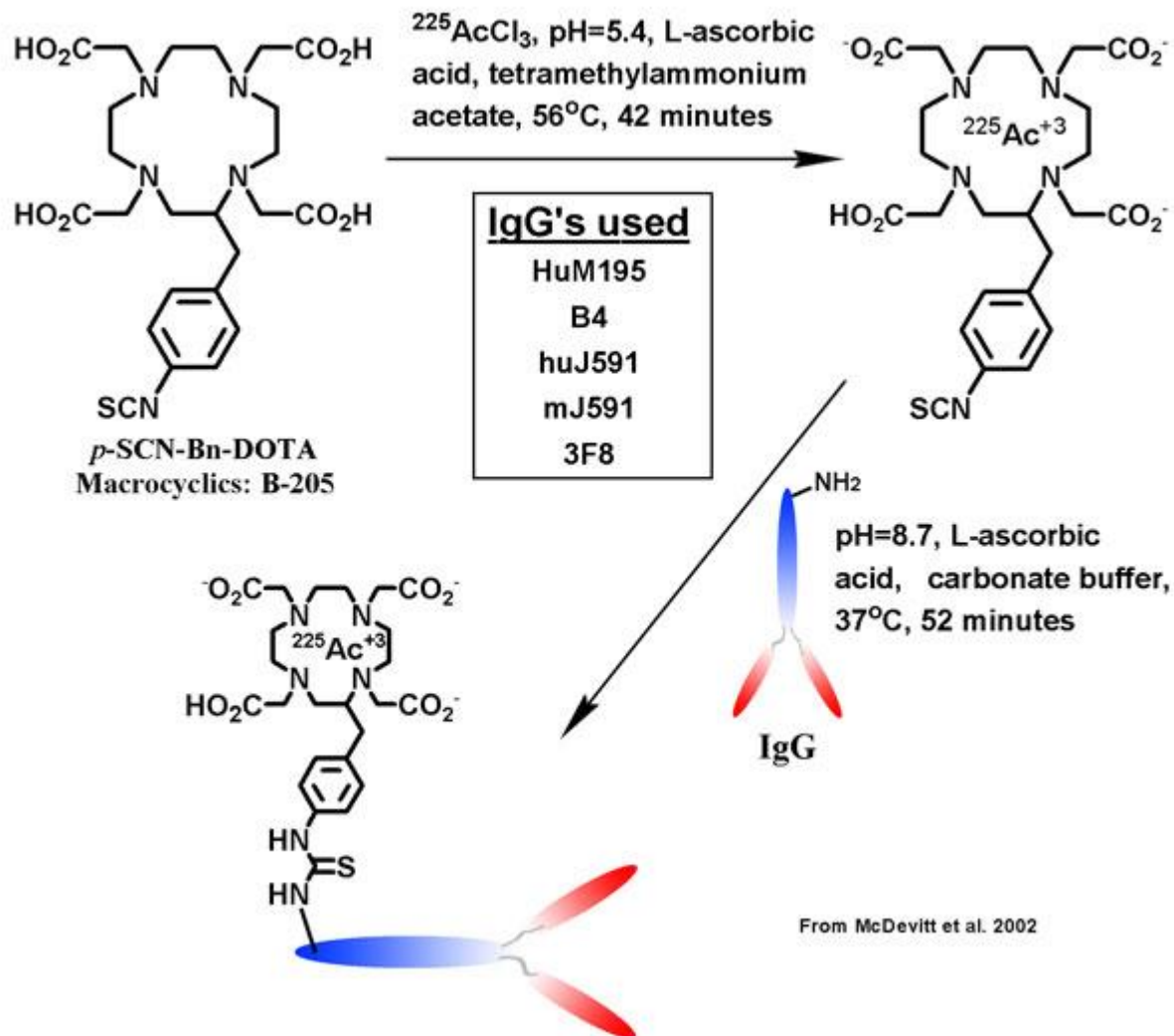


# Радионуклиды для терапии

- $^{90}\text{Y}$
- $^{166}\text{Ho}$
- $^{177}\text{Lu}$
- $^{213}\text{Bi}$
- $^{212}\text{Bi}$
- $^{211}\text{At}$
- $^{225}\text{Ac}$

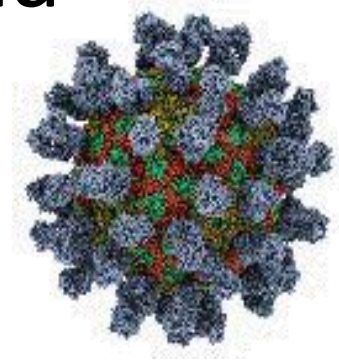


# Схема синтеза





# Таргетные вектора доставки ИЗОТОПОВ-АНТИТЕЛА



<b>HER-2</b>	Рак молочной железы
<b>CD20</b>	Лимфома ( <sup>131</sup> I, <sup>90</sup> Y)
<b>CEA</b>	Рак яичника, эмбриональные опухоли
<b>Mucin-1</b>	Рак предстательной железы, рак молочной железы
<b>TAG-27</b>	Рак легкого
<b>VEGF</b>	Рак почки, рак легкого, опухоли головы и шеи, предстательной железы
<b>EGF</b> железы	Рак почки, мочевого пузыря, рак предстательной
<b>Mindin</b>	Рак предстательной железы
<b>PSMA</b>	Рак предстательной железы
<b>Annexin</b>	Все виды опухолей (апоптоз)

# Таргетные вектора доставки изотопов-пептиды

## Октреотид, DOTA-ТОС, DOTA-TATE, DOTA-NOC

- Нейроэндокринные опухоли
- Мелкоклеточный рак легкого
- Рак щитовидной железы
- Рак молочной железы
- Рак почки
- Лимфома
- Опухоли мозга (медуллобластома, глиома)

•  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{111}\text{In}$

•  $^{68}\text{Ga}$ ,

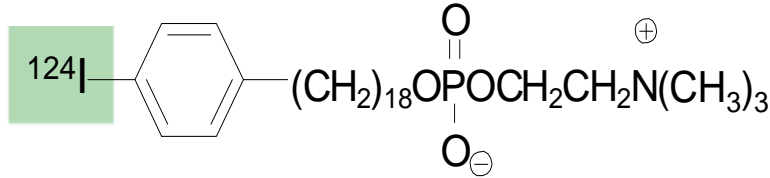
•  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,

## Бомбезин и др. аналоги ГРФ, AMBA

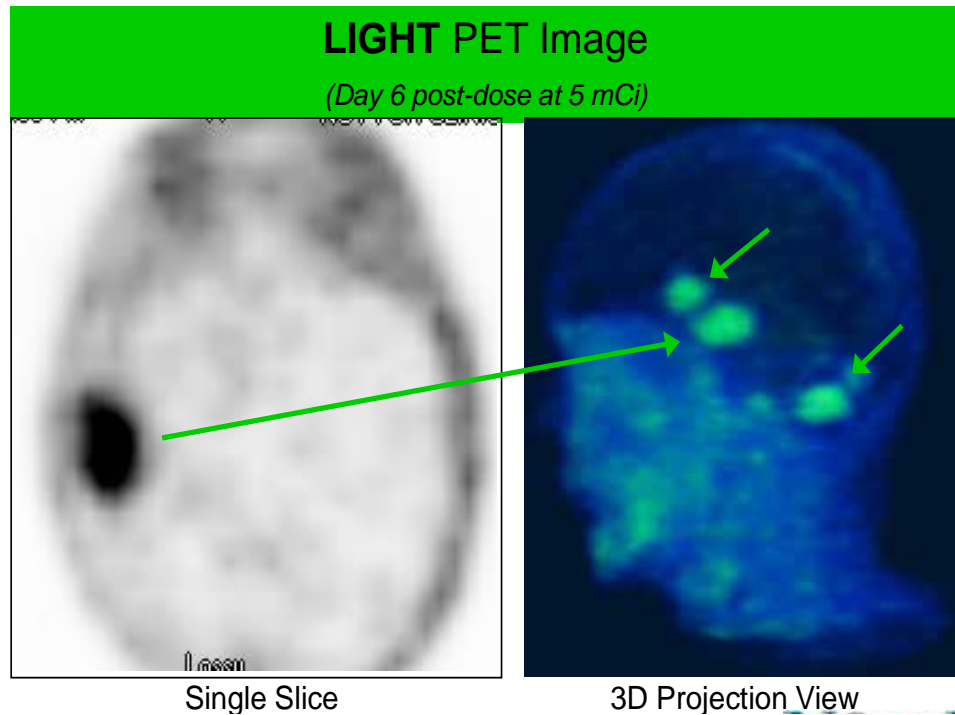
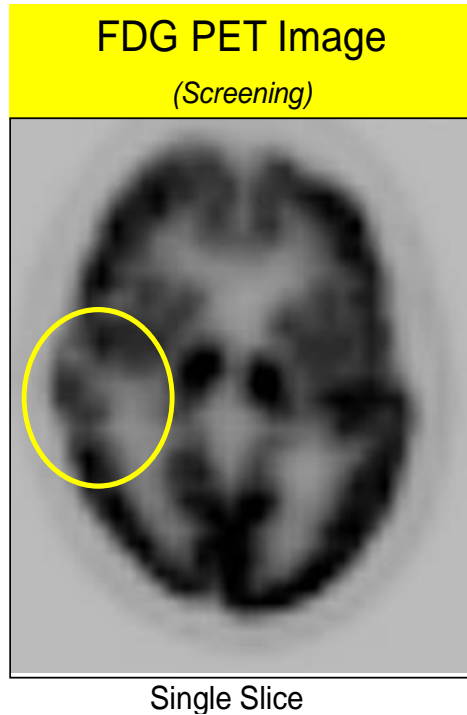
- Рак предстательной железы
- Рак молочной железы
- Рак легкого
- Рак толстой кишки
- Мелкоклеточный рак легкого
- Опухоли мозга (медуллобластома)

# Пример инновационного РФП

## Novelos США – Селектрум Россия



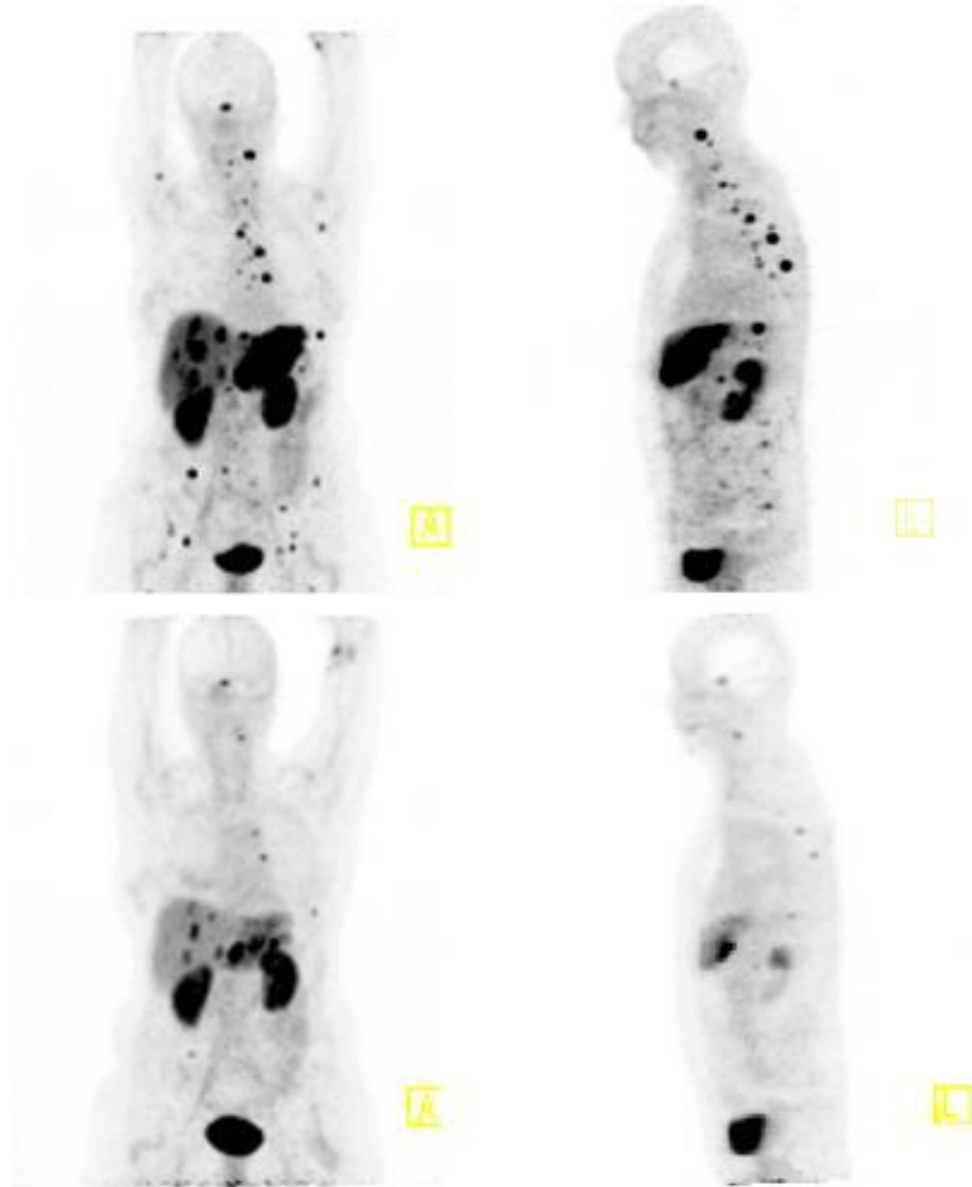
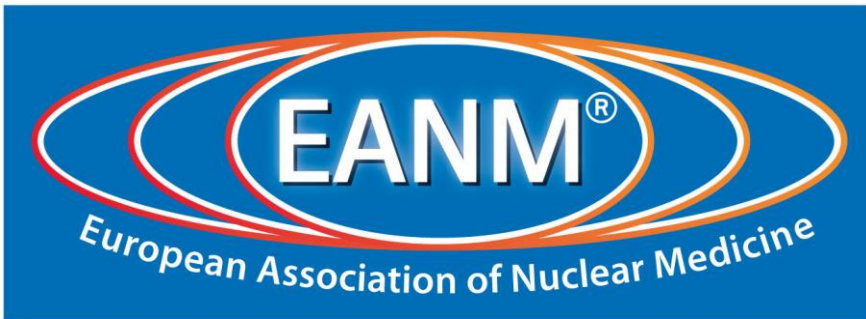
Novelos



- Фосфолипидный высокоспецифичный вектор доставки изотопов в любые опухоли
- Потенциал замены 18-FDG

"Image of the year": alpha therapy results on digestive tumours

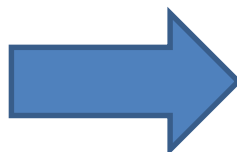
Bi-213-DOTATOC



## Мировое производство Ас-225, ГБк (мКи)

	JRC ITU (ЕС)	ORNL (US)	ФЭИ (Россия)
Запас	1,7 (45,6)	5,55 (150)	5,55 (150)
Макс. кол-во производимого Ас-225	13 (350)	22,2 (600)	26,6 (720)
Единичная поставка	1,3 (35)	2,2 (60)	1,85 (50)

**ИТОГО:**  
**около 63 ГБк (1,7 Ки)  $^{225}\text{Ac}$**

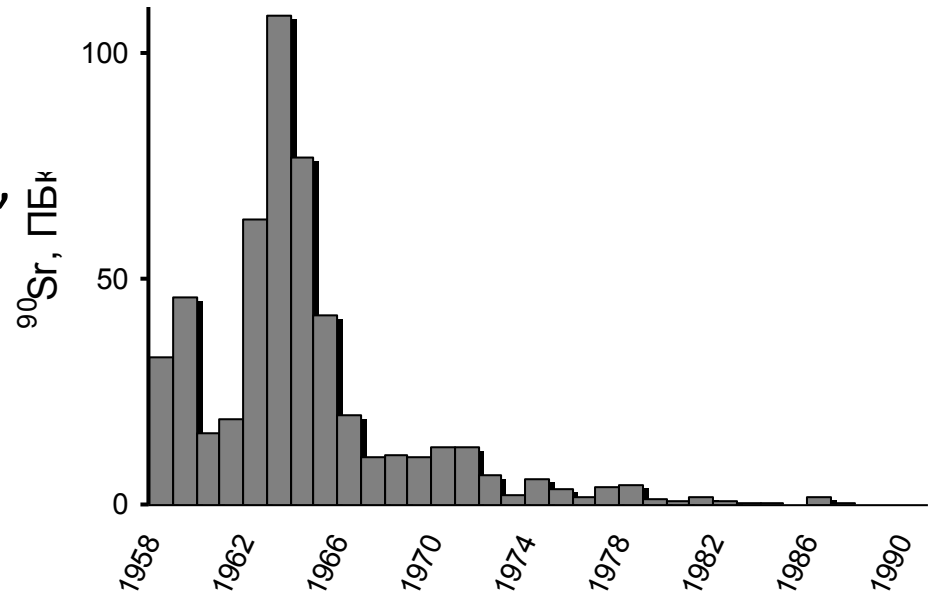


**100-200 пациентов**

# РАДИОАКТИВНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

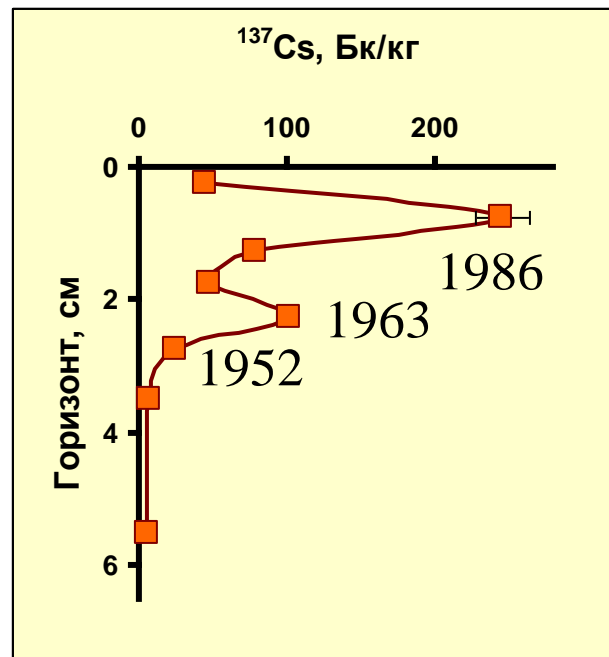
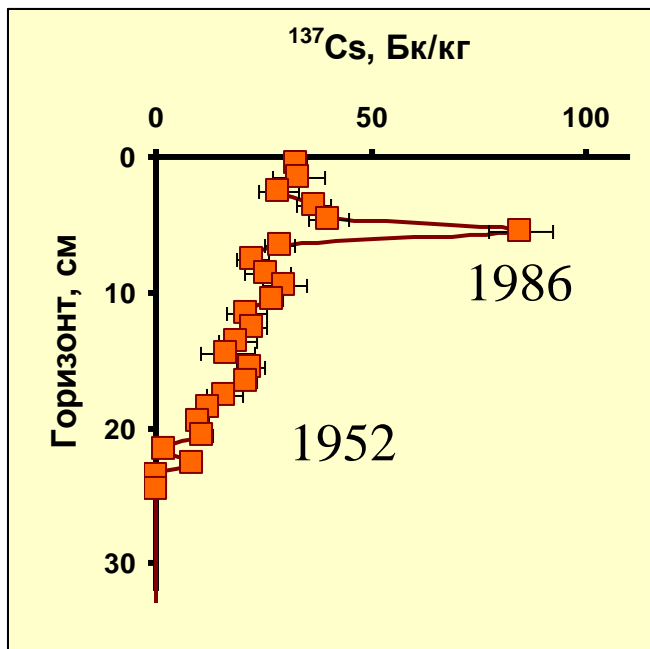
# Искусственные радионуклиды

- Испытание ядерного оружия,

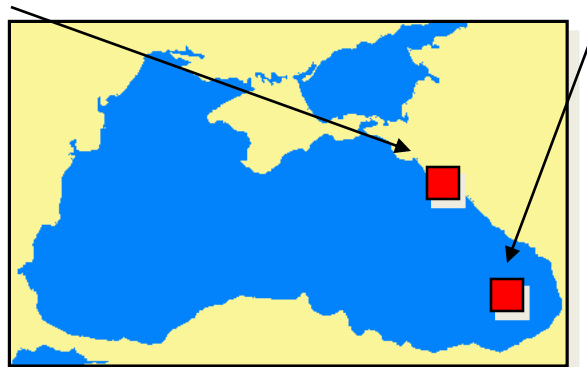


- Ядерные взрывы, проводимые в мирных целях,
- Сброс радиоактивных отходов в моря и реки,
- Аварийные ситуации на морских и воздушных судах,
- Искусственные спутники Земли,
- Ядерный топливный цикл,
- Аварии на предприятиях ядерного топливного цикла.

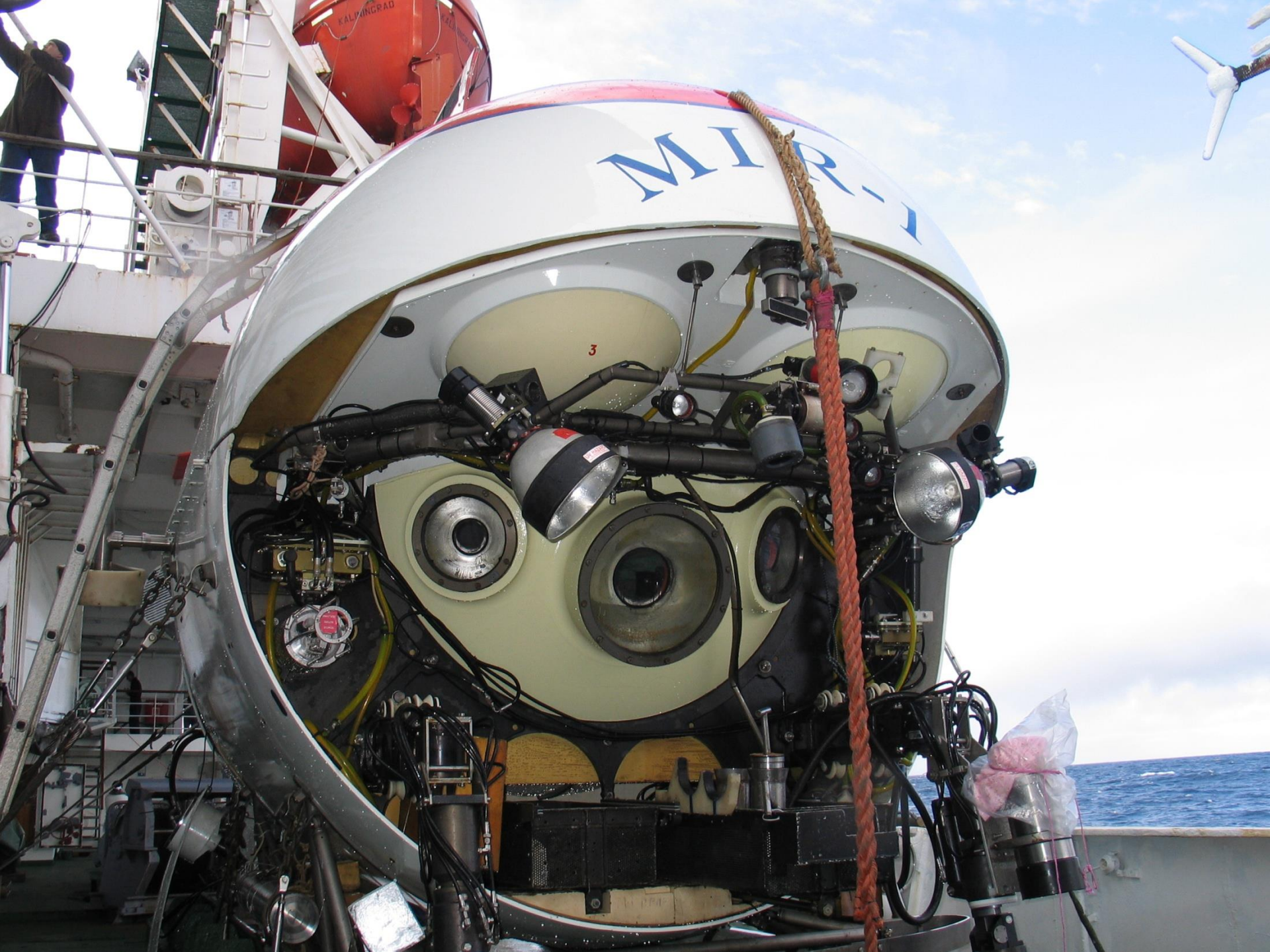
# ЦЕЗИЙ-137 В ДОННЫХ ОСАДКАХ ЧЕРНОГО МОРЯ



R.A.Aliev, St.N.Kalmykov,  
Yu.A.Sapozhnikov. In:  
Environmental radiochemical  
analysis II. Cambridge. UK.  
254-262.



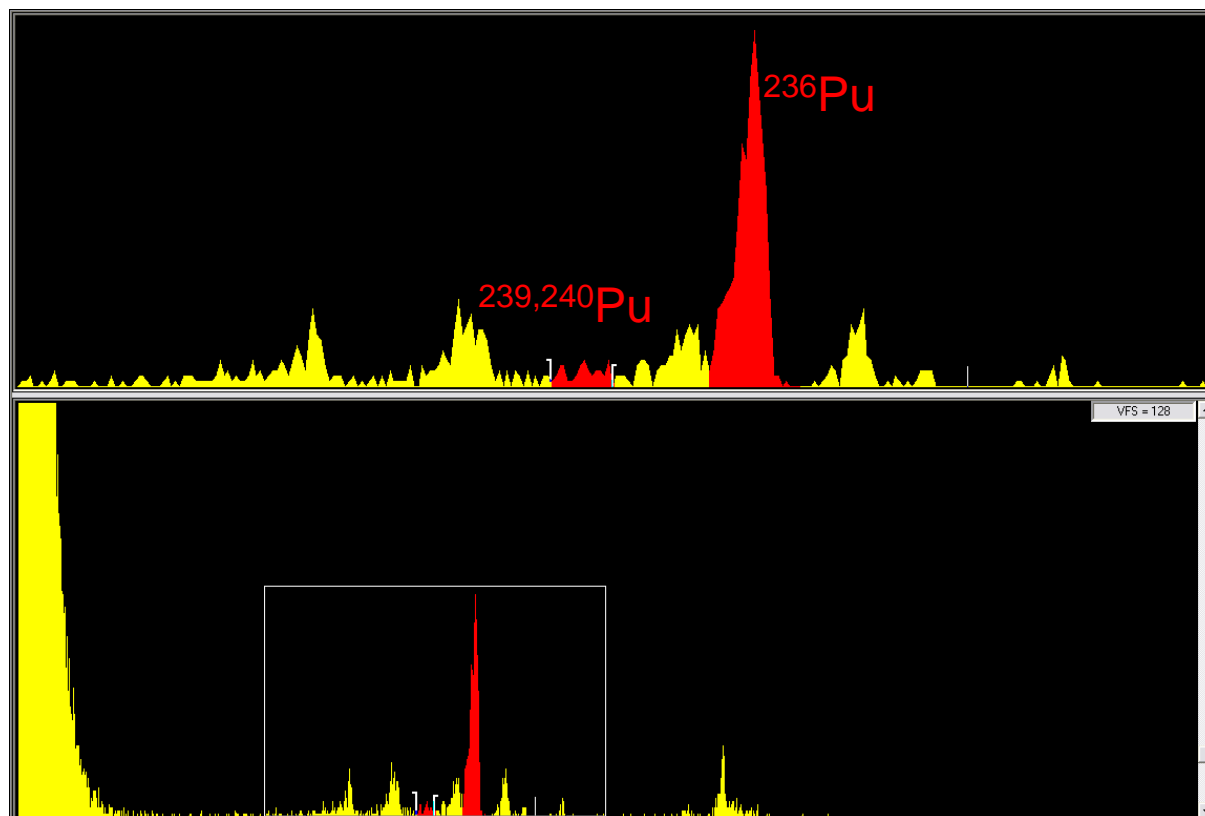








# Экспедиция 2007 – АПЛ «Комсомолец»

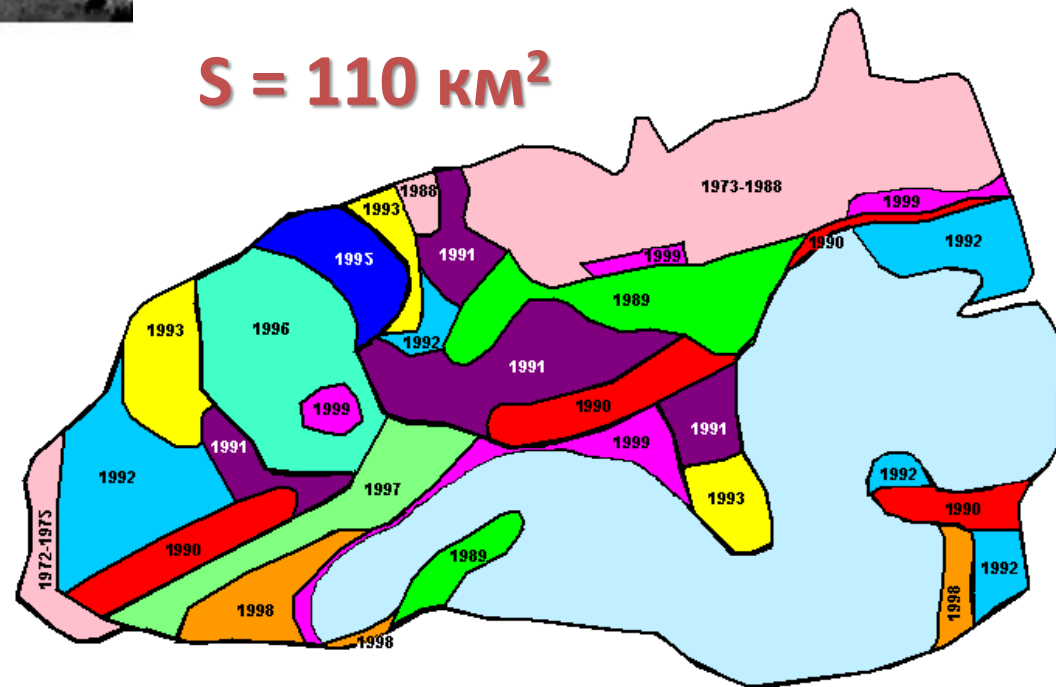


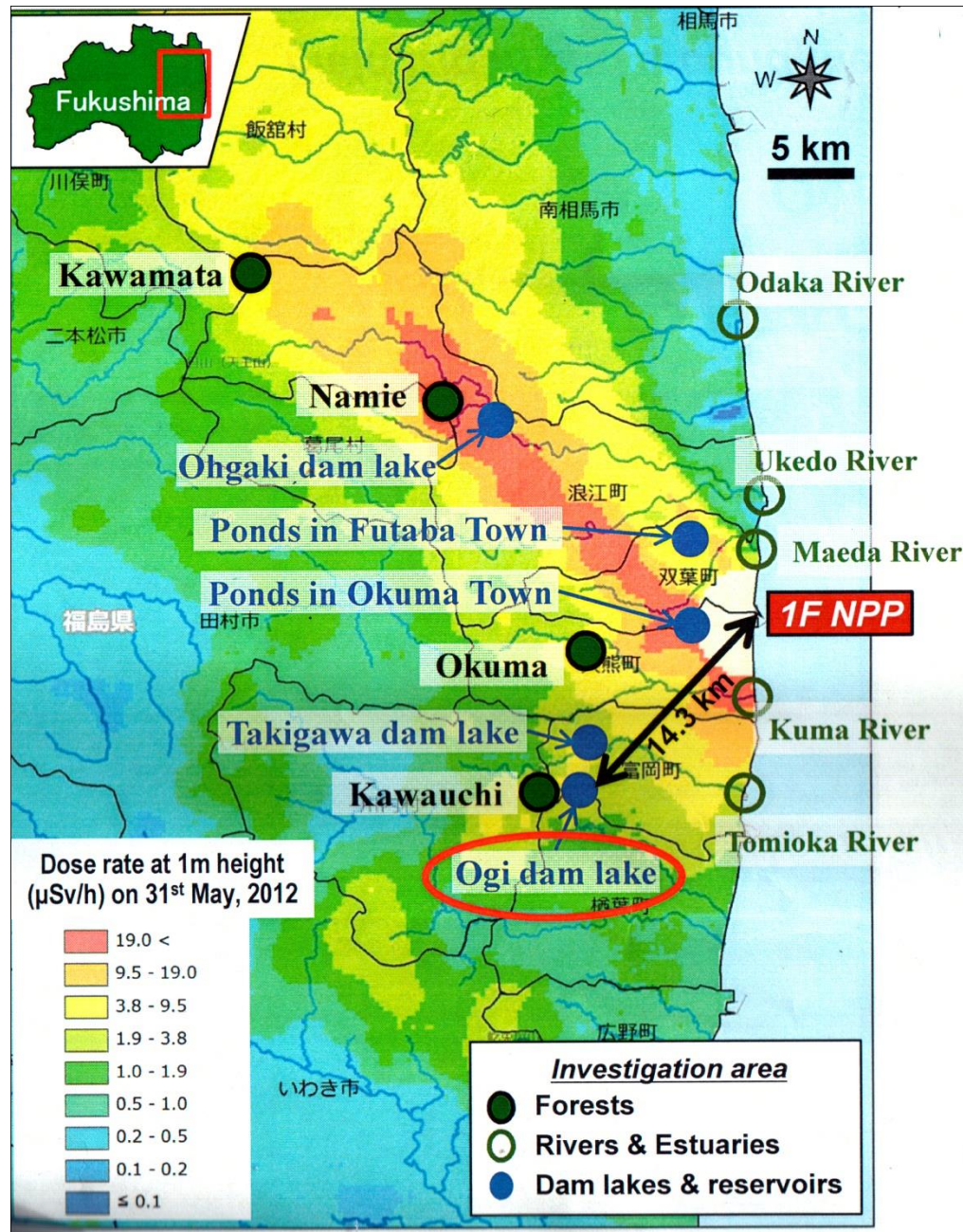
ГОА Мир-1, 18.08. 2007, отобрана из первого отсека АПЛ



2004

**$S = 110 \text{ км}^2$**



















Спасибо за внимание

