



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

Новые элементы Периодической системы- от первых трансурановых элементов до сверхтяжелых трансактинидов

Степан Николаевич Калмыков

Stepan_5@Hotmail.com

Периодическая таблица Д. И. Менделеева

Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В										
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	1	(H)						H 1,00797 Водород	He 4,0026 Гелий	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> Обозначение элемента Атомный номер </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px auto; width: 80%;"> Li 3 Литий </div> <div style="text-align: right; margin-top: 5px;"> Относительная атомная масса </div>		
2	2	Li 6,939 Литий	Be 9,0122 Бериллий	B 10,811 Бор	C 12,01115 Углерод	N 14,0067 Азот	O 15,9994 Кислород	F 18,9984 Фтор	Ne 20,179 Неон			
3	3	Na 22,9898 Натрий	Mg 24,305 Магний	Al 26,9815 Алюминий	Si 28,086 Кремний	P 30,9738 Фосфор	S 32,064 Сера	Cl 35,453 Хлор	Ar 39,948 Аргон			
4	4	K 39,102 Калий	Ca 40,08 Кальций	Sc 44,956 Скандий	Ti 47,90 Титан	V 50,942 Ванадий	Cr 51,996 Хром	Mn 54,9380 Марганец	Fe 55,847 Железо	Co 58,9330 Кобальт	Ni 58,71 Никель	
	5	Cu 63,546 Медь	Zn 65,37 Цинк	Ga 69,72 Галлий	Ge 72,59 Германий	As 74,9216 Мышьяк	Se 78,96 Селен	Br 79,904 Бром	Kr 83,80 Криптон			
5	6	Rb 85,47 Рубидий	Sr 87,62 Стронций	Y 88,905 Иттрий	Zr 91,22 Цирконий	Nb 92,906 Ниобий	Mo 95,94 Молибден	Tc [99] Технеций	Ru 101,07 Рутений	Rh 102,905 Родий	Pd 106,4 Палладий	
	7	Ag 107,868 Серебро	Cd 112,40 Кадмий	In 114,82 Индий	Sn 118,69 Олово	Sb 121,75 Сурьма	Te 127,60 Теллур	I 126,9044 Иод	Xe 131,30 Ксенон			
6	8	Cs 132,905 Цезий	Ba 137,34 Барий	La* 138,91 Лантан	Hf 178,49 Гафний	Ta 180,948 Тантал	W 183,85 Вольфрам	Re 186,2 Рений	Os 190,2 Осмий	Ir 192,2 Иридий	Pt 195,09 Платина	
	9	Au 196,967 Золото	Hg 200,59 Ртуть	Tl 204,37 Таллий	Pb 207,19 Свинец	Bi 208,980 Висмут	Po [210]* Полоний	At [210] Астат	Rn [222] Радон			
7	10	Fr [223] Франций	Ra [226] Радий	Ac** [227] Актиний	Rf [261] Резерфордий	Db [262] Дубний	Sg [263] Сиборгий	Bh [262] Борий	Hs [265] Хассий	Mt [266] Майтнерий	Ds [271] Дармштадтий	
	11	Rg [272] Рентгений	Cn [285] Коперниций	Nh [286] Нихоний	Fl 114 Флеровий	Mc 115 Московский	Lv 116 Ливерморий	Ts 117 Теннессин	Og [294] Оганесон			

Лантаноиды*	58 Ce 140,12 Церий	59 Pr 140,907 Празеодим	60 Nd 144,24 Неодим	61 Pm [147]* Прометий	62 Sm 150,35 Самарий	63 Eu 151,96 Европий	64 Gd 157,25 Гадолиний	65 Tb 158,924 Тербий	66 Dy 162,50 Диспрозий	67 Ho 164,930 Гольмий	68 Er 167,26 Эрбий	69 Tm 168,934 Тулий	70 Yb 173,04 Иттербий	71 Lu 174,97 Лютеций
Актиноиды**	90 Th 232,038 Торий	91 Pa [231] Протактиний	92 U 238,03 Уран	93 Np [237] Нептуний	94 Pu [244] Плутоний	95 Am [243] Америций	96 Cm [247] Кюрий	97 Bk [247] Берклий	98 Cf [252]* Калифорний	99 Es [254] Эйнштейний	100 Fm [257] Фермий	101 Md [257] Менделевий	102 No [255] Нобелий	103 Lr [256] Лоуренсий

Радиохимия – химия радиоактивных веществ. К предмету изучения радиохимии относятся также химические аспекты производства радионуклидов и переработки ядерного топлива.

Иногда в качестве аналогичного используют понятие **ядерная химия**, однако его стоит трактовать более широко, ядерная химия изучает, помимо радиохимии, химические процессы, протекающие под действием ядерных излучений (**радиационная химия**), а также химические последствия радиоактивного распада и ядерных реакций.

Этапы развития

Фундаментальный этап

Создание ядерного оружия

«Мирный» этап

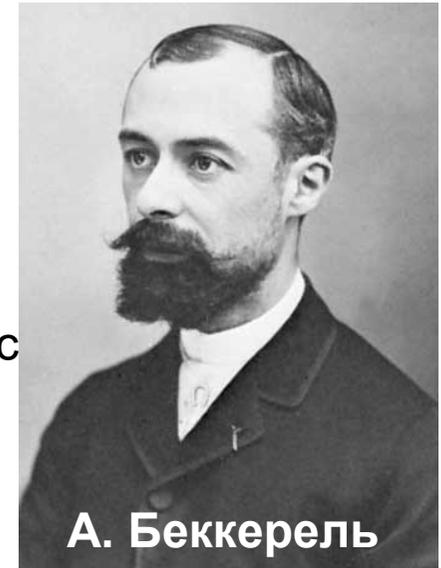
Энергетика

Медицина

Другие радиационные технологии

История

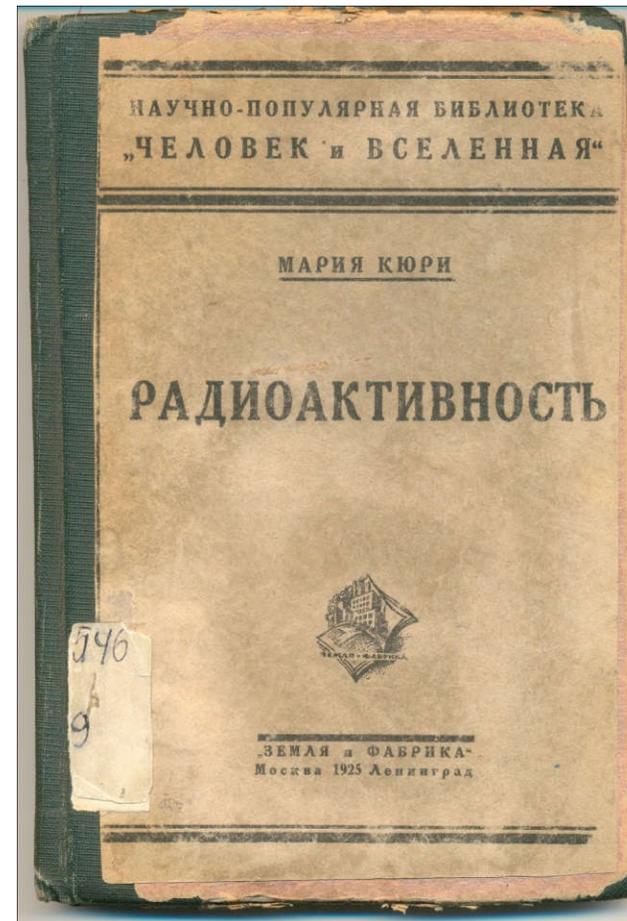
- ❑ Свечение стенок разрядных трубок - катодные лучи - поток электронов ;
- ❑ Рентгеновские лучи;
- ❑ Анри Беккерель – флуоресценция солей урана - радиоактивнос
- ❑ Мария и Пьер Кюри – радиоактивность минералов урана - выделение Po и Ra 1898 г.



Мария Кюри назвала свойство определенных атомов испускать лучи радиоактивностью, а уран, торий и другие подобные элементы – радиоактивными

«Если существование нового металла подтвердится, мы предполагаем назвать его полонием, имея в виду происхождение одного из нас»

Радиоактивность самопроизвольное (спонтанное) превращение неустойчивого изотопа химического элемента в другой изотоп (обычно - изотоп другого элемента). Сущность явления радиоактивности состоит в самопроизвольном изменении состава атомного ядра, находящегося в основном состоянии либо в возбуждённом долгоживущем (метастабильном) состоянии.





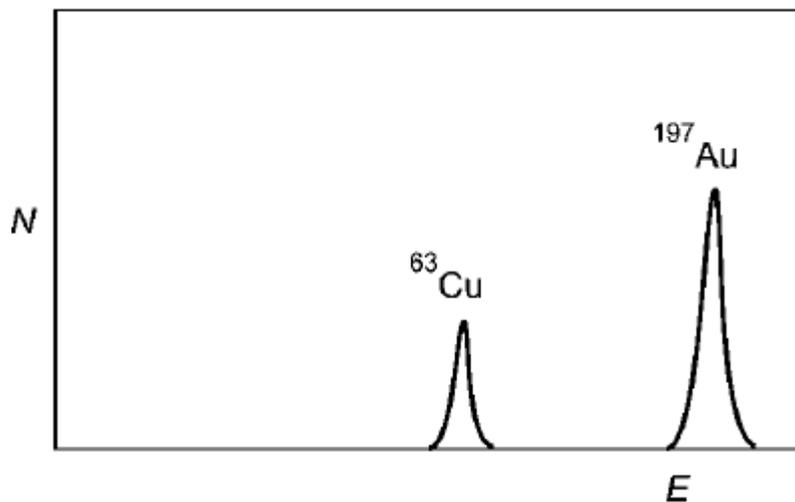
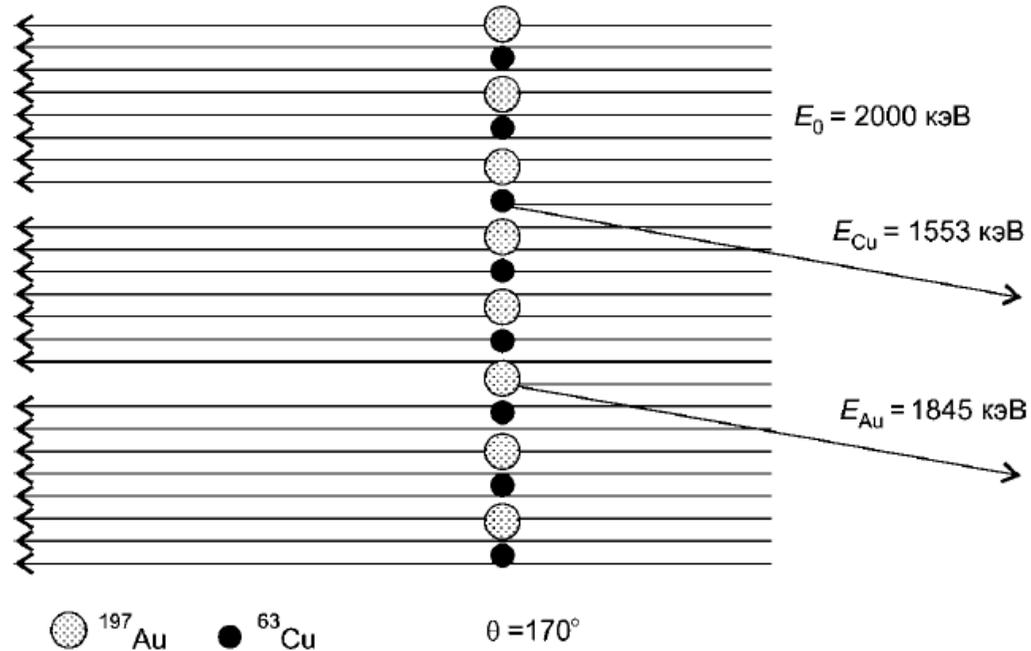
Марии Кюри вместе с Ирен выезжала в прифронтовые госпитали, сама работала медицинским лаборантом, водителем, механиком



8. ábra. Marie Curie az általa berendezett radiológiai mentőautó volánjánál.

□ Структура атома и ядра - Резерфорд, Жолио-Кюри. (радий, выделенный супругами Кюри)

□ Опыт Резерфорда (Гейгер и Марсден) – открытие ядра, протона и нейтрона



Рассеяние моноэнергетических α -частиц тонким двухкомпонентным образцом

Спектроскопия Резерфордовского обратного рассеяния

Rutherford backscattering spectrometry, RBS

□ Эманация – радиоактивные благородные газы – 1902 – теория радиоактивных превращений (Резерфорд и Содди);

□ 1910 - известно около 40 радиоактивных веществ с различными периодами полураспада, Содди - размещение новых элементов в периодической системе. Понятие **изотоп**. Масс-спектрограф.

Нуклид— вид атомов, характеризующийся определёнными массовым числом, атомным номером, и энергетическим состоянием их ядер, и имеющий время жизни, достаточное для наблюдения.

Изотопы- разновидности ядер одного и того же химического элемента, различающаяся количеством нейтронов в ядре.



Изобары- нуклиды, имеющие одинаковое массовое число.



Изомеры - явление существования у ядер атомов метастабильных (изомерных) возбуждённых состояний с достаточно большим временем жизни.





1930 г. В. Боте и Г. Беккер

1932 г. Дж. Чедвик



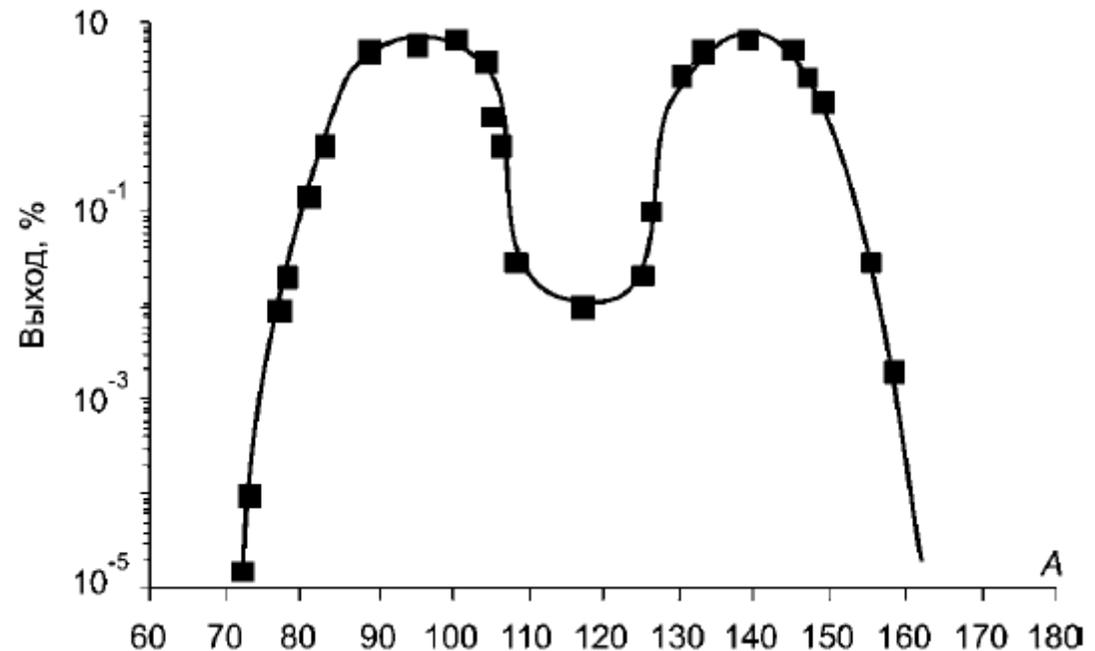
1934 г. Фредерик и Ирен Жолио-Кюри
искусственная радиоактивность

□ Э. Ферми - облучение урана нейтронами (1934)

□ О. Ганн и Ф. Штрассман
1938 г.

□ 1940 г. Открытие
спонтанного деления ^{235}U
(Флеров, Петржак)

□ 1942 г. Атомный реактор
(Ферми)



Сентябрь 1943 – старт «Манхэттенского проекта»

16 июля 1945 г. – первое испытание боезаряда («Gadget»)

Август 1945 г. – бомбардировка Хиросимы и Нагасаки

Август 1949 г. – испытание первой Советской атомной бомбы (РДС-1),

Август 1953 г. – первое испытание термоядерного заряда (СССР),

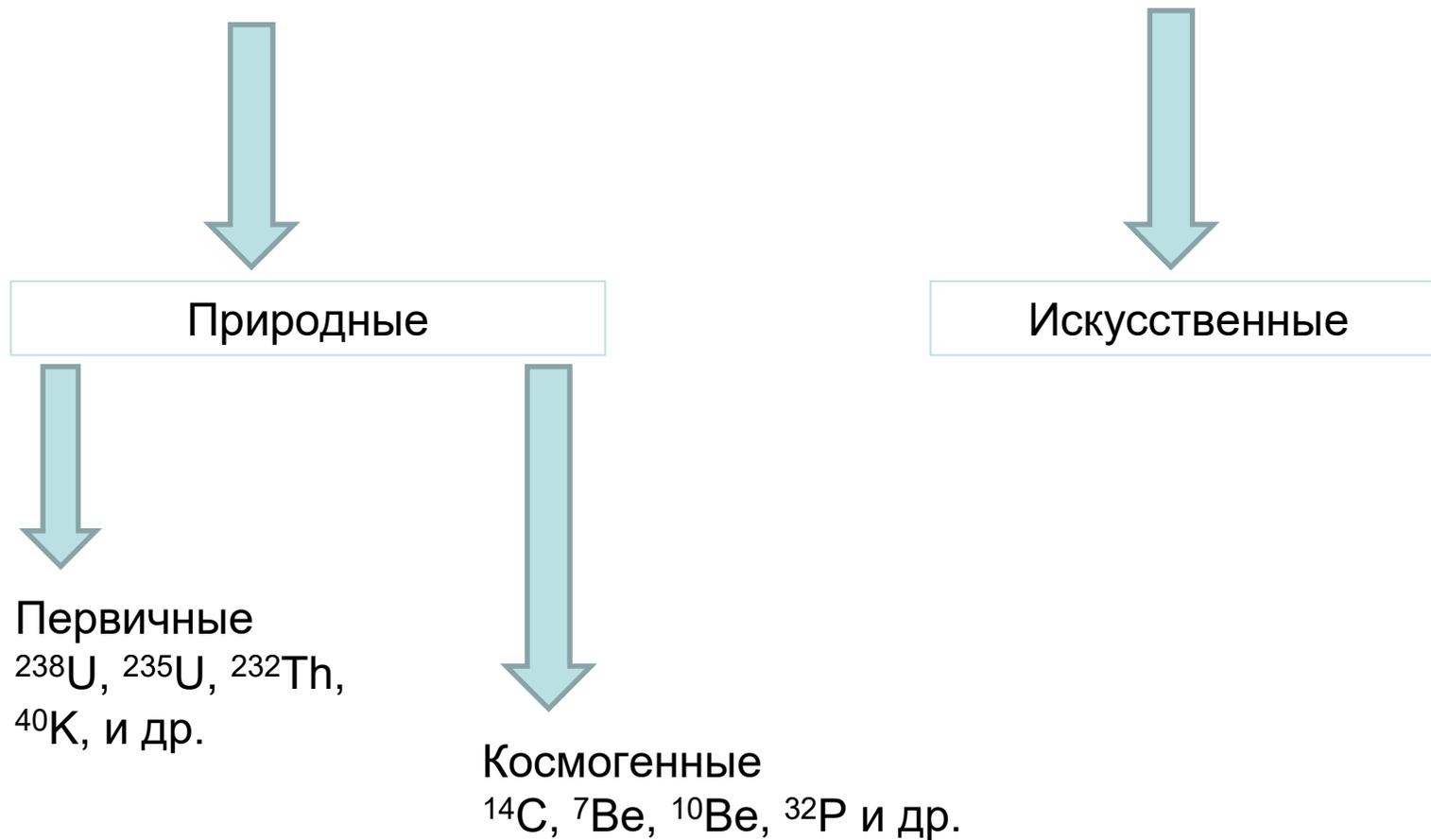
Октябрь 1961 г. – испытание Царь-бомбы

В.И. Вернадский, 1912 год: «Перед нами открываются в явлениях радиоактивности источники атомной энергии, в миллионы раз превышающие те источники сил, какие только рисовались человеческому воображению»

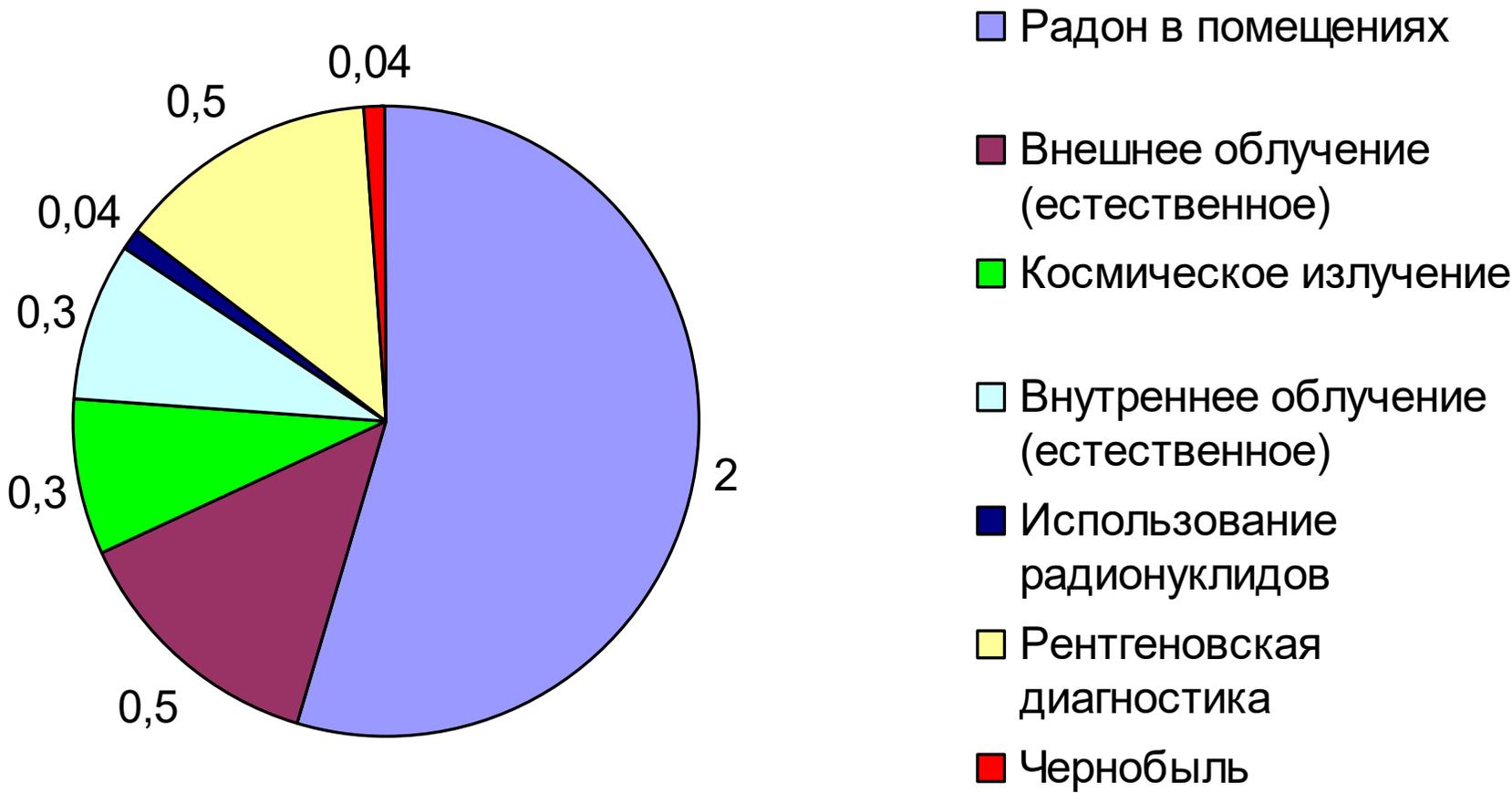
1922 год: «Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направить ее на добро, а не на самоуничтожение?»



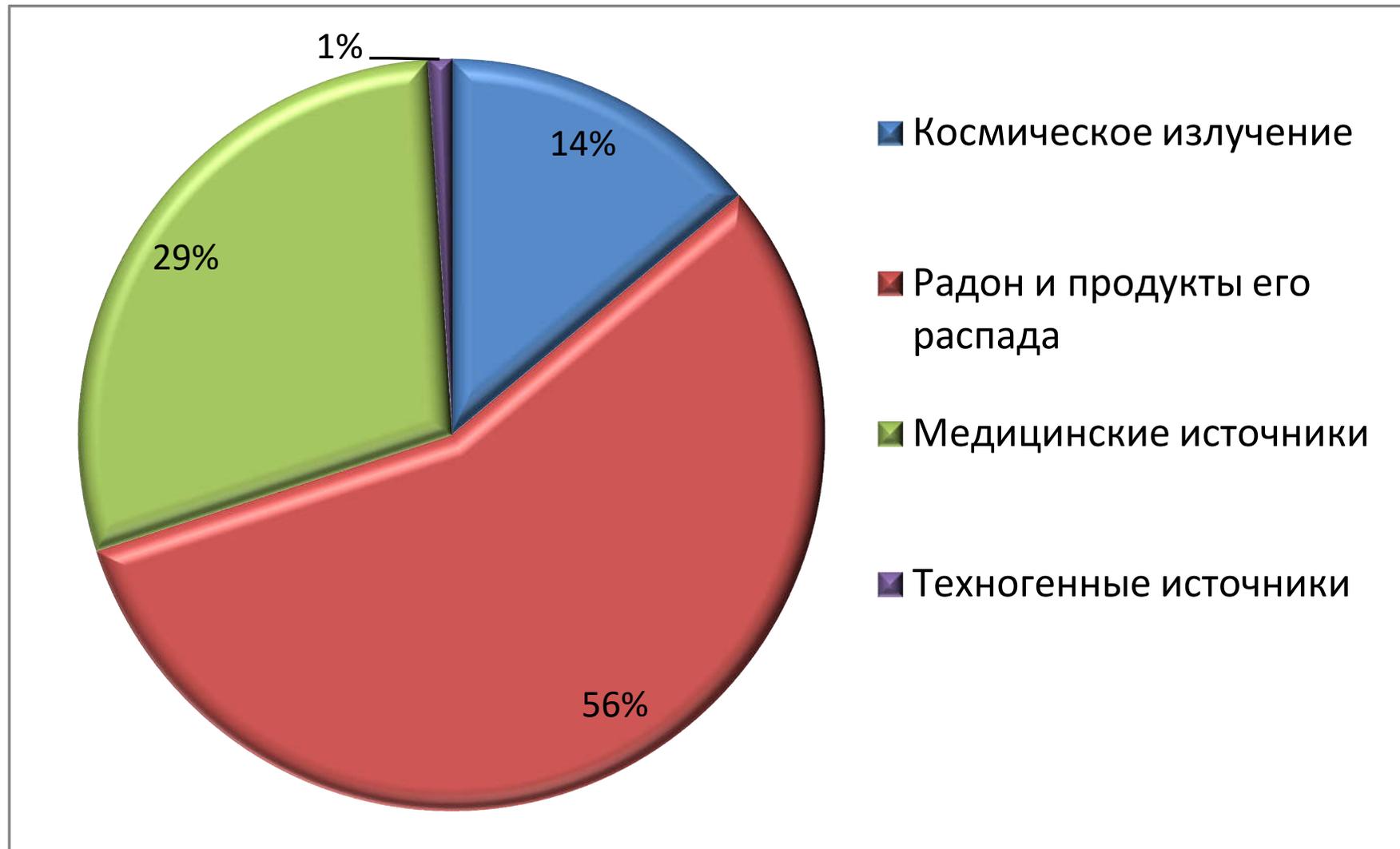
Радионуклиды в природе



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



Структура коллективных доз облучения населения России



Источники поступления техногенных радионуклидов

Испытания 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,

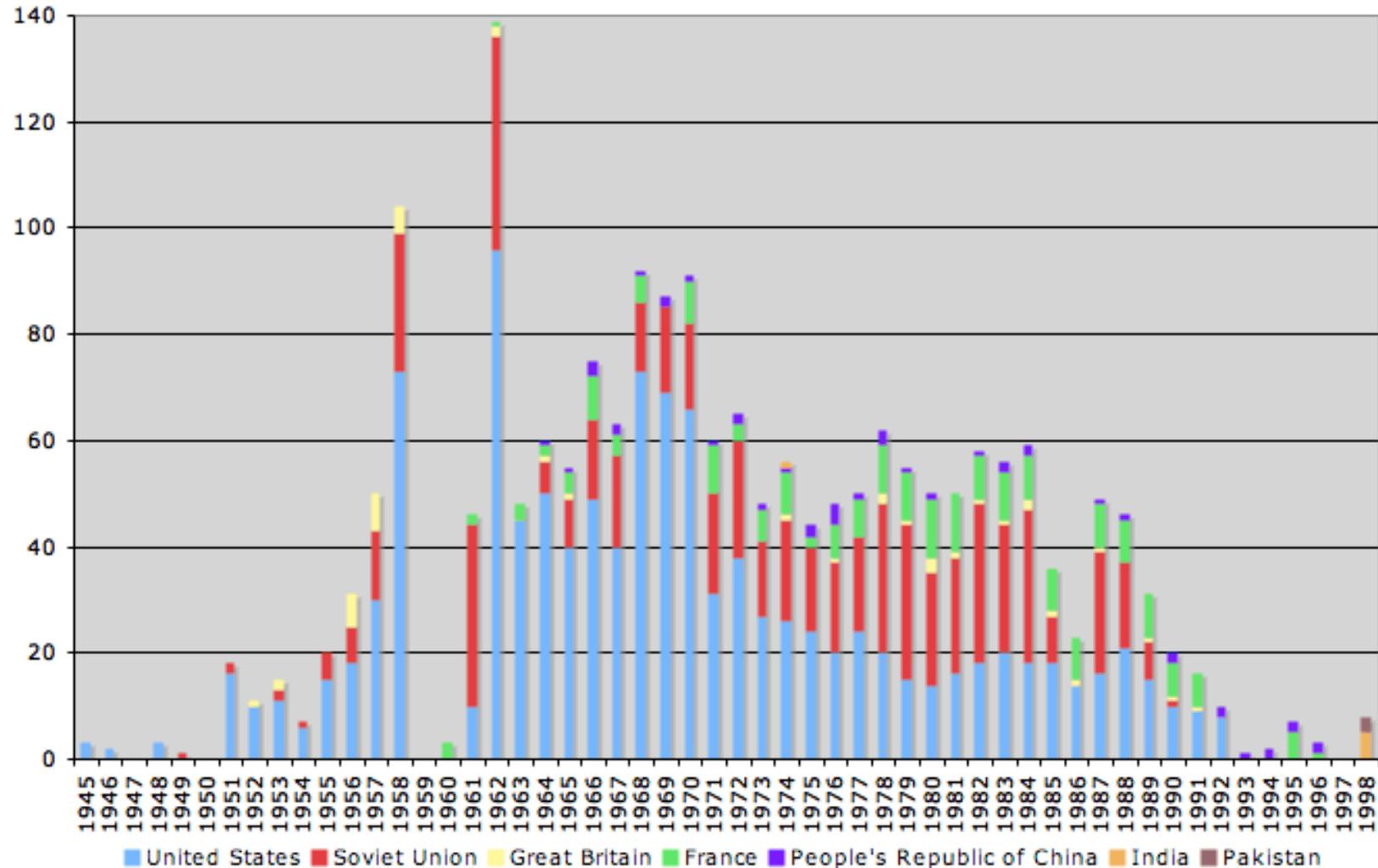
Ядерный топливный цикл,

Аварии на предприятиях ядерного топливного ц

Боеприпасы с обедненным ураном,

Испытания ядерного оружия (2300 взрывов)

Worldwide nuclear testing, 1945-1998



Семипалатинский испытательный полигон - 456 взрывов



Новоземельский испытательный полигон
(88 атмосферных, 39 подземных и 3 подводных ЯВ),

Маршалловы острова (1946-1958, 23 испытания),

Испытательный полигон в ш. Невада (86 атмосферных,
828 подземных),



Маралинга и Эму (южная Австралия, 9 взрывов),

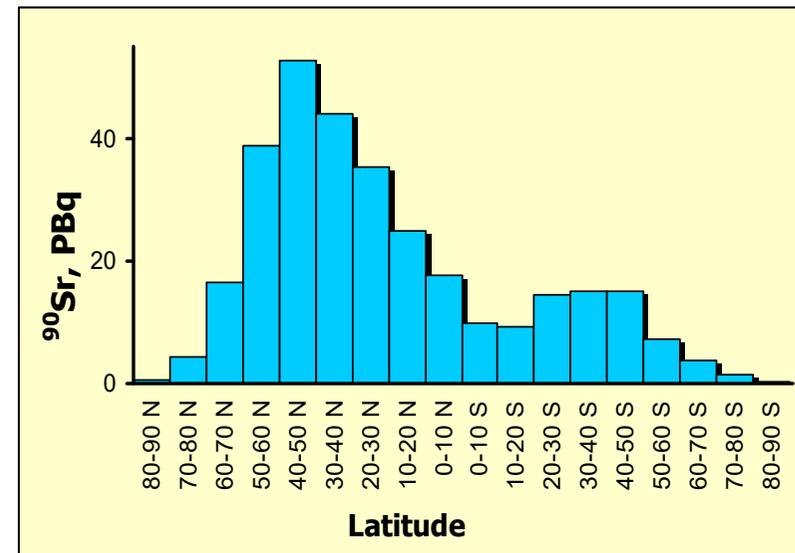
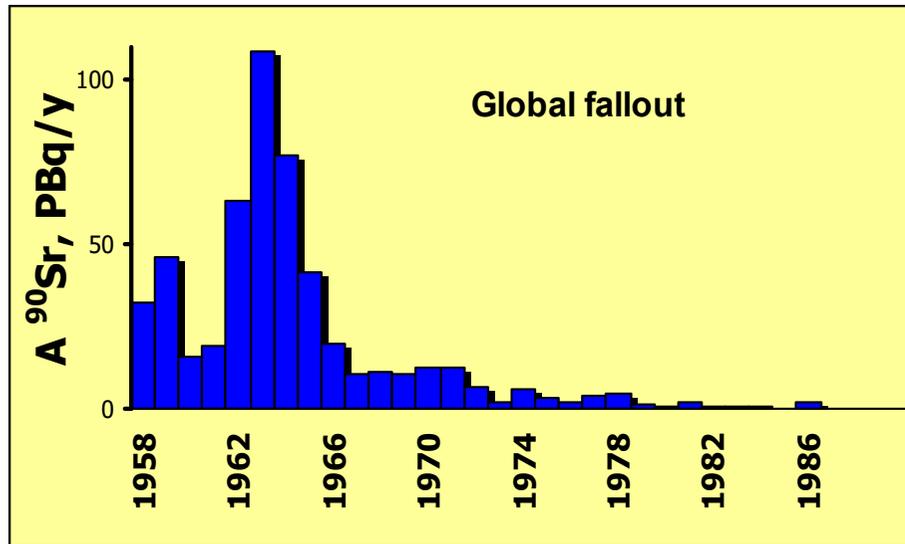


Фангатауфа и Муруроа
(Фр. Полинезия, 193 взрыва)



Лоп Нор (Китай, 22 взрыва)

ГЛОБАЛЬНЫЕ ВЫПАДЕНИЯ ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ



Monetti M.A. US Department of Energy Report EML-579. 1996.

<http://www.eml.doe.gov/publications/reports>

Сброс радиоактивных отходов в моря и реки



Европейские предприятия по переработке ядерного топлива: 1 – Селлафилд, 2 – мыс Аг, 3 – Доунрей.

Общая активность, сбросов за 1952 – 1994 гг. оценивается в:

39 ПБк ^3H ,

41 ПБк ^{137}Cs

6 ПБк ^{134}Cs

6 ПБк ^{90}Sr

120 ТБк ^{238}Pu

610 ТБк $^{239,240}\text{Pu}$

22 ПБк ^{241}Pu

540 ТБк ^{241}Am

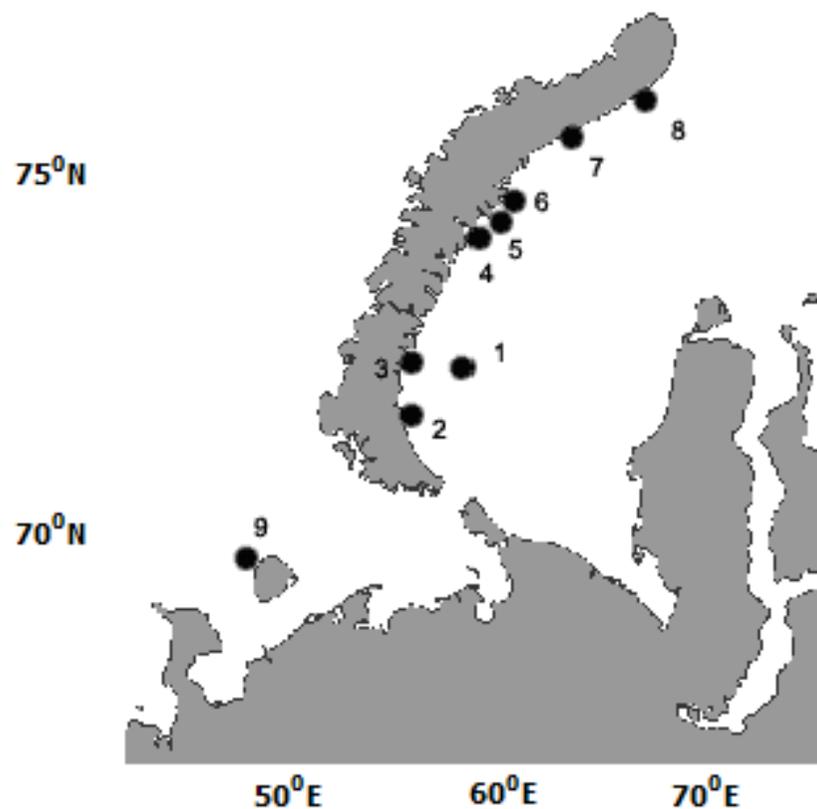
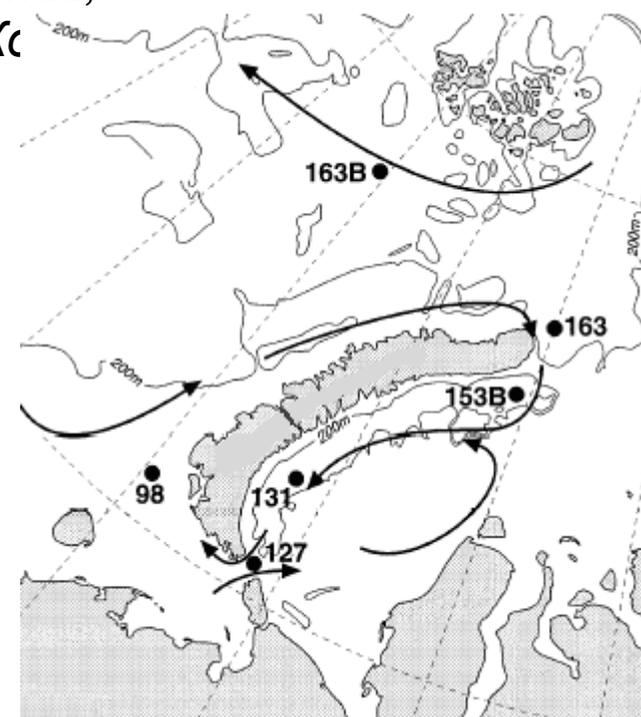


Схема расположения мест захоронения твердых РАО и контейнеров с РАО в Карском и Баренцевом морях:

- 1 – Новоземельская впадина,
- 2 – залив Абросимова,
- 3 – залив Степового,
- 4 – залив Цивольки,
- 5 – залив Ога,
- 6 – залив Седова,
- 7 – залив Благополучия,
- 8 – залив Течений,
- 9 – вблизи о. Кс



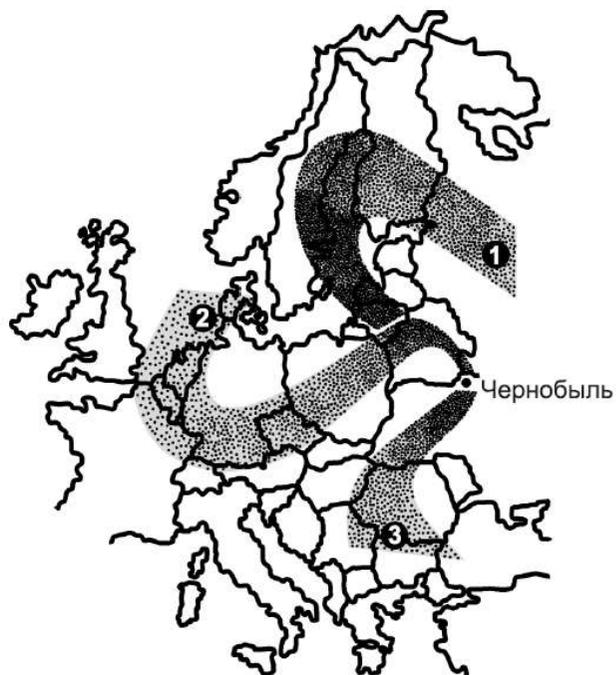
- **26 апреля, 1986**, ночь, 4-й блок Чернобыльской АЭС
- **Взрыв** или несколько взрывов
- Полное разрушение активной зоны ядерного реактора
- **Пожар**
- Выброс огромного количества радиоактивных газов, пыли и аэрозолей
- Предельно **высокое радиоактивное загрязнение** огромных территорий Украины, Белоруссии, России
- Радиоактивные пятна в Швеции, Польше, Германии и других странах

Несколько дней спустя (май, 1986)



Уменьшение суммарной активности в реакторе РБМК со временем

Время выдержки	Суммарная активность, ЭБк
0	680
1 час	300
1 сутки	180
10 суток	70
0,5 года	20
1 год	10
10 лет	2



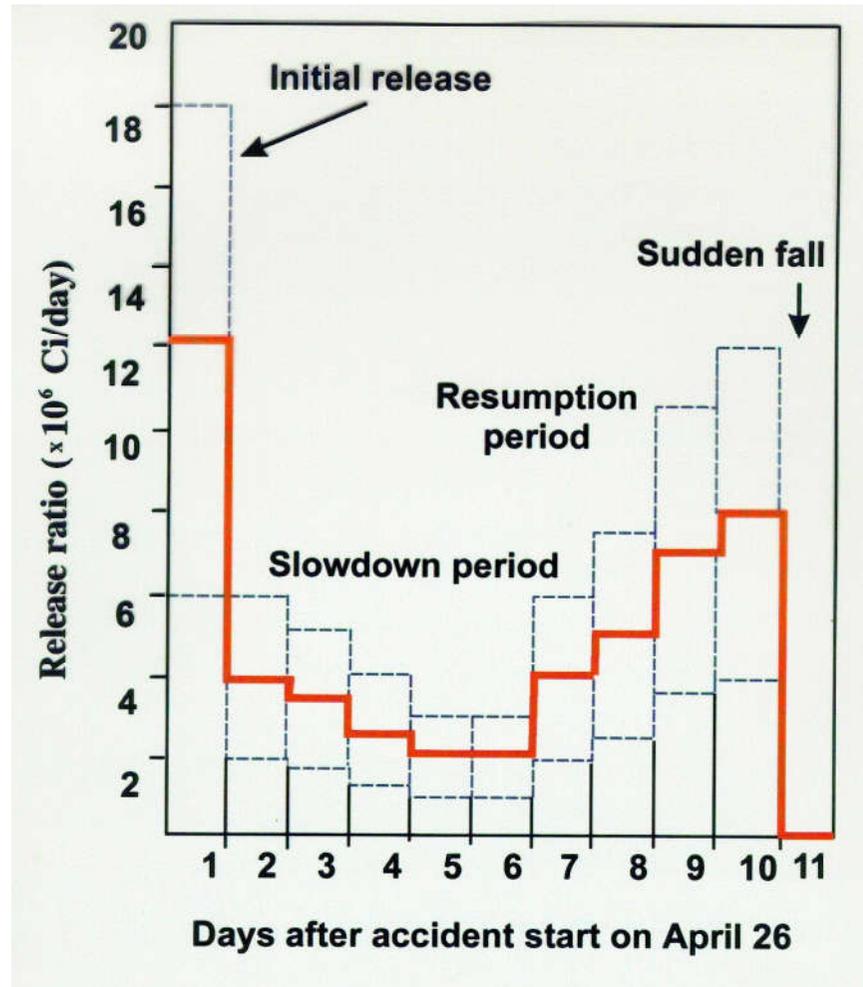
Доля радионуклидов, выброшенных в окружающую среду при аварии 4-го блока ЧАЭС

Радионуклид	Выброс, %	Активность, ПБк
РБГ (Ar, Kr, Xe)	90	24000
^{131}I	80	2600
^{90}Sr	10	38
^{106}Ru	3	84
^{134}Cs	15	120
^{137}Cs	15	83
^{144}Ce	0,3	14
^{241}Pu	0,3	1,7
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$	0,3	30

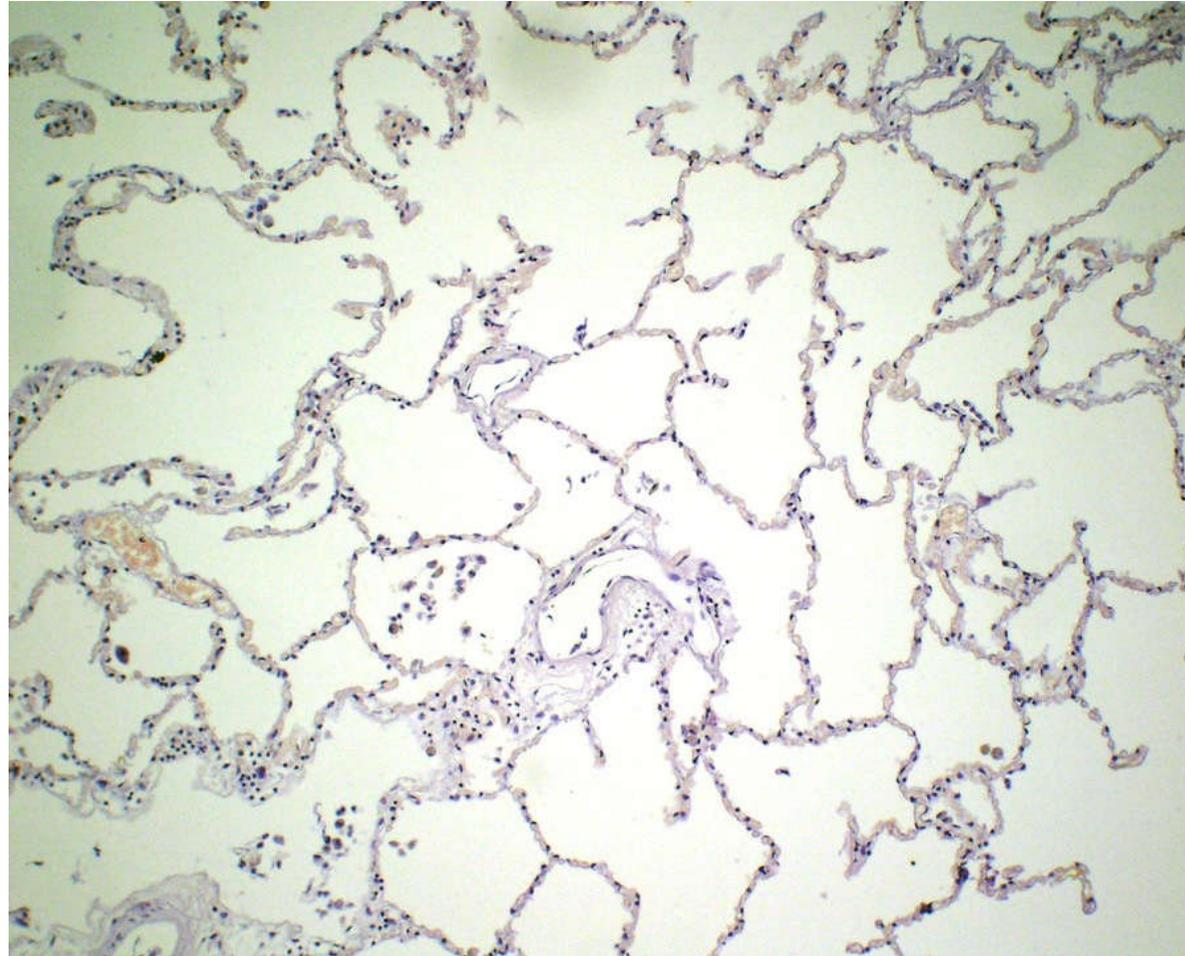
1- ночь 26 апреля,
 2- полдень 27 апреля,
 3- полночь 3 мая.

Динамика радионуклидного выброса в первые 11 дней

результаты измерений с вертолетов (опубликованы МАГАТЭ)



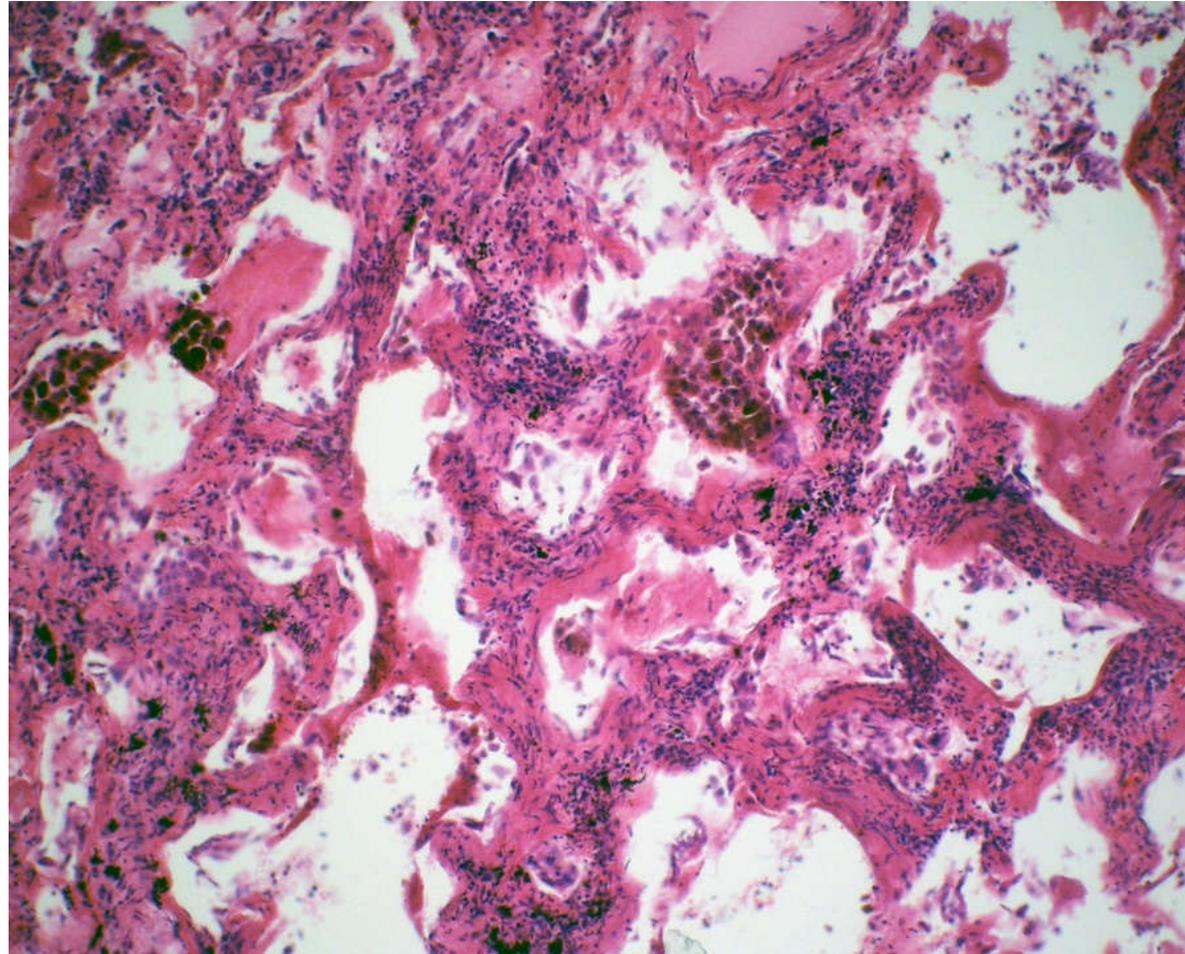
Легкие человека (норма)



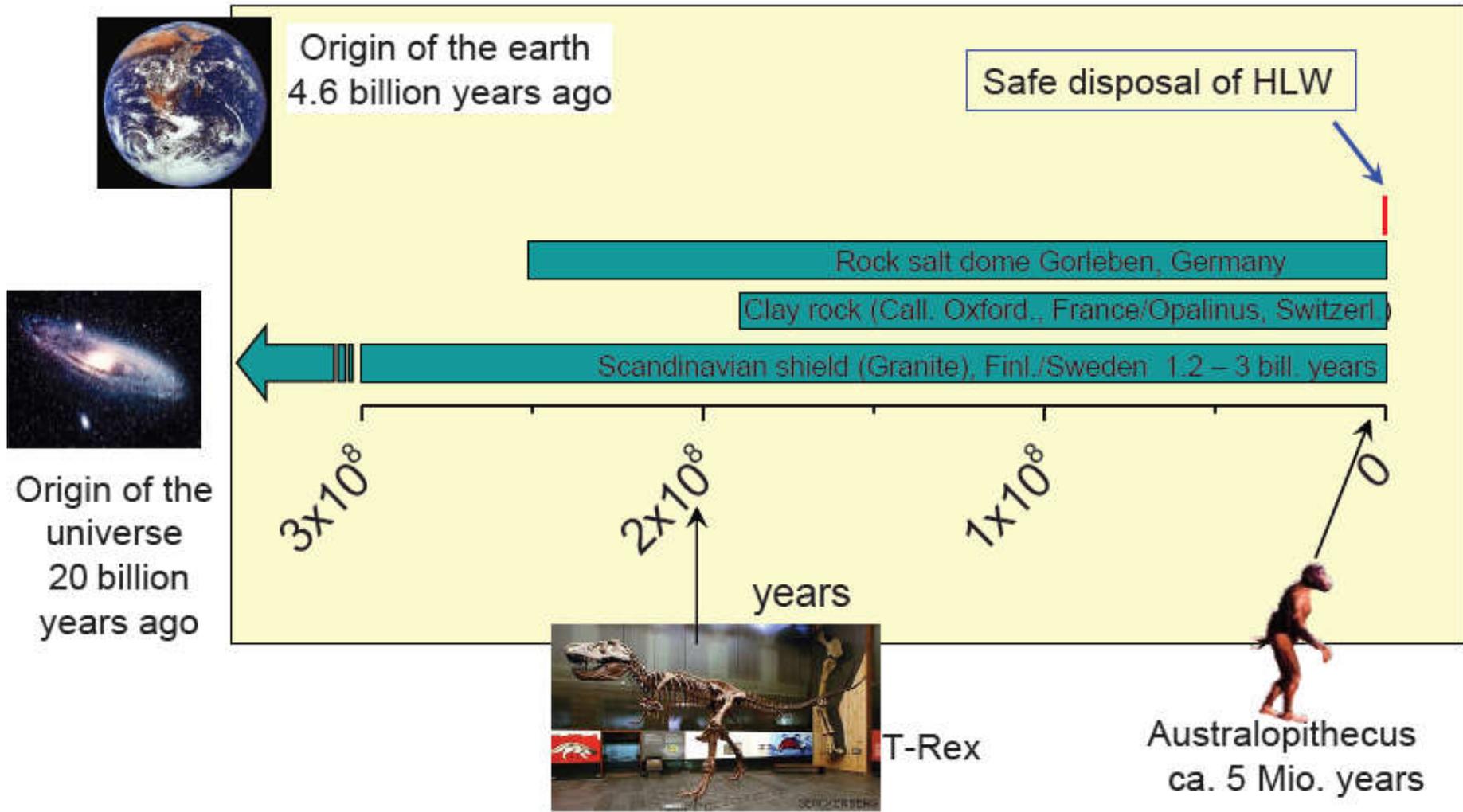
Радиобиологический Парадокс

Гистоавторадиограмма легких человека при поступлении в организм 1 микрограмма (1×10^{-6} грамма) плутония через 1 год после поступления.

Плутониевый пневмосклероз



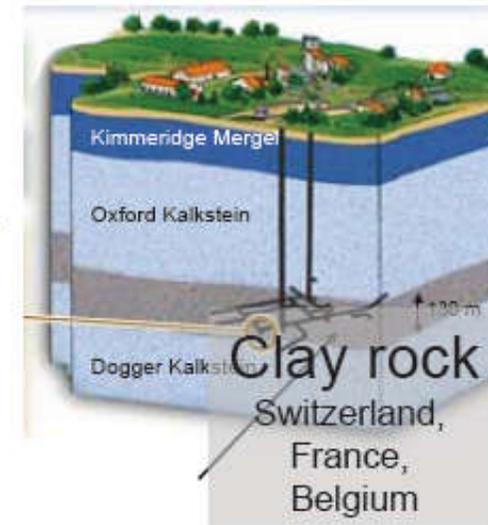
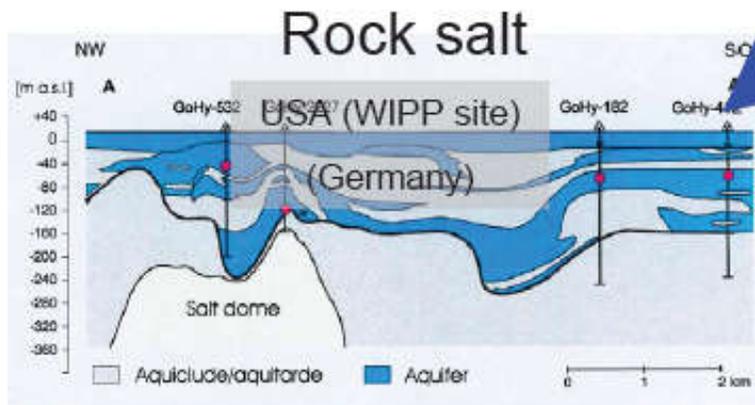
Relevant time scales



Захоронение РАО и/или ОЯТ



Disposal concepts



Геологическое захоронение РАО и/или ОЯТ

Различные геологические / геохимические условия

Граниты

условия

Туфы

восстановительные условия

Глины

Солевые формации

ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ

Глины



Switzerland,
Mont Terri (Opalinus Clays)

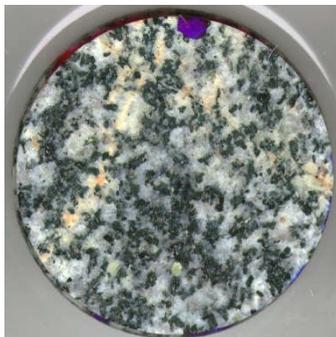


France,
Bure, Mudstone

Граниты



Switzerland,
Grimsel Test Site



Россия,
Granite samples from Niznekansk Rock Massif near Karasnoyarsk

Вулканические туфы



Yucca Mountain, USA,
project stopped in 2010

Солевые формации



Germany,
Gorleben, (moratorium)

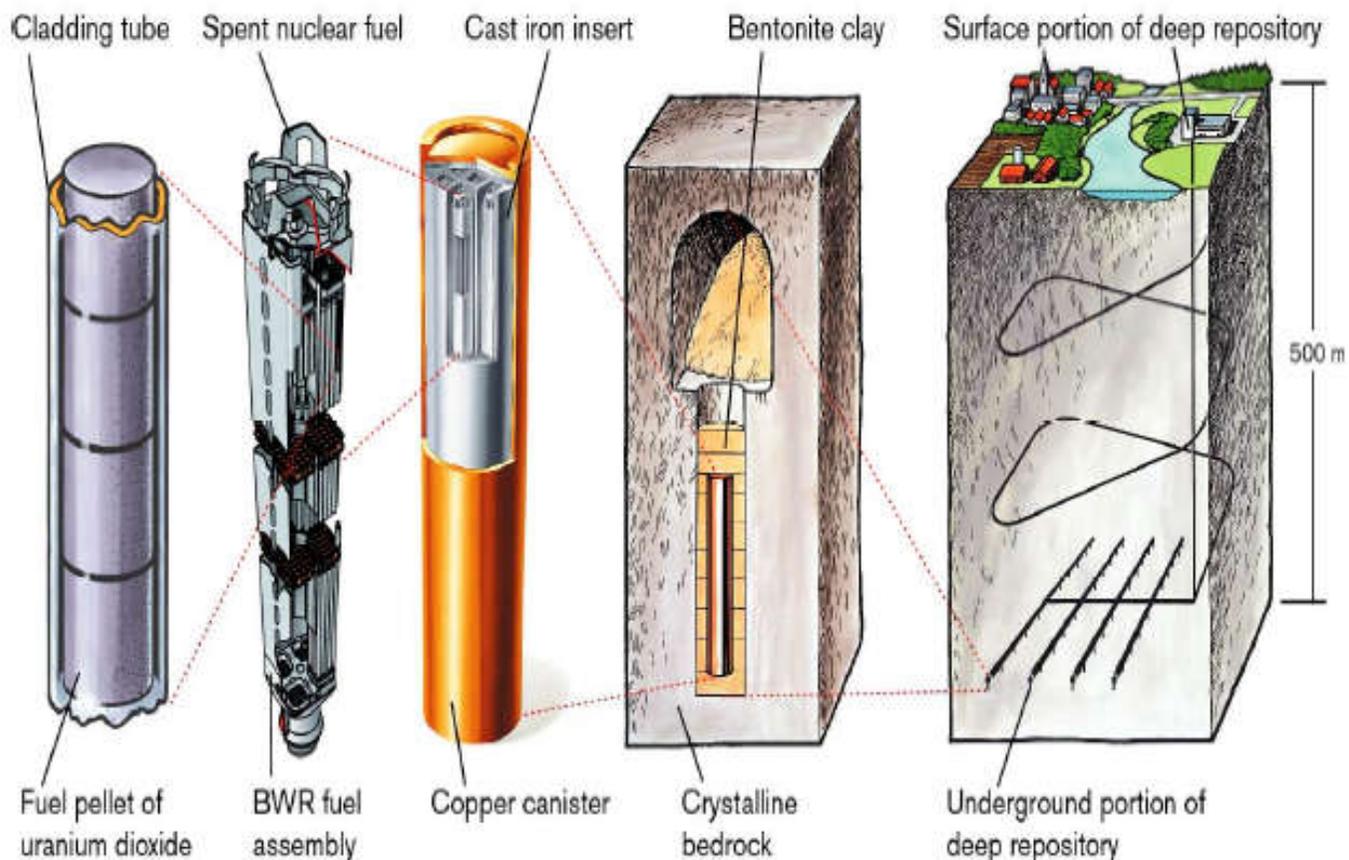
Многобарьерная система при захоронении РАО/ОЯ

Инженерные барьеры:

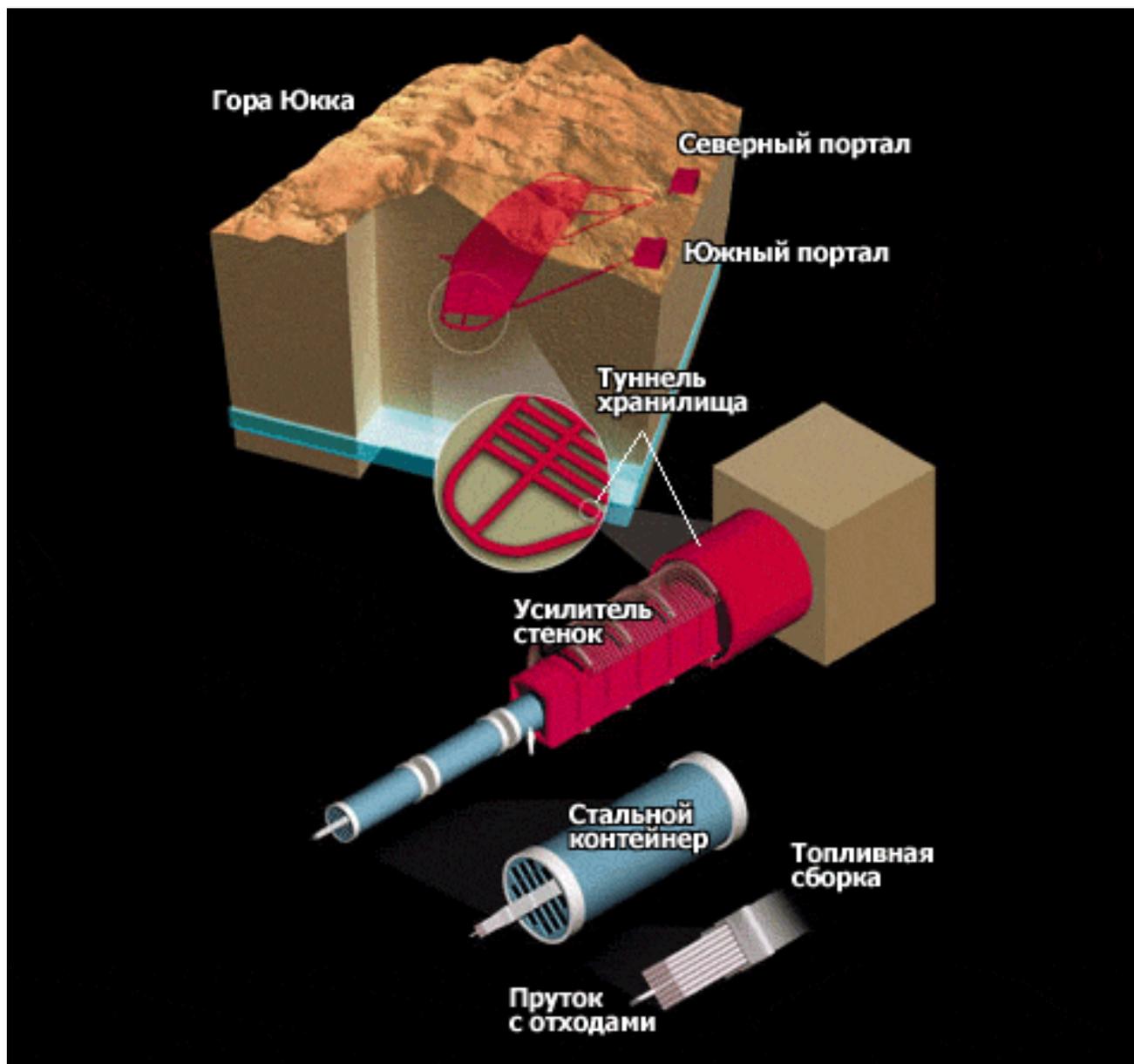
- матрица, в которую включены РАО (стекла, керам)
- упаковка / контейнер
- буфер (глины, цементы, ...)

Геохимические барьеры: - горная порода

Малонаселенное место, вне доступа подземных вод

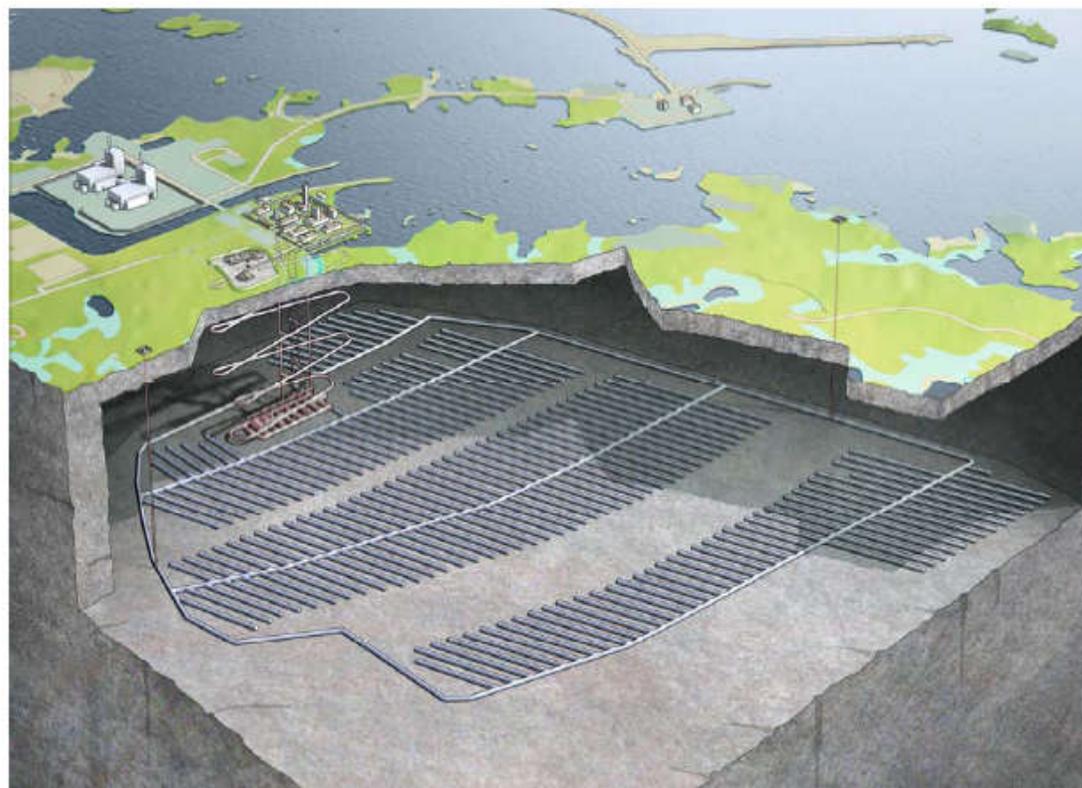


Хранилище ОЯТ (США) Yucca Mountain, проект закрыт в



Прямое захоронение ОЯТ – открытый ЯТЦ

Шведский подход:
Канистры из меди 50 мм

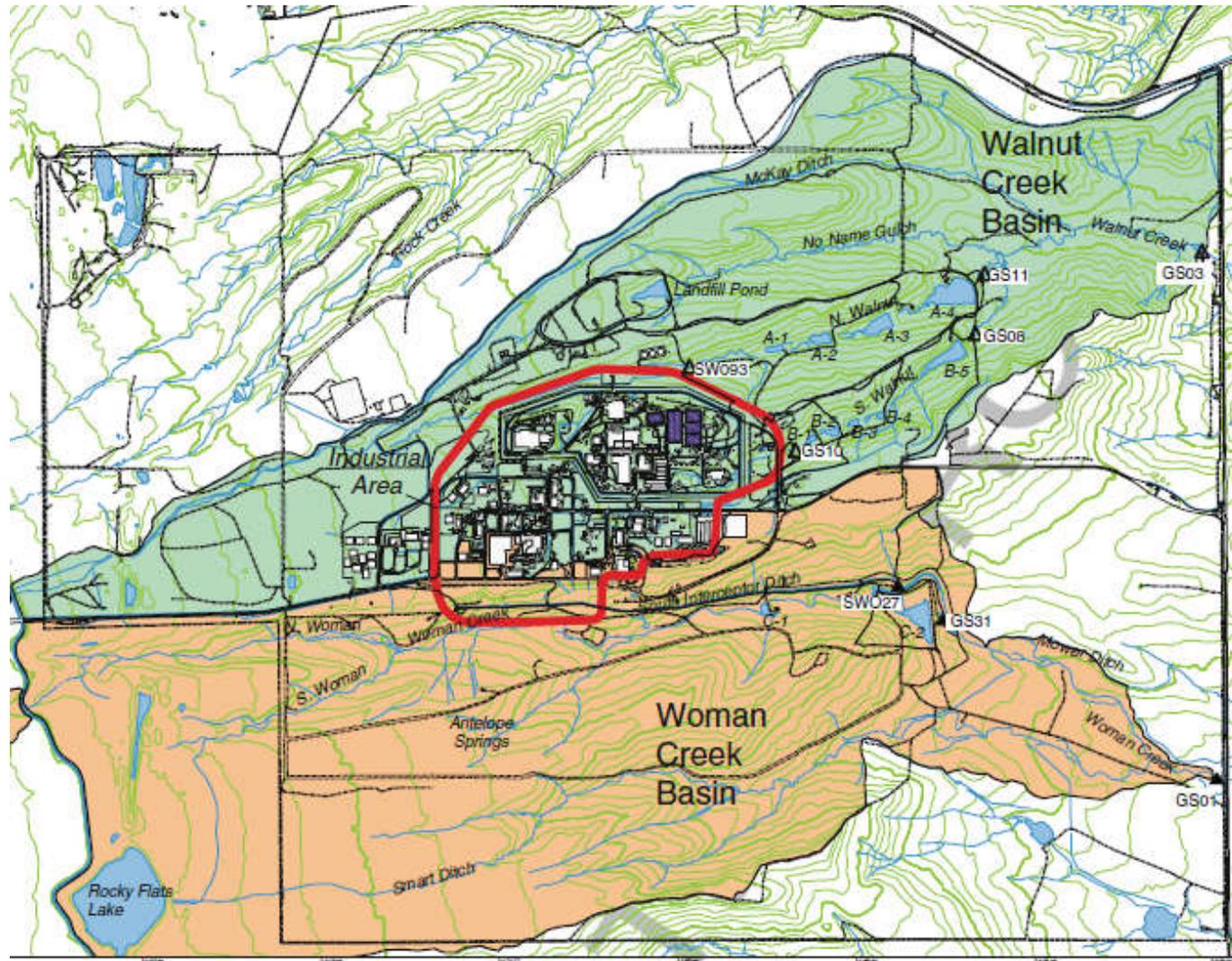


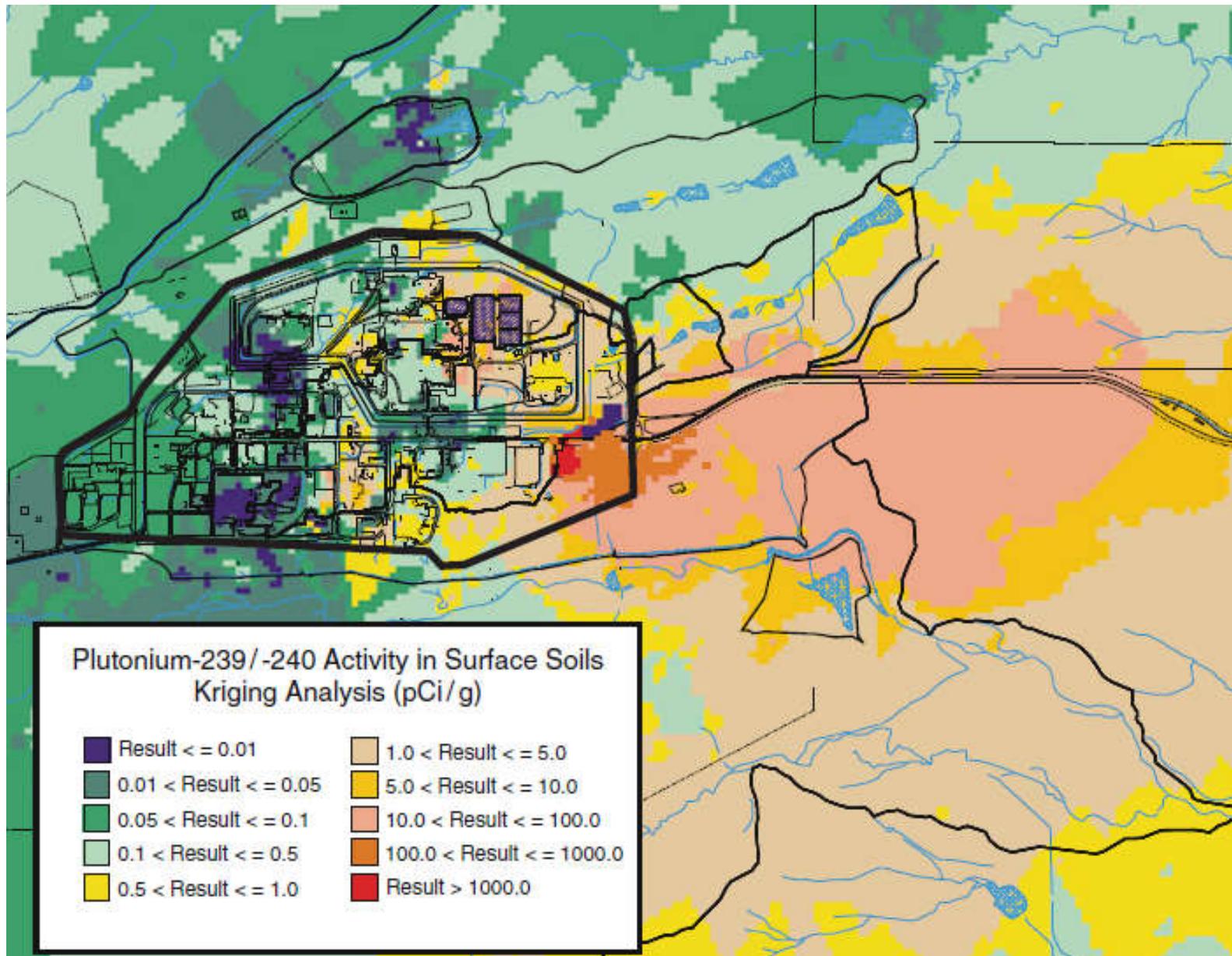
Источник: SKB

Rocky Flats Environmental Technology Site (RFETS)

1995





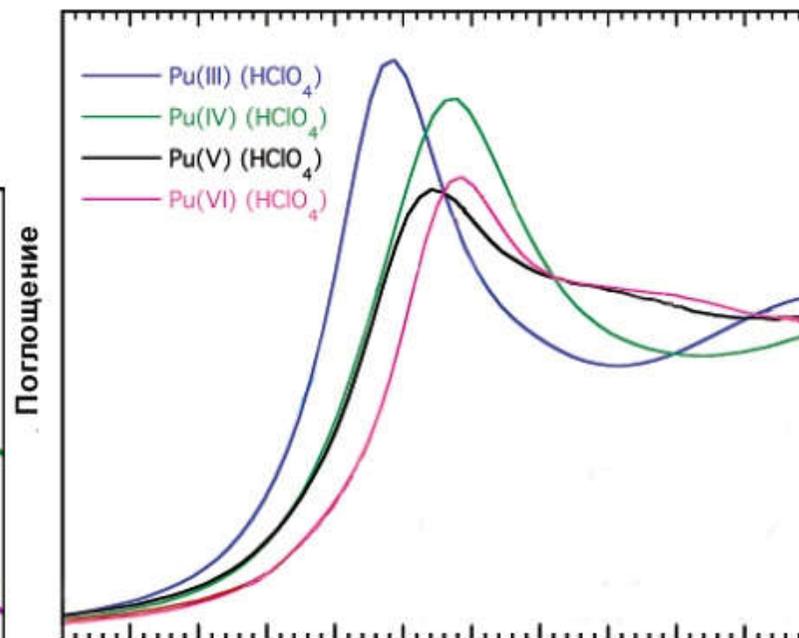
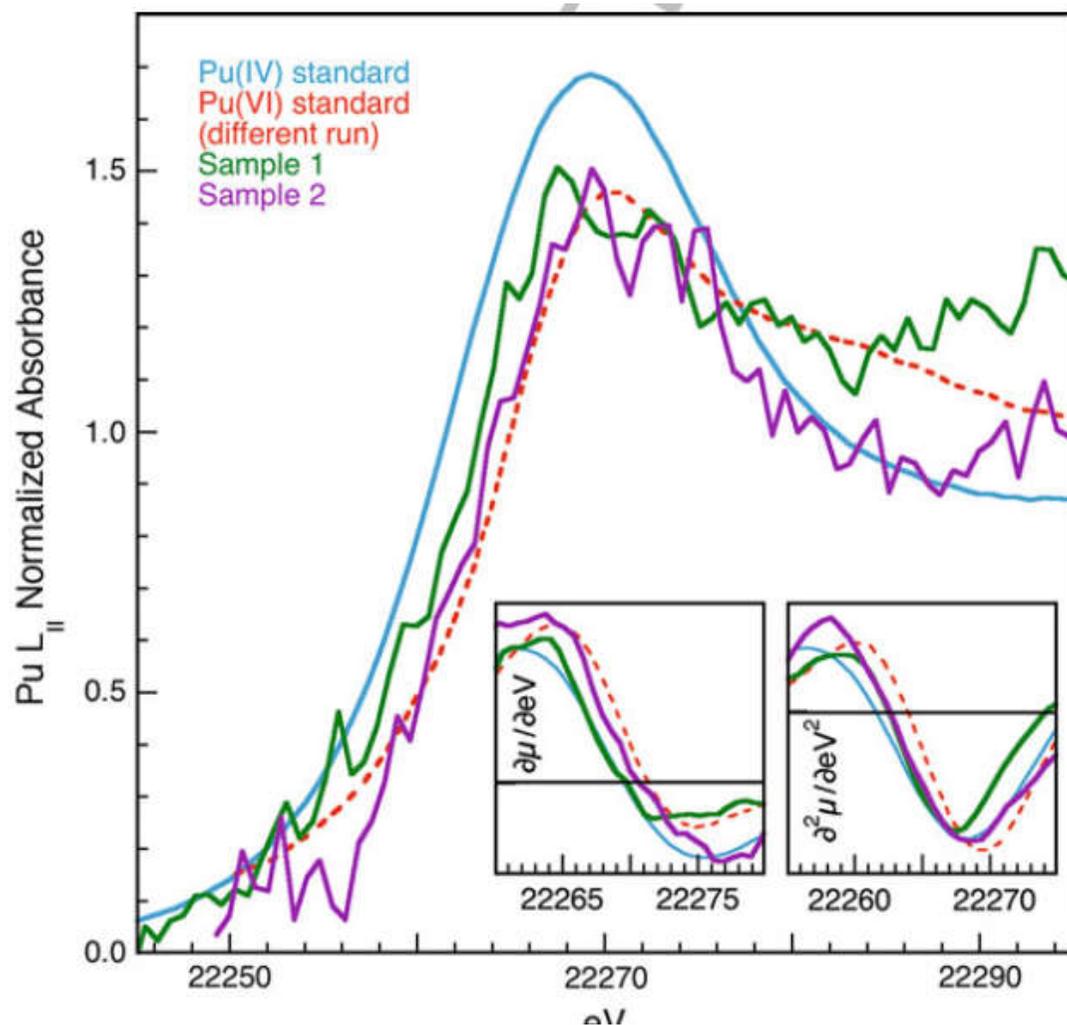


Определение физико-химических форм плутония

Спектральные и микроскопические методы:

XPS, EXAFS, XANES, ...

SEM, TEM, XRF, ...



Некоторые современные спектральные и микроскопические методы определения физико-химических форм:

Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) – степень окисления,

Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAFS) – XANES и EXAFS – степень окисления, локальное атомное окружение (координационные числа, длины связей, факторы Дебая),

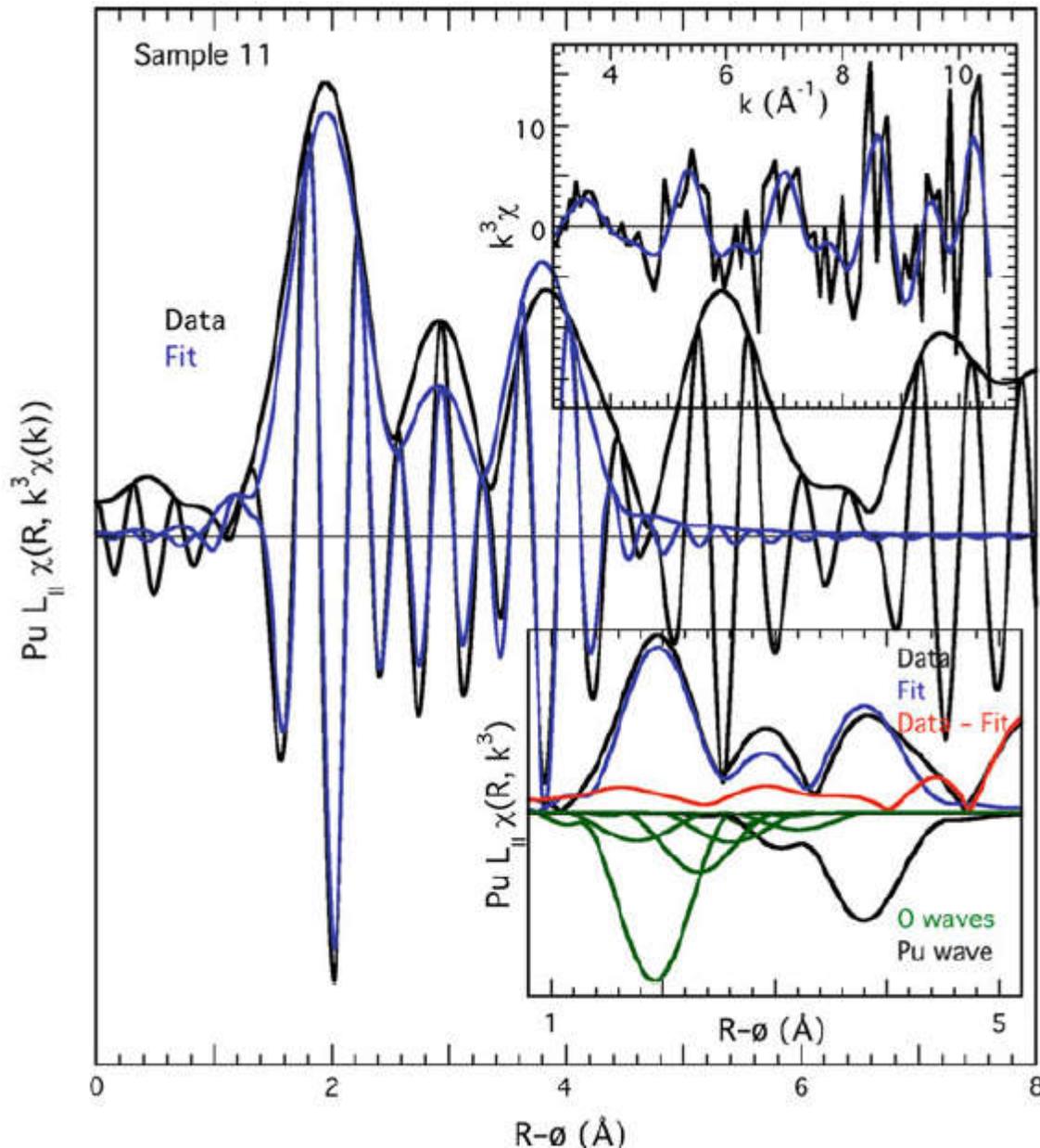
Рентгенофлуоресцентная спектроскопия (XRF) – локальное концентрирование (элементные карты),

Сканирующая электронная микроскопия с рентгеновским микроанализом – морфология частиц, локальное распределение основных элементов,

Просвечивающая электронная микроскопия с дополнительными опциями – распределение элементов с атомным разрешением, нанодифракция, степень окисления.

МГУ, Курчатовский Институт

EXAFS отдельных частиц, содержащих плутоний



Плутоний содержится
в оксидных частицах
типа PuO_{2+x}

Крайне высокая
стабильность и
кинетическая
инертность



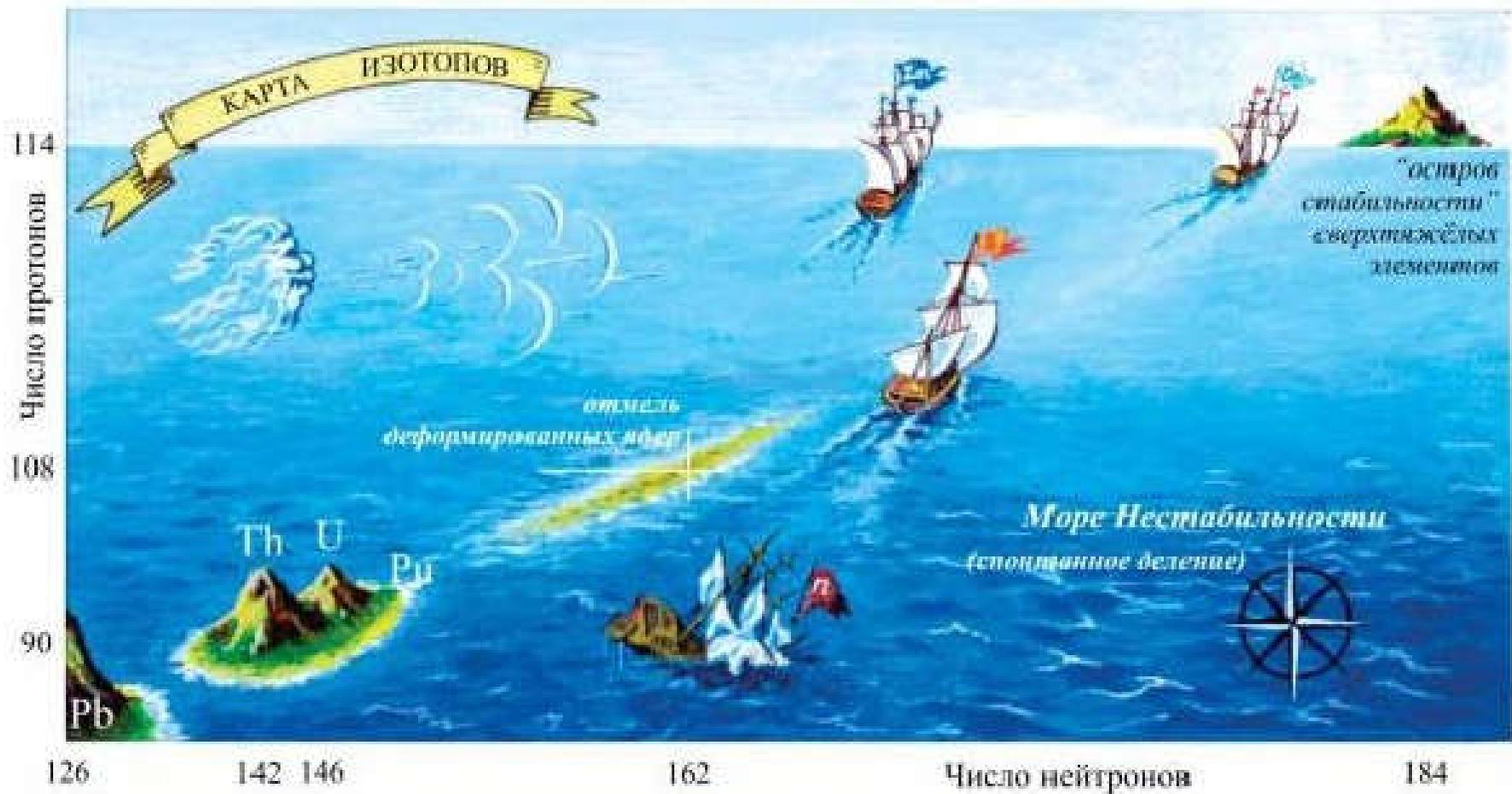
Подходы к реабилитации

Механический сбор
поверхностной почвы

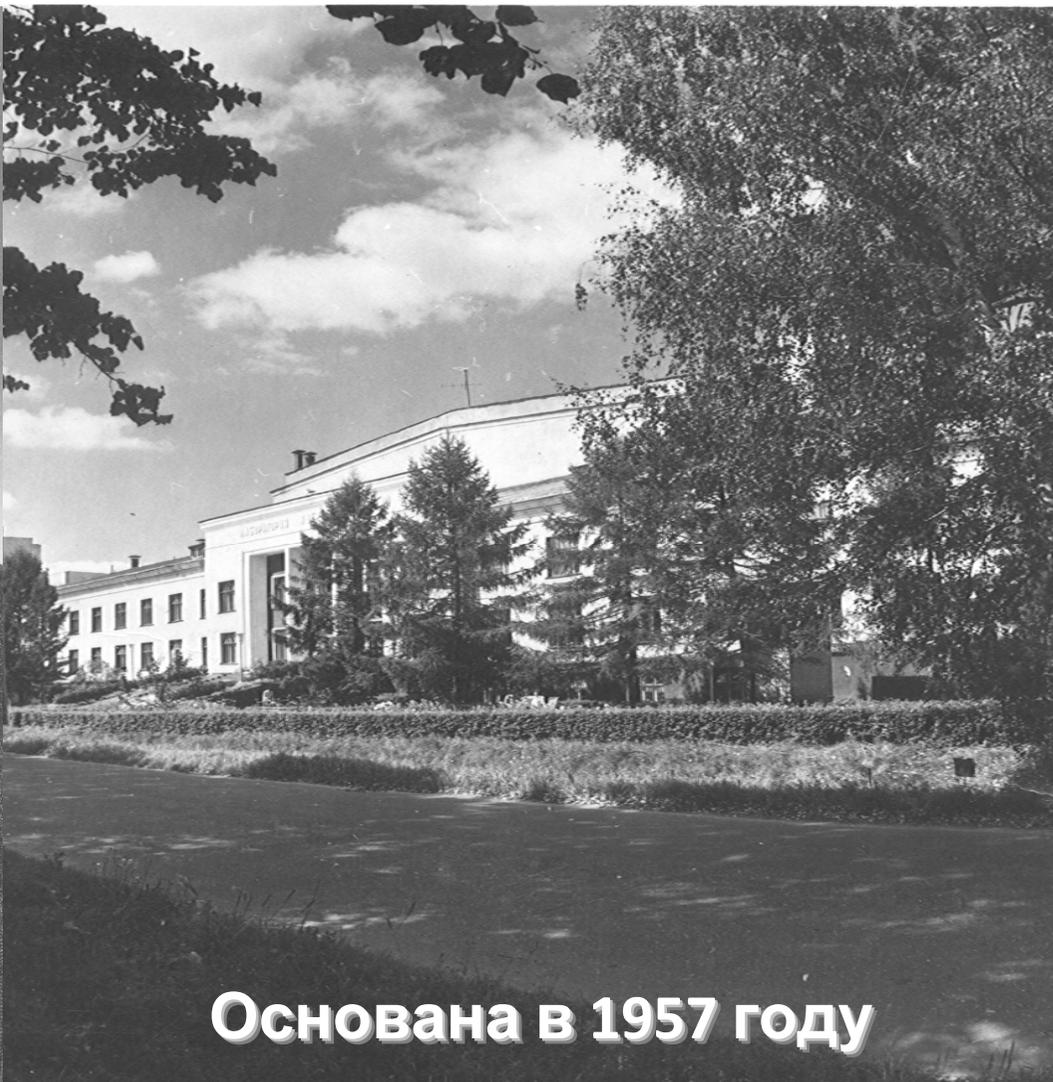


В 1995 US DOE оценила реабилитацию Rocky Flats в сумму \$37 млрд в течение 70 лет. В 1996, DOE и Kaiser-Hill начали работы по реабилитации, которые были завершены к концу 2006 года, потратив \$7 млрд.

Поиск острова стабильности



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ им. Г.Н.ФЛЕРОВА



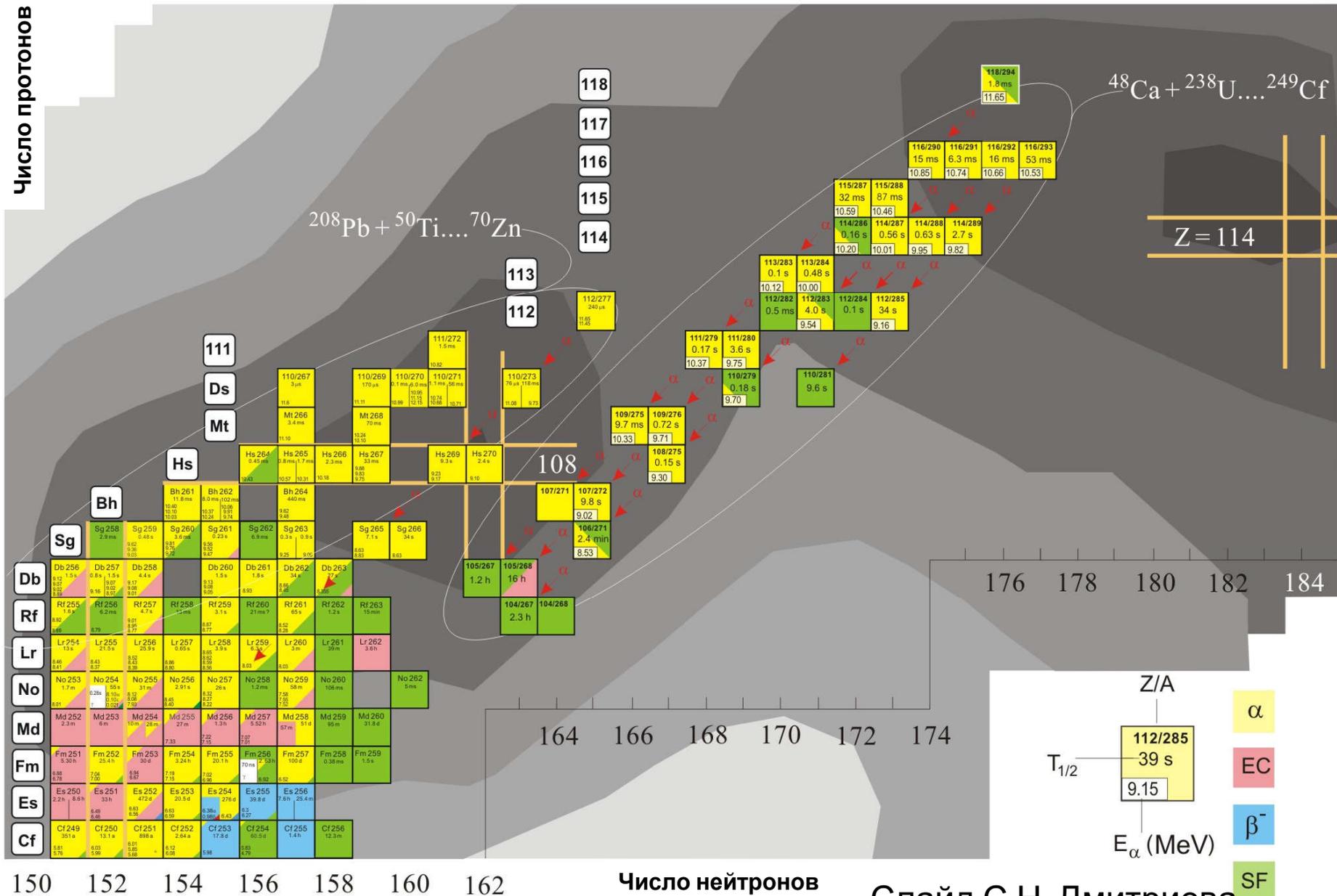
Основана в 1957 году

ЦИКЛОТРОН У400



Слайд С.Н. Дмитриева

КАРТА НУКЛИДОВ

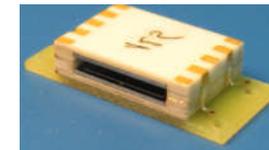
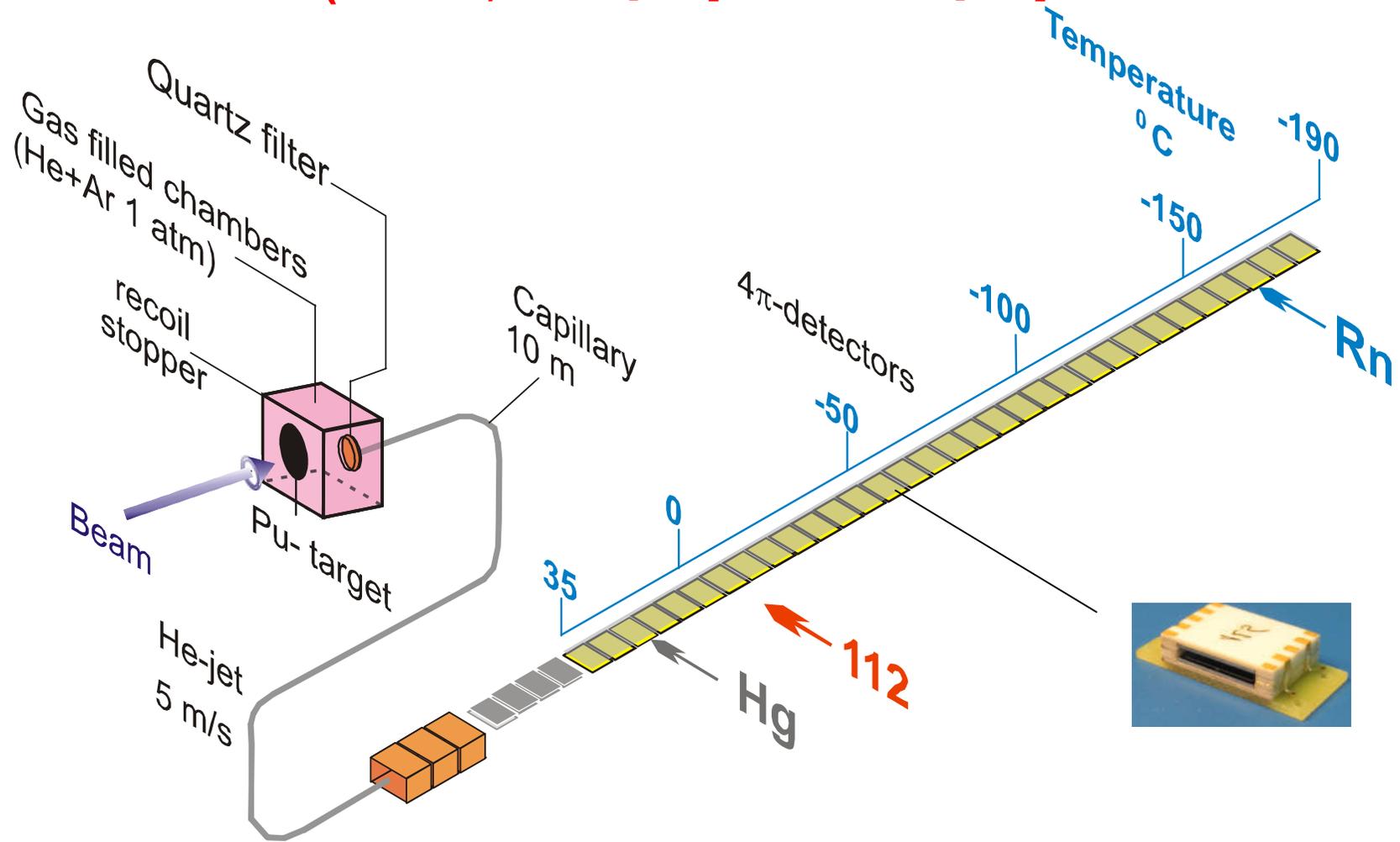


Compound Hg(Au)

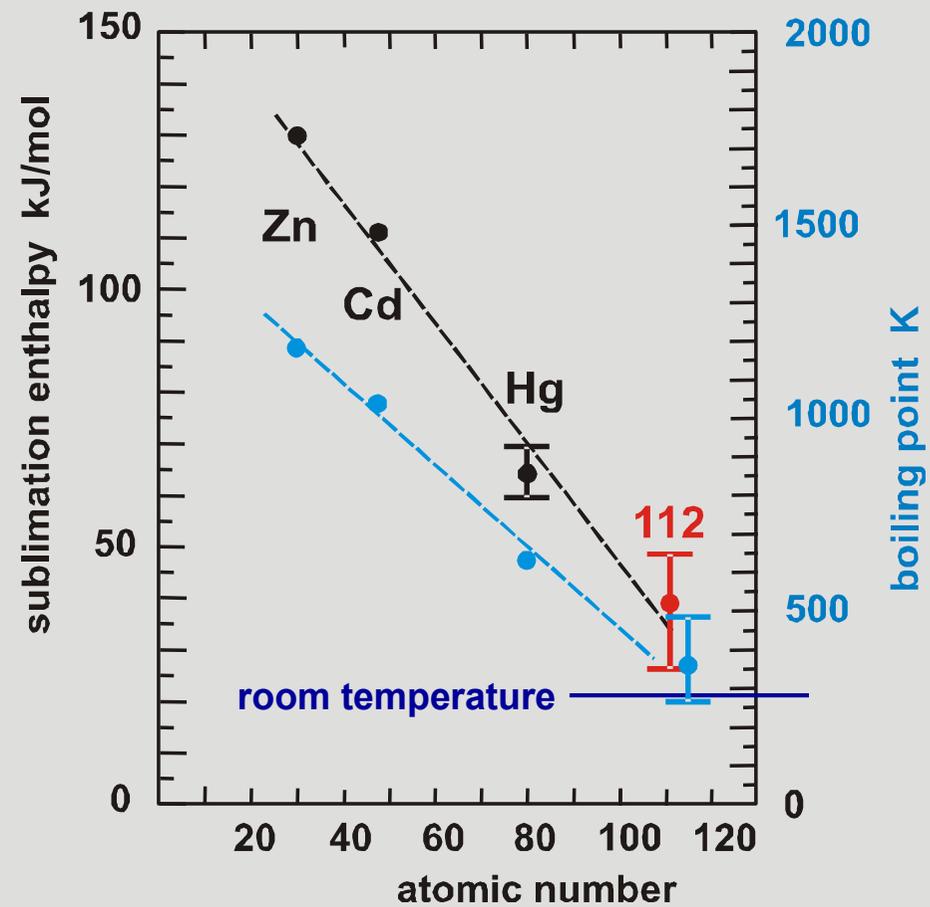
Reaction:



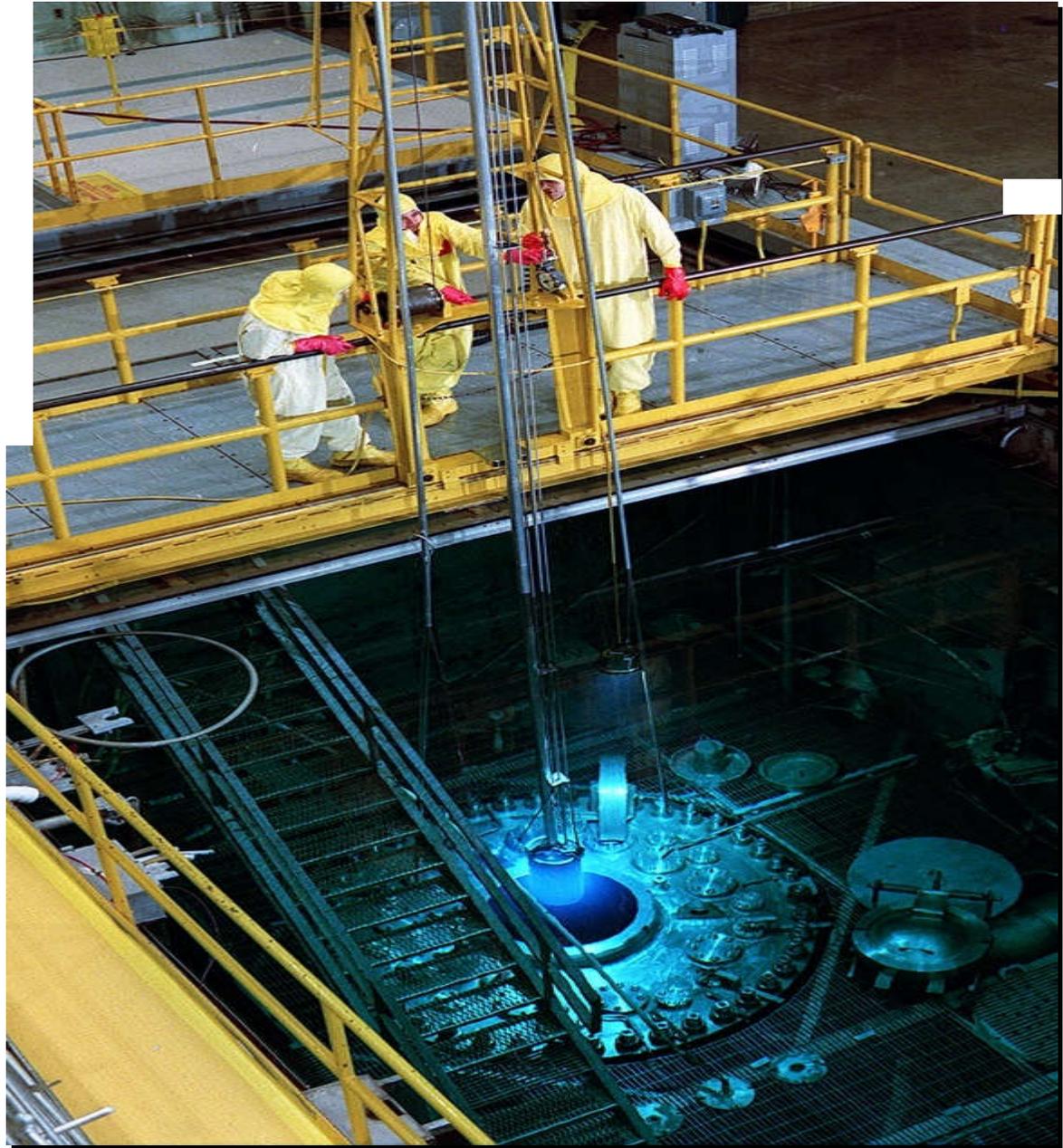
and 112(Au)



Element 112 is a noble metal – like Hg



The Bk-249 was produced at ORNL (USA) by irradiation: of Cm and Am targets for approximately 250 days by thermal-neutron flux of 2.5×10^{15} neutrons/cm²·s in the HFIR (High Flux Isotope Reactor).



Фабрика сверхтяжелых элементов

