

**Радиоактивность и радиационная  
безопасность**  
*Проблемы Уральского Региона*

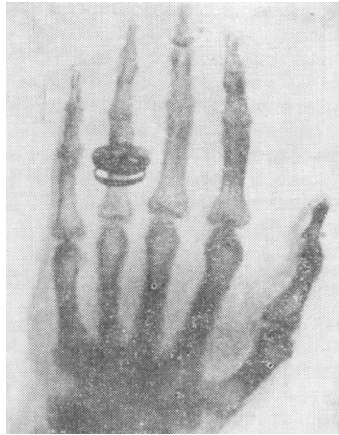


*В.М. Жуковский*

**УрГУ. 620083. Екатеринбург, пр.  
Ленина, 51.**

**[vmz13531@pm.convex.ru](mailto:vmz13531@pm.convex.ru)**

# ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ



**X- лучи, 1895**

**Вильгельм Конрад  
Рентген**

*1-я Нобелевская премия по физике  
(1901)*



**Антуан  
Анри  
Беккерель**

**Открытие Р/А, 1896**

**Мария  
и Пьер  
Кюри**

*Нобелевская премия по физике  
(1903)*



# Аппаратура Рентгена

1895 *Вильгельм Конрад Рёнтген (1845-1923)*

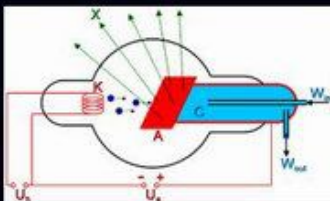
ХИМИЯ XX ВЕКА



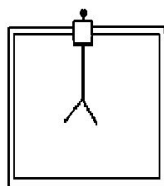
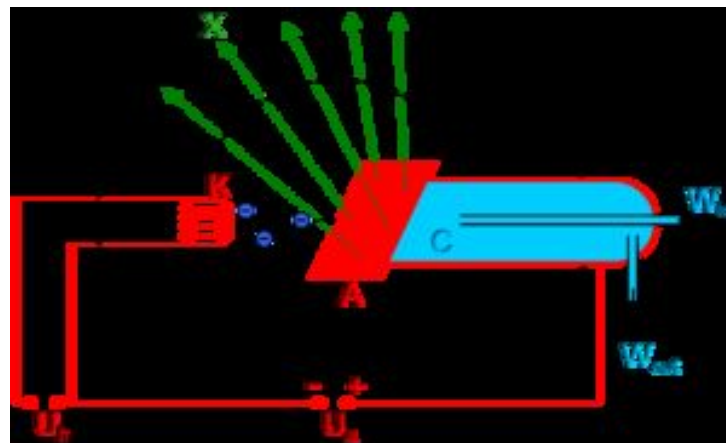
1901



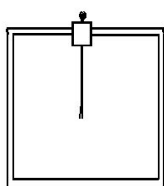
Открытие X-лучей



При падении катодных лучей на антикатод возникает новый вид излучения – X-лучи (рентгеновские лучи), которые обладают высокой проникающей способностью и вызывают флюоресценцию различных веществ

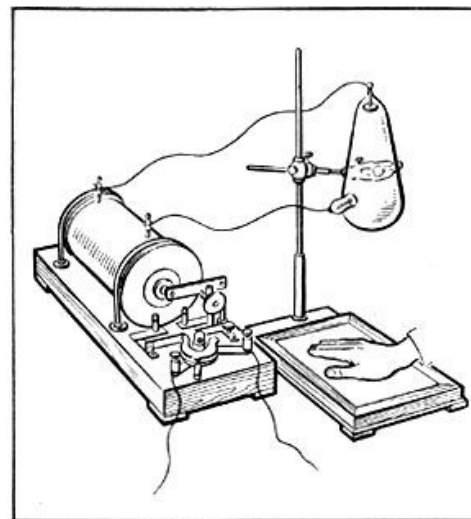


Заряжен



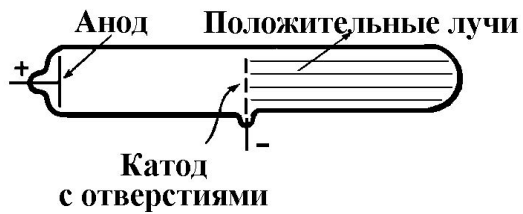
Разряжен

Электроскоп

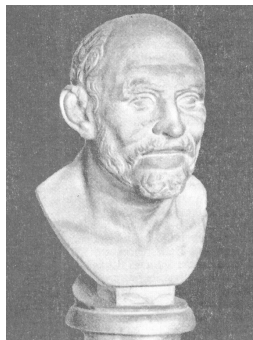
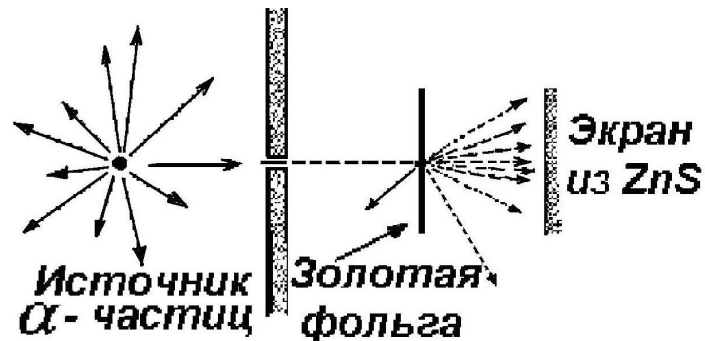


# Ученые

## Разрядная трубка



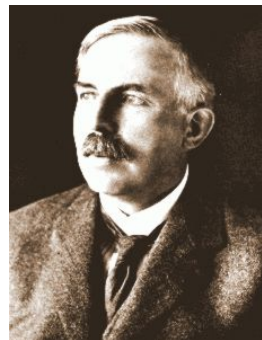
## Схема опыта Резерфорда



Демокрит



Фредерик Содди



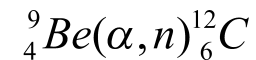
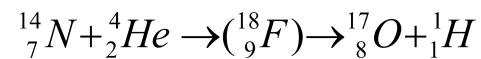
Эрнст Резерфорд



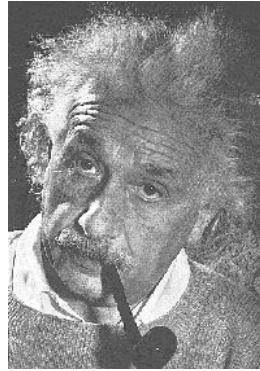
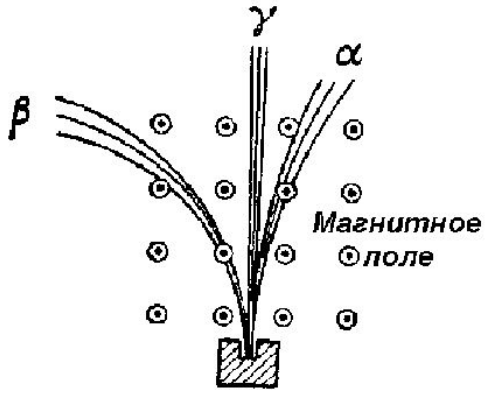
Джеймс Чадвик



Д.И. Менделеев



# ПОСЛЕДСТВИЯ



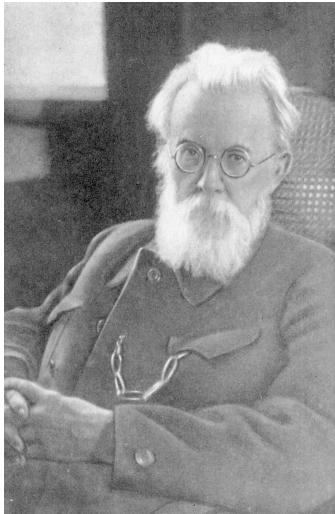
α-, β- и γ-излучения в магнитном поле

А. Эйнштейн

А. Белый

## Революция в научном мировоззрении:

- Крах концепции неделимости атомов.
- Крах представлений о неизменяемости химических элементов.
- Установление генетической связи между отдельными химическими элементами,
- Единство химической материи Вселенной.
- Открыт принципиально новый и мощный источник энергии (атомной).
- Создание квантовой механики, теории относительности и др. новых теорий.
- Единство вещественной и полевой форм материи ( $E=mc^2$ ).
- Действие ионизирующих излучений на живые организмы. • Этика науки.



- Радиогеоология и разведка ресурсов.
- Создание научных структур.
- Поддержка молодых ученых
- Формулировка этических принципов.
- Просвещение власть предержащих и общества.

***В.И. Вернадский (1863-1945)***

**Радиоактивные семейства:**

Th-232,  $t_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$  лет, конечный продукт Pb-208;

U-238,  $t_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$  лет, конечный продукт

~~U-235~~,  $t_{1/2} = 7 \cdot 10^8$  лет, конечный продукт Pb-207

**Роль радия:** Ra-226, полураспад -  $t = 1622$  г.

- Ионизирующие излучения  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .
- Строение атомных ядер и ядерные реакции:
- $N + \alpha \rightarrow O + p$  (Резерфорд -1919),  $Be + \alpha \rightarrow C + n$  (Чедвик-1932)

# ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

- $Al + \alpha \rightarrow P^* + n$ ,  $P^* \rightarrow Si + (e^+) -$  И. и Ф. Жолио-Кюри;
- $Al + n \rightarrow Na^* + \alpha$ ;  $P + n \rightarrow Si^* + p$ . - Э. Ферми.
- $U-235 + n \rightarrow$  осколки деления + (2-3) n. - О.Ган и Ф.Штрассман.



И.Ж. Кюри



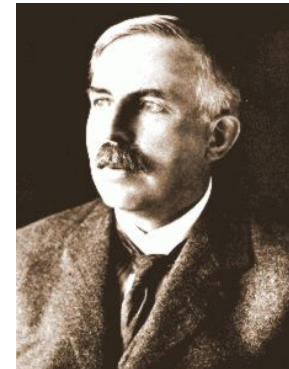
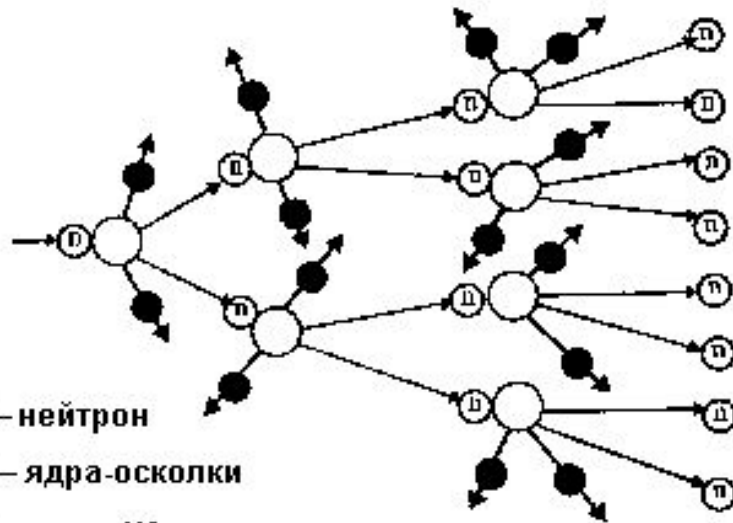
Ф.Ж. Кюри



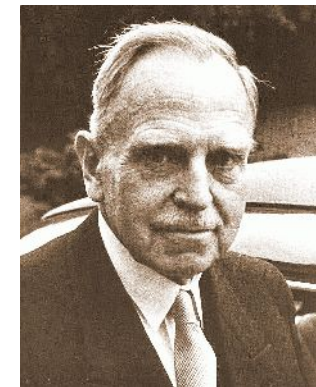
Э. Ферми



Л. Мейтнер



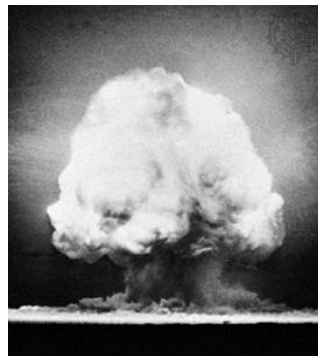
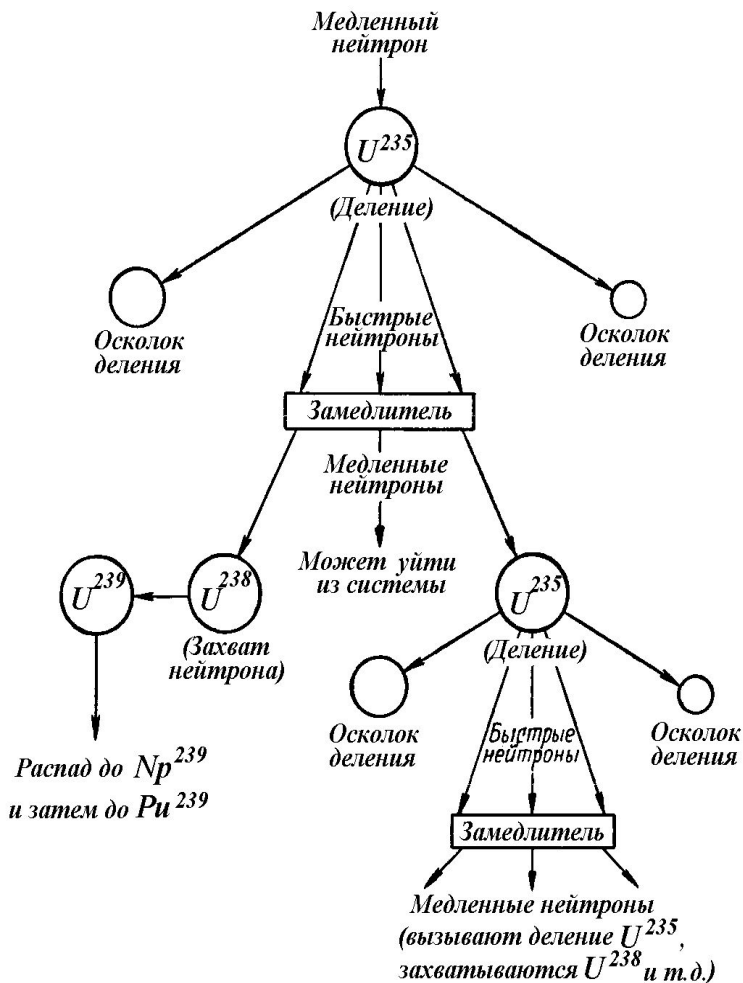
Эрнст Резерфорд



Отто Ган.

# Первый реактор и первая АБ:

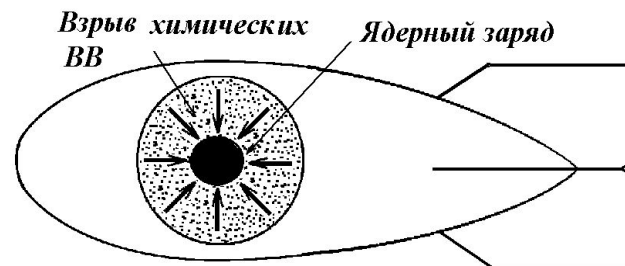
- Письмо А. Эйнштейна - Ф.Д. Рузвельту 02.08.1939;
- Пуск первого ядерного реактора – Э. Ферми 02.12.1942 - Чикаго;



Первое испытание атомной бомбы 16.07.1945, Аламагордо



АБ «Малыш», сброшена на Хиросиму (06.08.1945).



АБ «Толстяк», сброшена на Нагасаки (09.08.1945).

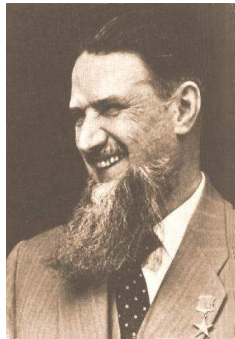


# Атомная программа СССР

- Письмо Г.Н. Флерова – И.В. Сталину – апрель 1942 г;
- Сведения от Дж.Кэрнкросса, Кл. Фукса, Б.Понтекорво;
- Назначение И.В. Курчатова научн. рук. Программы –1943 г;



Г.Н. Флеров



И.В. Курчатов



А.И. Алиханов



И.К. Кикоин



Л.А. Арцимович



Ю.Б. Харитон



К.И. Щелкин

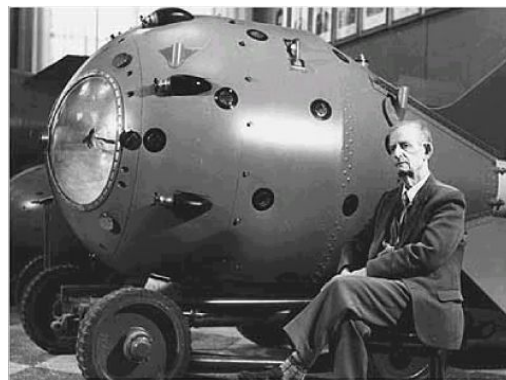


Нач. ПГУ  
Б.Л. Ванников



А.П. Завенягин

Ю.Б. Харитон с макетом бомбы РДС-1

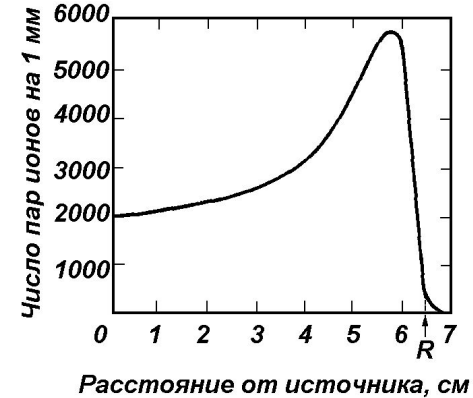
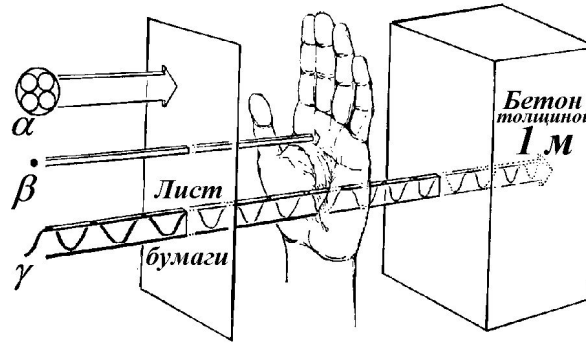
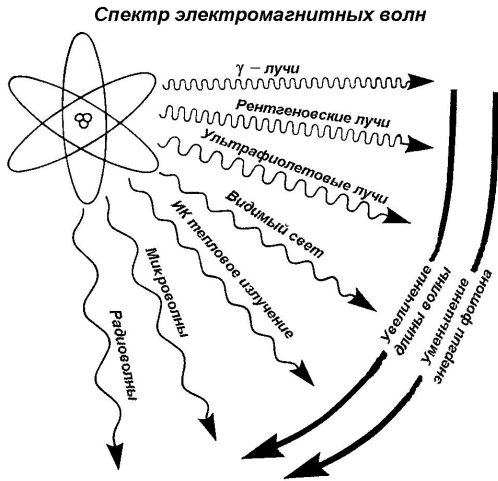


Испытание - Семипалатинский полигон 29.08.1949



# Ионизирующие излучения и дозы облучения

- Типы излучений:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$   $n$   $p$  тяжелые ионы



## Поглощение различных типов излучений

## Пробег $\alpha$ -частиц в воздухе

Активность:  $A = -dN/dt = \lambda N$   $t_{1/2} = 0,693/\lambda$   $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

Поглощенная доза (D): грей (Гр) = 1 Дж/кг или  $1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$ .

1 рад = 100 эрг/г  $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$   $5 \text{ Гр} = LD/2$

Эквивалентная доза (H):  $H = W_R D_R$

Излучение типа R:	$\gamma$	$\beta$	p	n(медл.)	n(быстр.)	$\alpha$
$W_R$ - рад. весовой коэф:	1	1	10	3	10	20

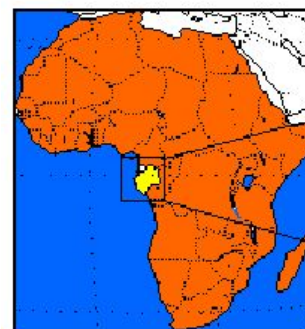
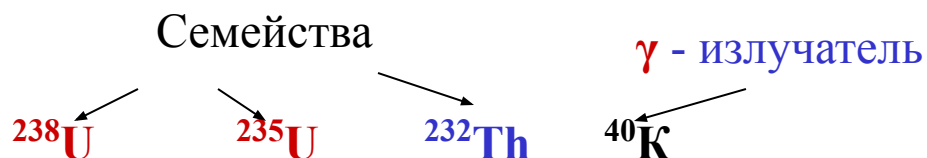
# Естественный радиационный фон

## Космическое излучение:

Первичное -  $p \sim 90\%$  и  $\alpha \sim 10\%$

Вторичное -  $p, n, e, \gamma, \nu$ , тяжелые ионы

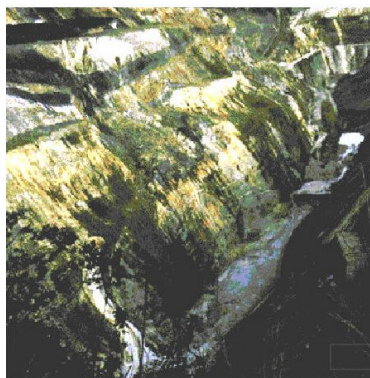
## Естественные радионуклиды:



## Природный ЯР



Oklo



Каньон



Внутри природного ЯР №15

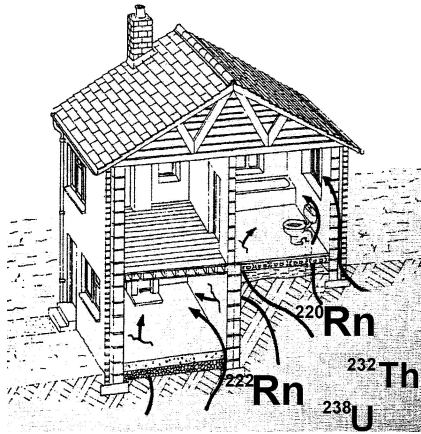
Время работы габонских реакторов - порядка 1 млн. лет

## Проблема радона:

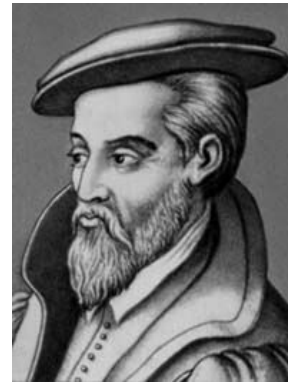
$^{222}\text{Rn } t_{1/2} = 3,854 \text{ сут.}$

торон  $^{220}\text{Rn } t_{1/2} = 54,5 \text{ сек.}$

Короткоживущие:  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{216}\text{Po}$ ,  $^{212}\text{Pb}$ ,  $^{212}\text{Bi}$ ,  $^{212}\text{Po}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  - аэрозоли



Парацельс



Агрикола

Шнеебергская  
легочная болезнь  
XV век!

Г. Яхимов – 1516 г,  
серебряные рудники и  
монетный двор; 1906 г:  
1-й радоновый курорт.



Санаторий \*\*\*\*  
Радий Палас

226  
**Ra**  
88

# Первый Ra России

«ФЕРГАНСКОЕ ОБЩЕСТВО» Бедные  
Тюя-Муюнские руды: U, V, Cu и Ra  
 $U_3O_8 - 1,6\%$ ,  $V_2O_5 - 5,0\%$ ,  $CuO - 3,55\%$ : 40,9 т

Остатки от переработки: 1-й С, 16,2 т, 34,7 мг Ra/т;  
2-й С, 53, 5 т, 23,9-20,0 мг Ra/т; 3-й С, 53, 0 т, 18,2 мг Ra/т

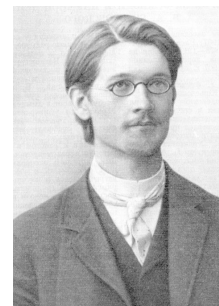
## Т Е Л Е Г Р А М М А

ПЕРМЬ УРАЛСОВНАРХОЗ. КОПИИ: УСОЛЬЕ ИСПОЛКОМУ, УСОЛЬЕ  
ЗАВОДУУПРАВЛЕНИЮ БЕРЕЗНИКОВСКОГО ЗАВОДА.

ПРЕДПИСЫВАЮ БЕРЕЗНИКОВСКОМУ ЗАВОДУ НЕМЕДЛЕННО НАЧАТЬ РАБОТЫ  
ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАДИЕВОГО ЗАВОДА СОГЛАСНО ПОСТАНОВЛЕНИЮ ВК  
СОВНАРХОЗА ТОЧКА НЕОБХОДИМЫЕ СРЕДСТВА ОТПУЩЕНЫ СОВНАРХОЗОМ  
ТОЧКА РАБОТЫ ДОЛЖНЫ ВЕСТИСЬ ПОД УПРАВЛЕНИЕМ И ОТВЕТСТВЕННО-  
СТЬЮ ИНЖЕНЕРА – ХИМИКА БОГОЯВЛЕНСКОГО ЗАПЯТАЯ КОТОРОМУ ПРЕД-  
ЛАГАЮ ОКАЗАТЬ ПОЛНОЕ СОДЕЙСТВИЕ



1047  
Уральский совнархоз  
Уведомление  
Зав. Муон. Месит. 019  
28/12 - 202 - } Сов. Шерин



Бородовский В.А.  
(1874-1914)



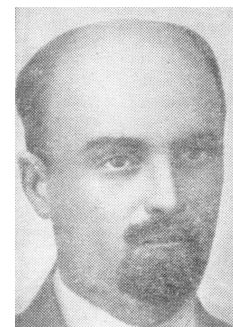
Коловрат-Червинский  
Л.С. (1882-1921)



Богоявленский В.Н.  
(1881-1943)



Хлопин В.Г.  
(1890-1950)

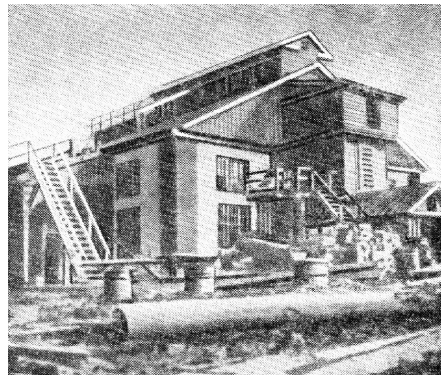
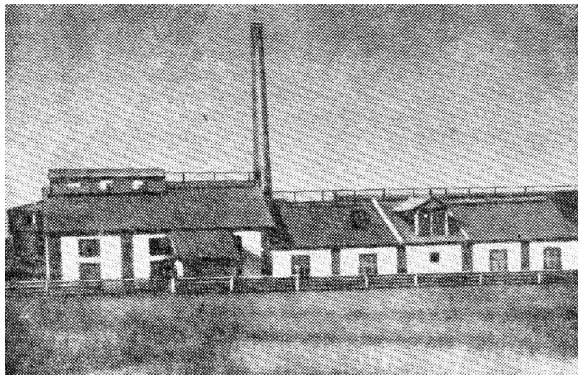


Башилов И.Я.  
(1892-1953)



Глебова В.И.  
(1881-1935)

# ИЗ СОЛИКАМСКА - В БОНДЮГИ (МЕНДЕЛЕЕВСК)



Первый радий –  
21.12 1921 – 4,1 мг  $RaBr_2$   
В.Г. Хлопин и М.А. Пасвик

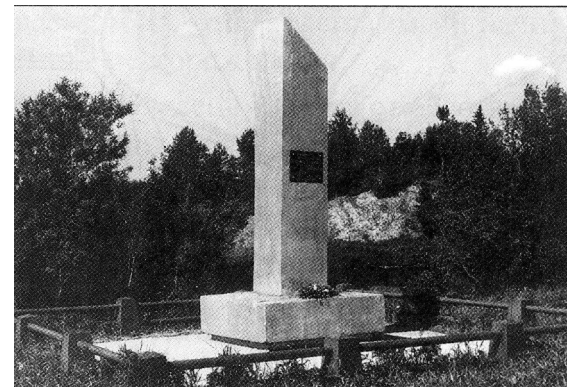
## УХТИНСКАЯ НЕФТЬ



М.К. Сидоров



А.Г. Гансберг



Сидоровская скважина

УХТИНСКИЙ РАДИЙ: Скв. «Казенная №1», -  $7,6 \cdot 10^{-9}$  г Ra/л.

Осадок сульфата бария – 144 мг Ra/т.

Освоение Севера: Постановление Политбюро ЦК ВКП(б) от 27 июня 1929 г  
№ П 86/11сс «Об использовании труда уголовно-заключенных».

# ИЗ СОЛОВКОВ - В РЕСПУБЛИКУ КОМИ

28 июня 1929 г. создано Управление северных лагерей особого назначения ОГПУ (УСЕВЛОН). Уже 21.08.1929 на р. Ухта из СЛОНа прибыла первая партия Ухтинской экспедиции УСЕВЛОНа – руководитель С. В. Сидоров. Вторая партия прибыла 13.10.1929 – руководитель Я. М. Мороз. ЦЕЛИ: добыча нефти и радия (р. Ухта) и угля (р. Воркута).

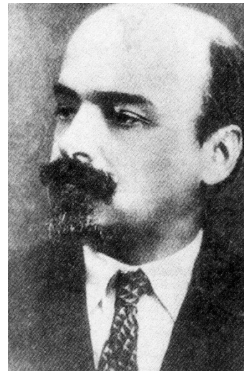


Соловки

Я. М. Мороз. Начальник Ухтпечлага 1929-1938 гг.



Ф.А. Торопов



И.Я. Башилов, 1937



И.Я. Башилов, 1951



# УХТИНСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

- Рождение «Водного Промысла» - 1930, скважина «Казенная» №1;
- технология не имеет аналогов в мировой практике;
- создана на Крайнем Севере, репрессированными из подручных материалов;
- «Водный промысел» - первое промышленное РХ производство СССР.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА:

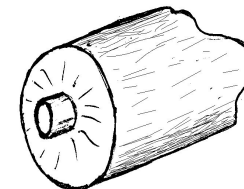
- Добыча радиоактивной воды;
- Выделение из воды «Ухтинского» концентрата  $Ba(Ra)SO_4$ ;
- Углетермический перевод сульфатов в хлориды;
- Дробная кристаллизация хлоридов;
- Дробная кристаллизация бромидов – готовая продукция.



Строительство химзавода №1



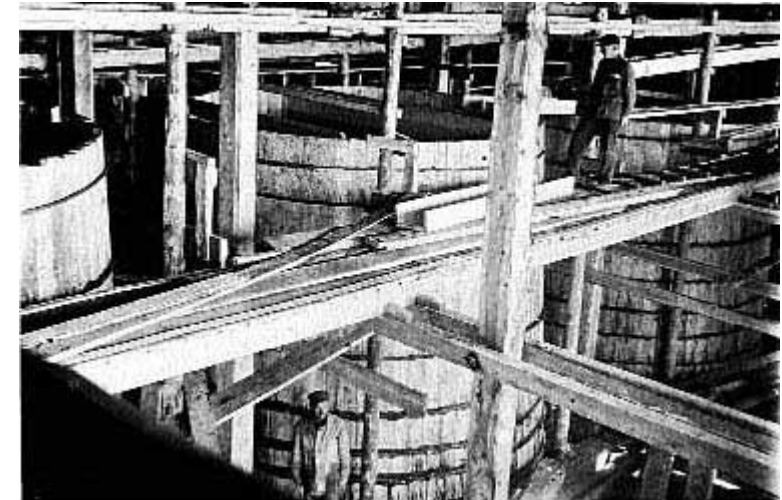
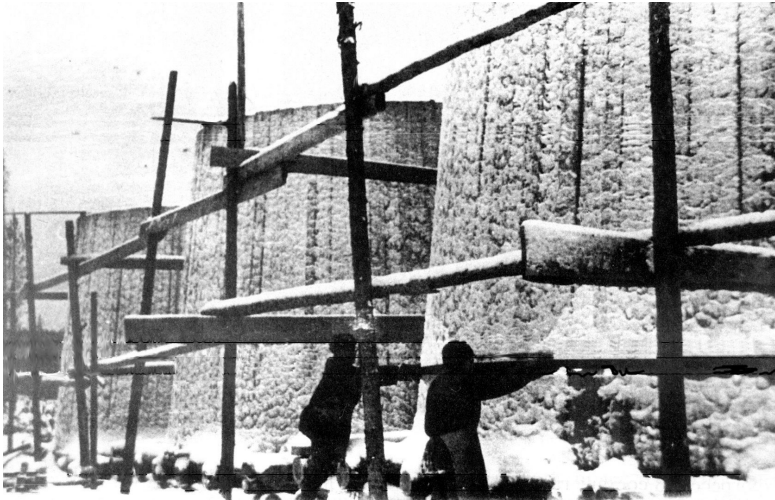
Буровая и  
водоводы





226  
**Ra**  
88

# Монтаж отстойных чанов химзавода №1 – 1931 г.



Остатки химзавода №10 – конец 50-х гг.

**ВСЕГО:** сотни скважин, 12 химзаводов и 3 отдельных установки по переработке воды в радиусе 40 км от центрального завода – завода по извлечению **Ra** из концентратов. Вода шла самотеком, поднималась эрлифтом или выкачивалась.

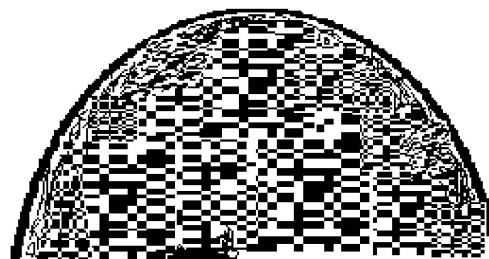
# Получение первичного концентрата



## УГЛЕЖЖЕНИЕ



Подготовка древесины



Медленное горение дров при недостатке воздуха

Сырье, уголь,  
 BaCl<sub>2</sub>, р-р CaCl<sub>2</sub>  
 опилки

# УЧАСТОК ОБЖИГА

Обжиг - 900° С, 5-6 ч.

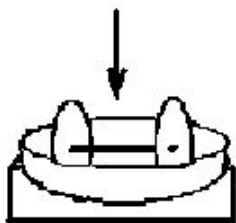
Обжиговая печь

Выщелачивание

Черный отвал

Щелока

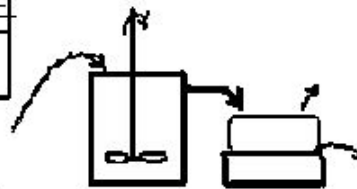
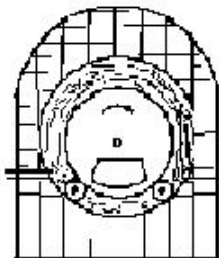
отвал



Бегуны



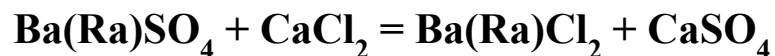
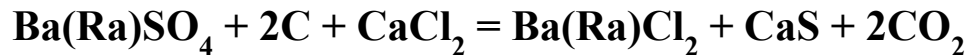
Сырая смесь



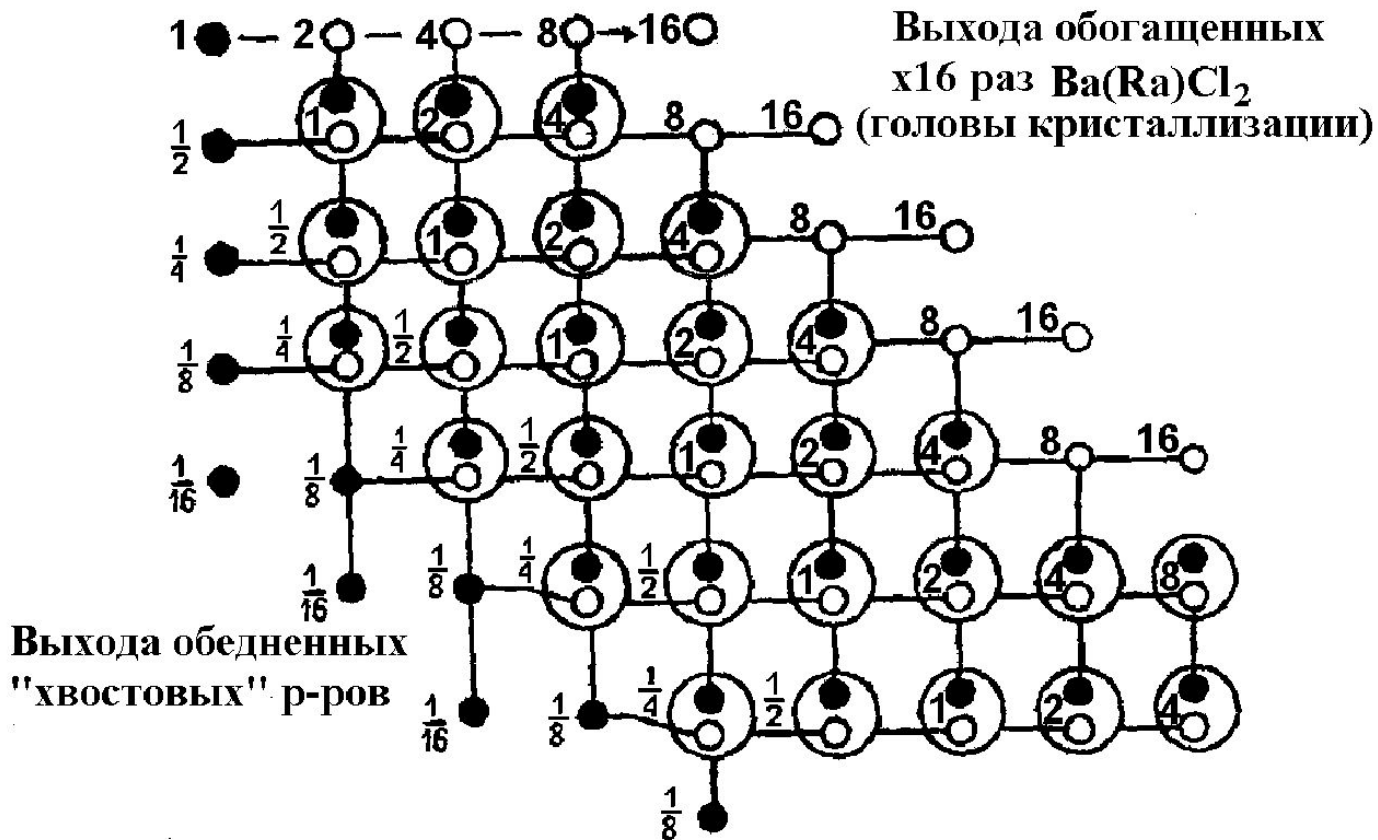
Центрифуга



Углетермическая обработка радиевого концентрата во вращающейся муфельной печи, 30-е гг. Позднее (в 50-е гг.) муфеля были существенно крупнее.

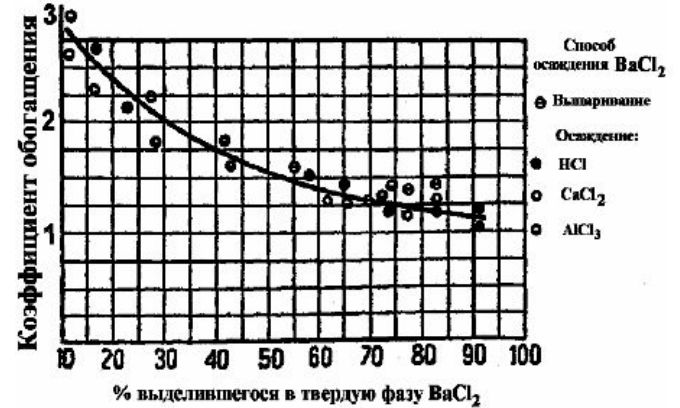
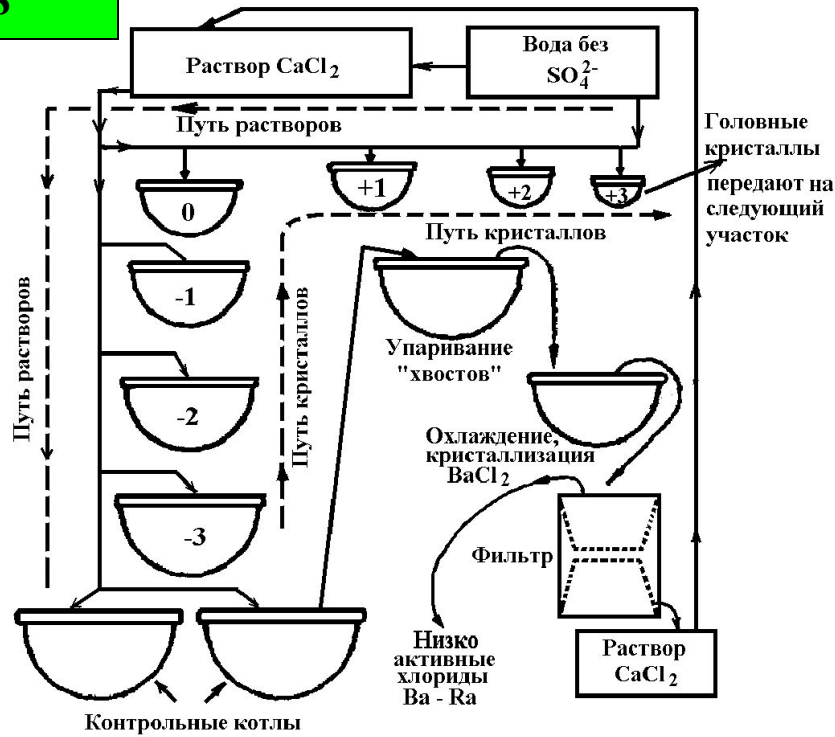


# Дробная кристаллизация

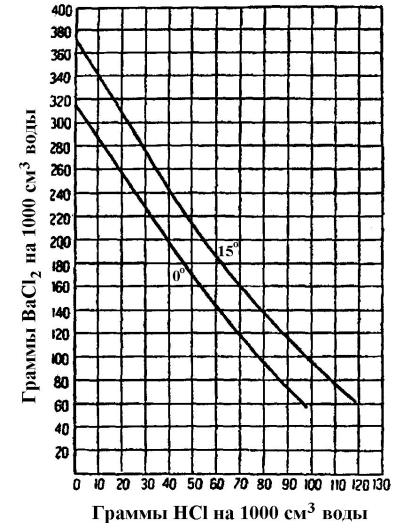
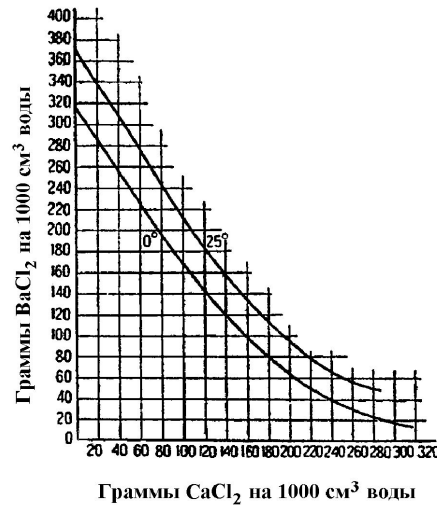
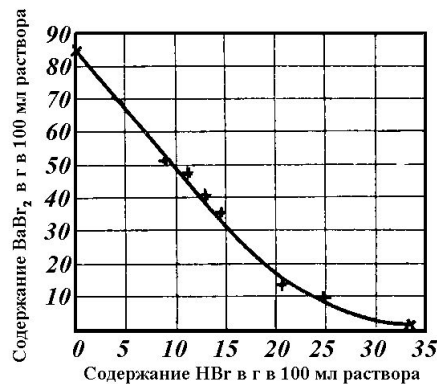


На каждой стадии кристаллизации выделялось около трети кристаллов  $Ba(Ra)Cl_2$  с коэффициентом обогащения по Ra, равным 2.

# Схемы кристаллизации



Зависимость коэффициента обогащения от степени выделения кристаллической фазы  $BaCl_2$ .



# Разработчики технологии



Заведующий хим. лабораторией Ф.А. Торопов (слева) и химик Н.П. Страхов, начало 30-х гг.



Ф.А. Торопов



Н.Е. Волков и Г.А. Разуваев 80-е гг.



1929 г. Г.А. Разуваев 70-е гг.

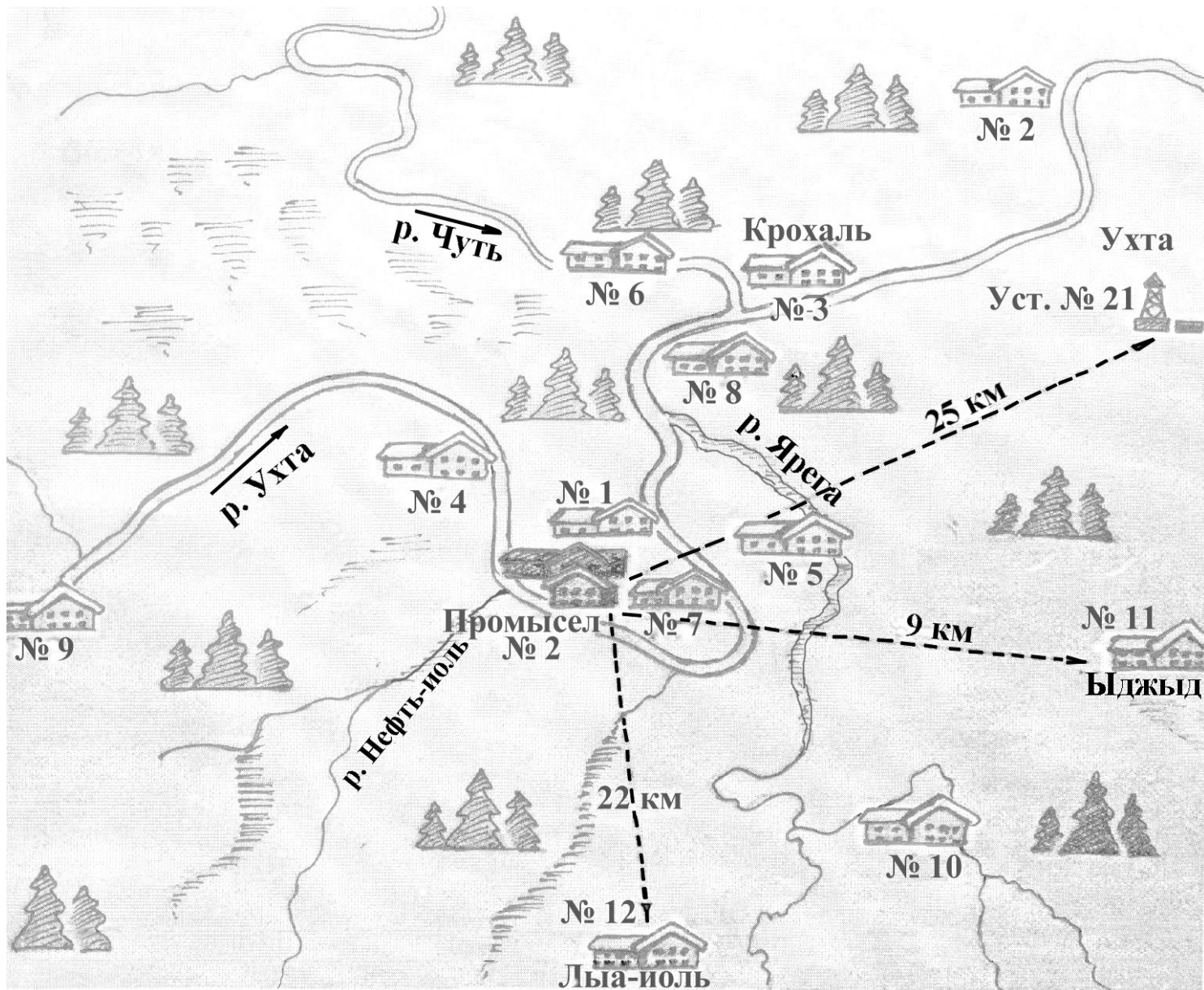


## 1940 г. АН на Водном:



Ф.А. Торопов, Е.А. Ферман, Н.В. Дорофеев, В.Г. Хлопин, Д.С. Рождественский, Н.Н. Славянов, И.Я. Башилов

# География Водного промысла



## Заслуги Водного промысла

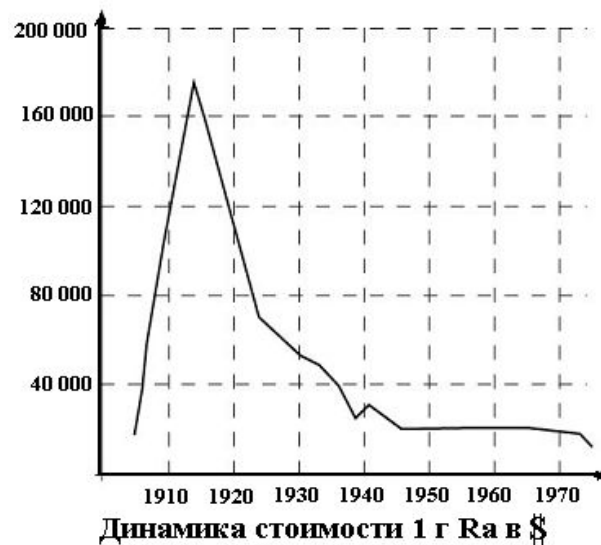


**В.И. Вернадский и Е.А. Ферсман**

Богатейшие руды Канады и Бельгийского Конго:  
4-6 т ➔ 1 г Ra; Водный ➔ 1 г Ra из 250 000 т сырья!



**М. Кюри, переработав 8 т руды Иохимсталля, получила 1 г Ra.**



Основные центры добычи Ra: Австрия (Чехия), США, Северная Канада, Бельгия (руды Бельгийского Конго), Швеция, Франция, СССР.

Количество добытого во всем мире радия оценивают в пределах 2500 – 3000 граммов. На Водном Промысле за все время его работы было получено около 600 г Ra.

*Поэзия –  
та же добыча радия.  
В грамм добыча,  
в год труды.*

*Изводишь,  
единого слова ради,  
Тысячи тонн  
словесной руды.*

**В. Маяковский**



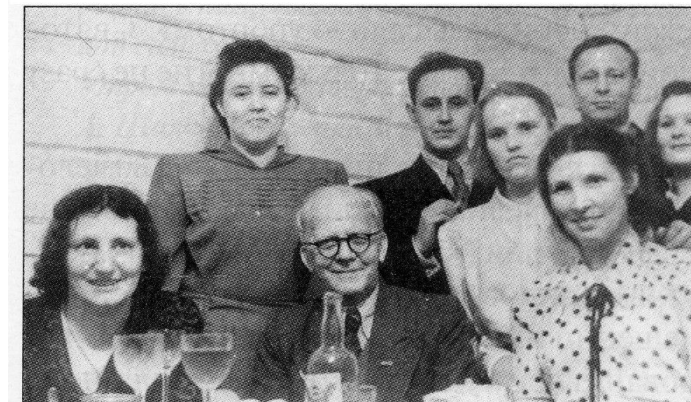
# Люди



Э.Э. Россель



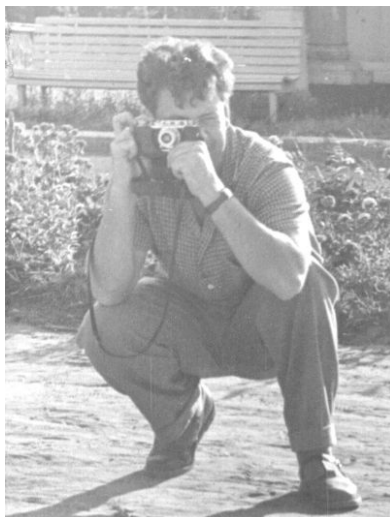
В сквере



Новый год 1951



Н.Н. Дахно и И.И. Колотий 1984

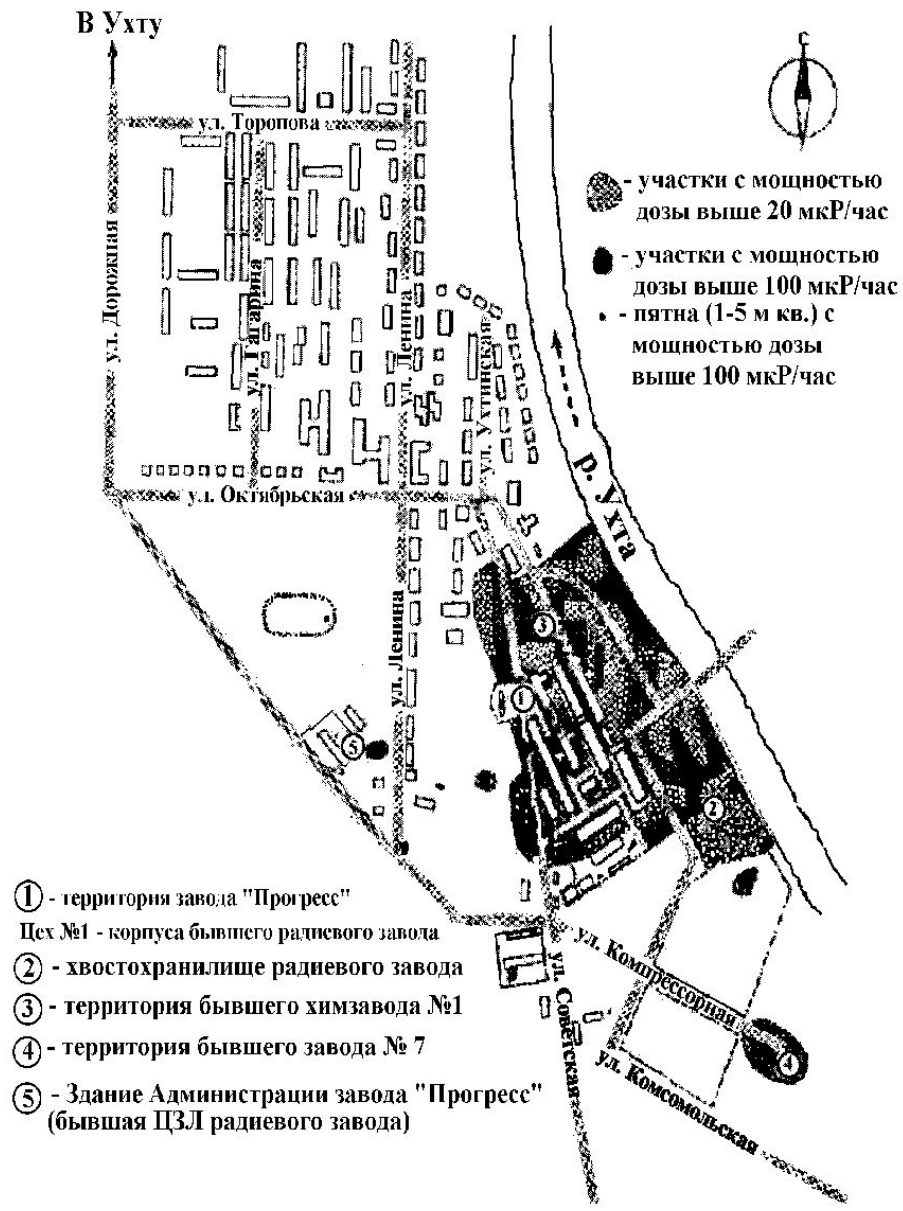


Фотограф



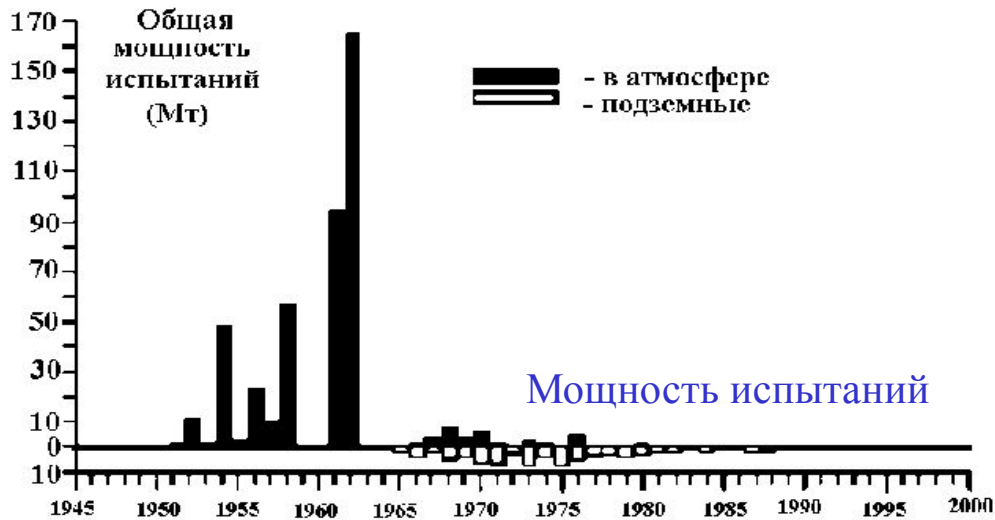
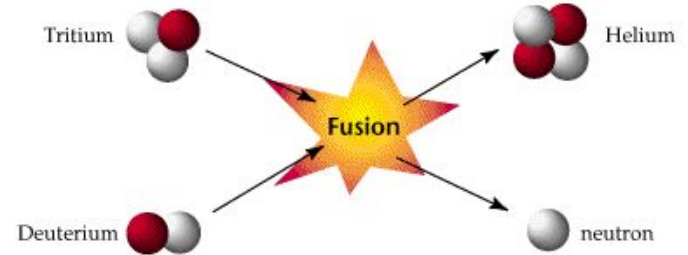
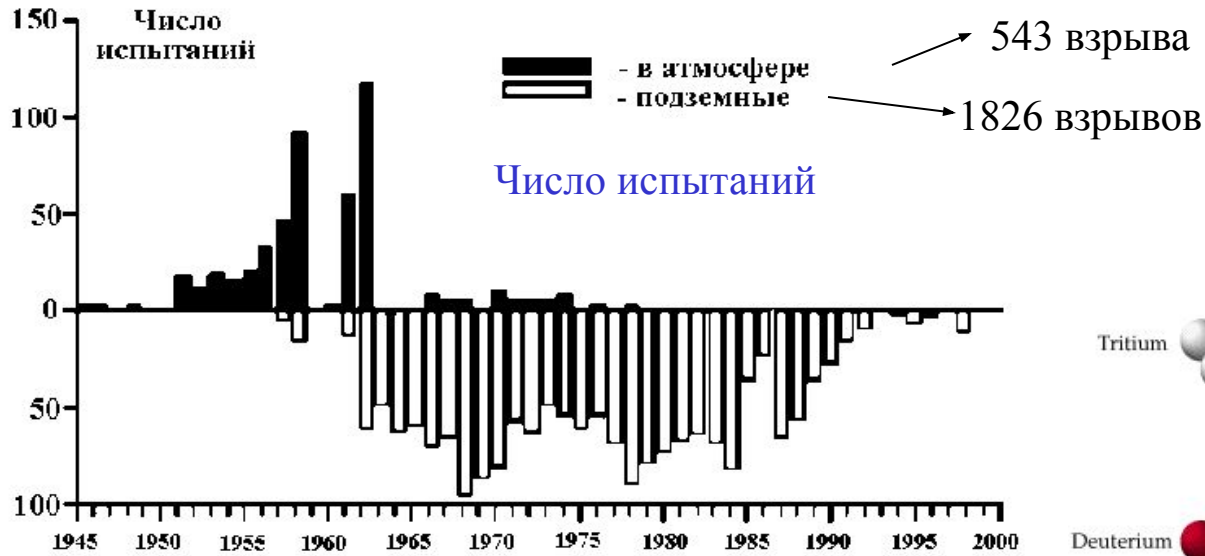
Встреча ИТР

# Последствия

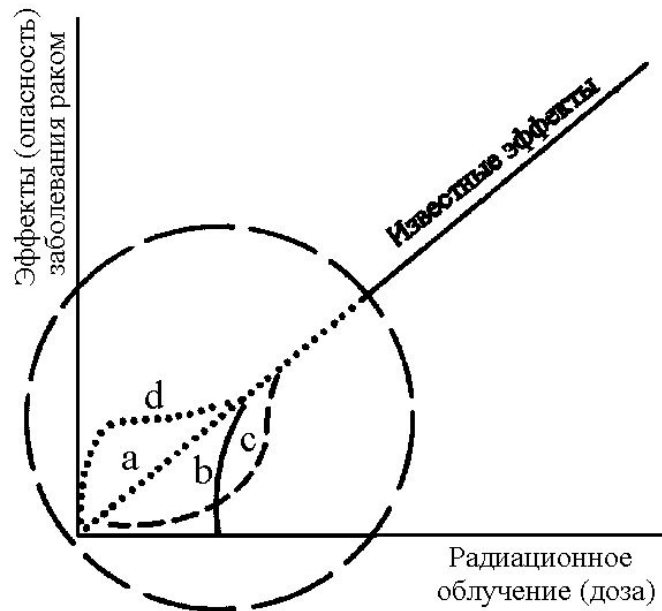


# Ядерное оружие

А.Д. Сахаров  
Э. Теллер



# Биологическое действие ИИ



Долевые вклады в дозы (США)

## Долевые вклады по России:

Все природные источники – 85,7%

Вся медицина – 14,29%

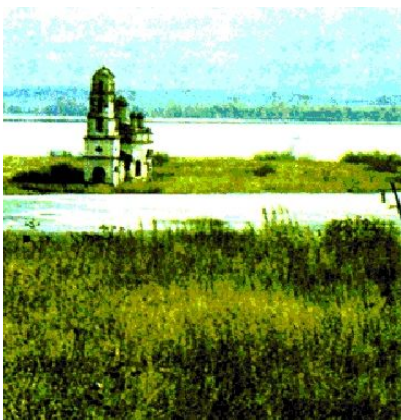
Остальное (последствия аварии на ЧАЭС, яд. испытания, яд. источники в норме <0,01%

Генетические последствия не доказаны

Гормезис

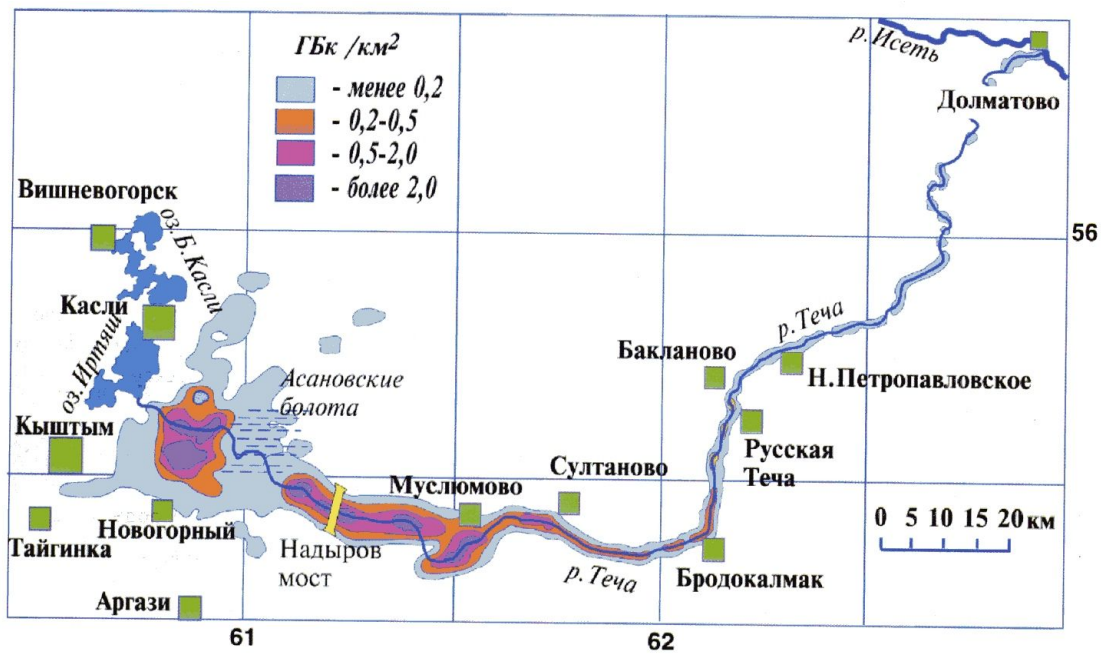


# Последствия деятельности ПО «Маяк» -1



Водоём №4 (Метлинский пруд)

Дети на берегу р. Течи



Cs-137 в донных отложениях реки Течи

# Последствия деятельности ПО «Маяк» -2

Засыпка о. Карачай

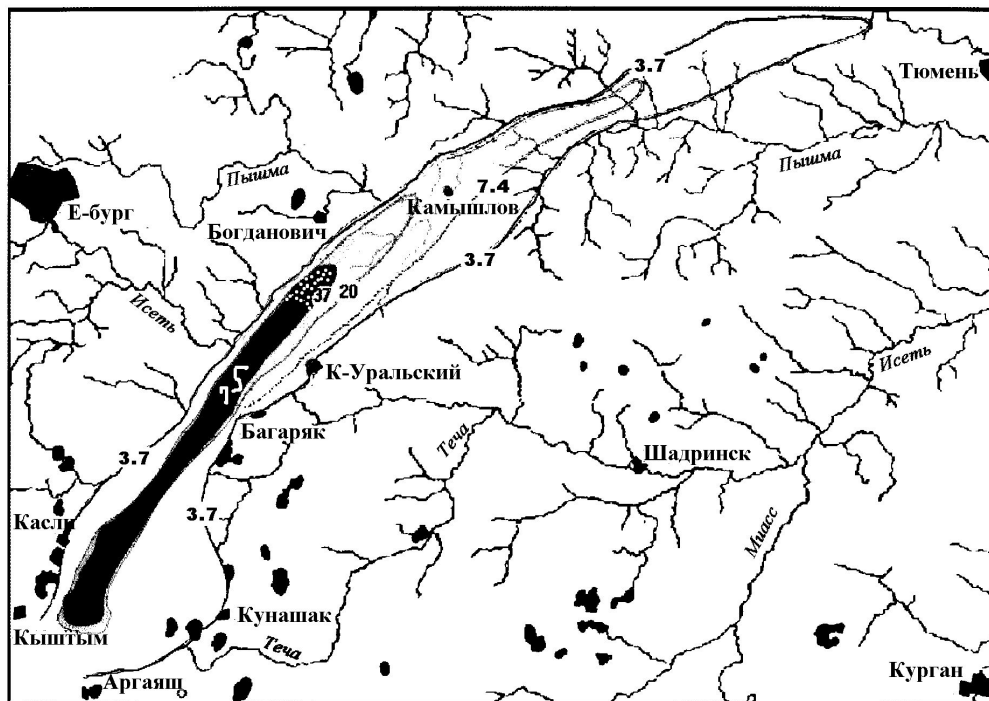
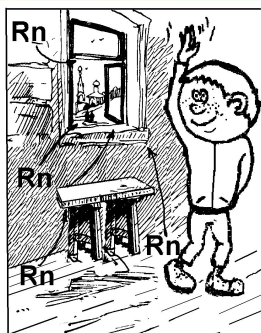


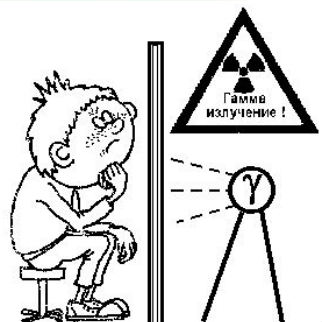
Схема ВУРС, изолинии - Sr-90 ГБк/км<sup>2</sup>



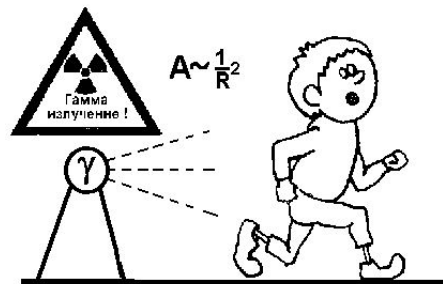
- 1962 г. Площадь акватории 51 га
- 1971 г. Площадь акватории 36 га
- 1993 г. Площадь акватории 15 га



**А**



**Б**

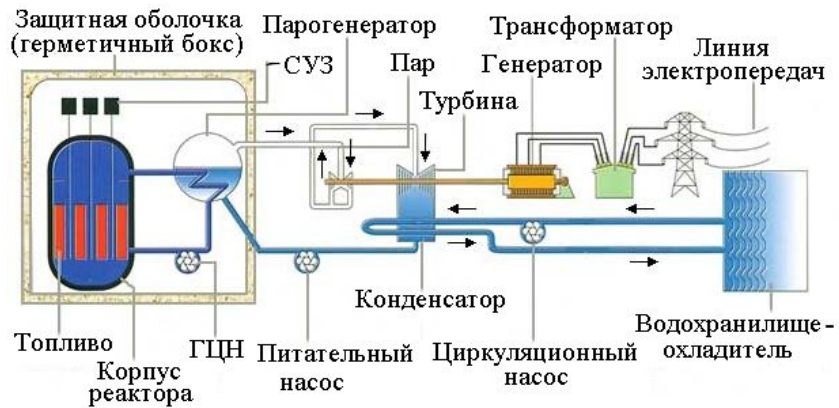


**В**

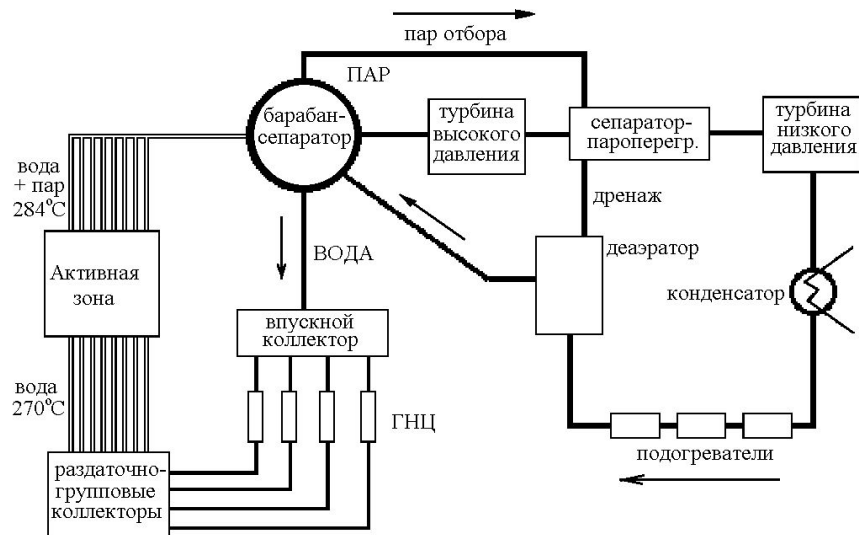


**Г**

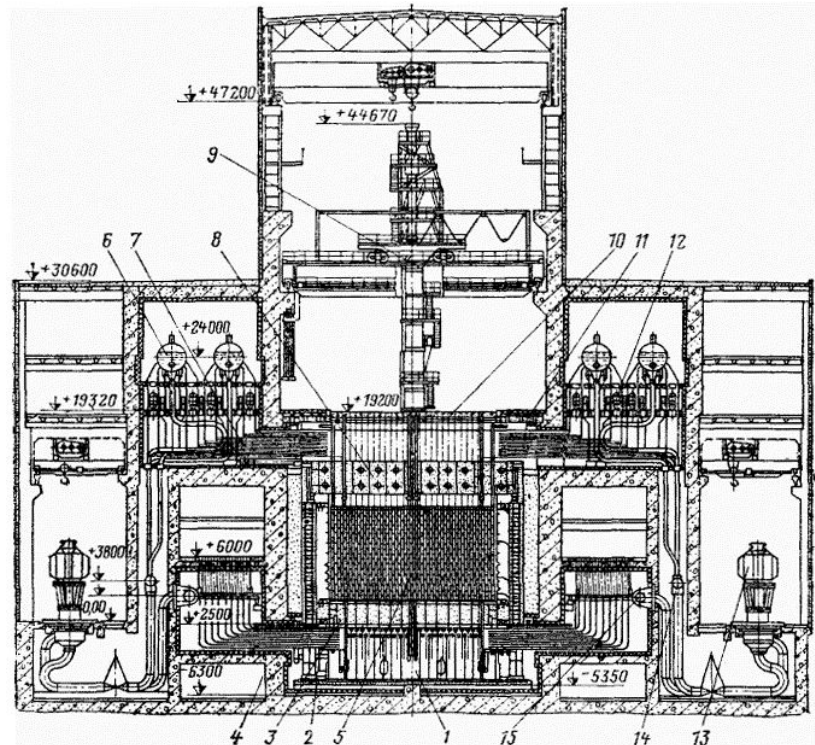
# Авария на ЧАЭС - 1



## Схема реактора ВВЭР (PWR)



## Схема реактора РБМК-1000





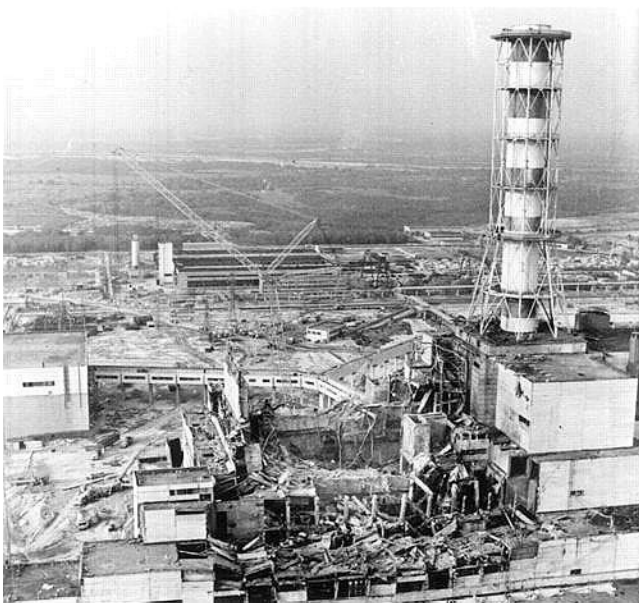
# Авария на ЧАЭС - 2

Взрыв реактора 4-го бл. ЧАЭС:  
1 ч 23 мин 26.04.1986.  
Ошибки персонала.

Гендиректор МАГАТЭ Х. Бликс:

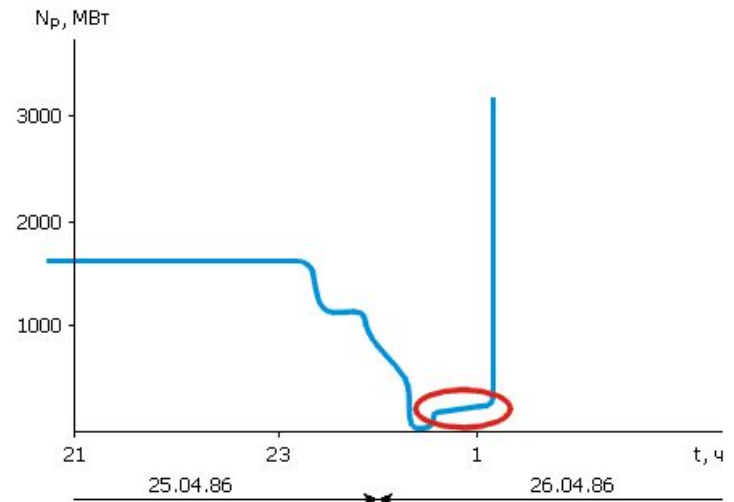
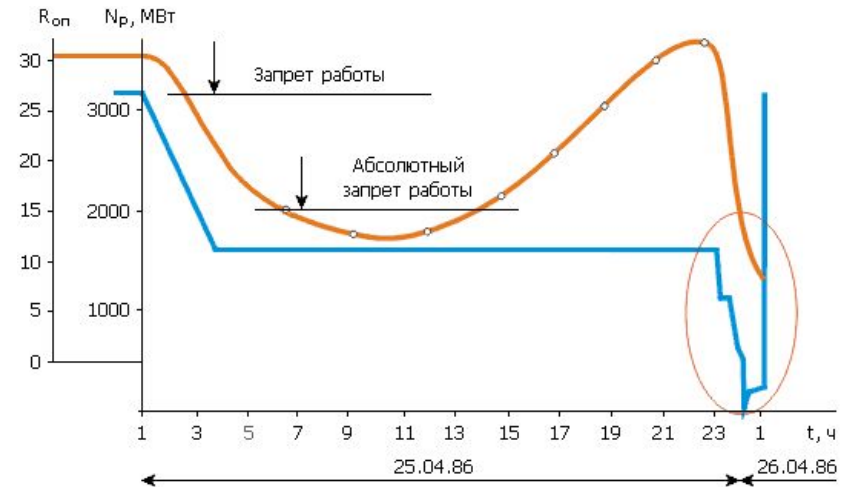
*«причиной аварии были совершенно невероятные, как мы считаем, ошибки, допущенные операторами АЭС»*

Из 211 штатных было выведено не менее 204!  
управляющих стержней



Два  
взрыва

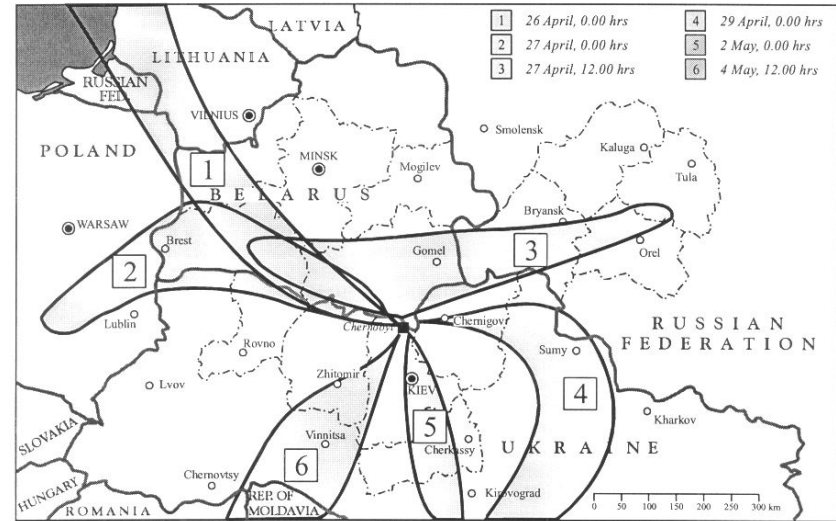
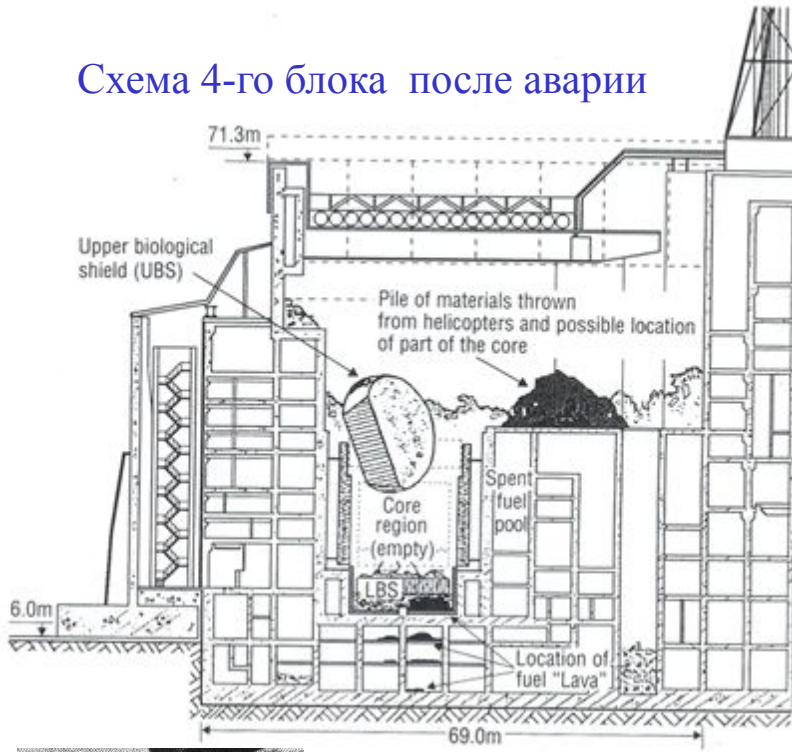
4-й блок  
после  
аварии



Мощность ( $N_p$ ) и реактивность ( $R_{оп}$ )

# Авария на ЧАЭС - 3

Схема 4-го блока после аварии



Роза ветров в Чернобыле 26.04 – 04.05 1986 г



Ликвидаторы академик  
В.А. Легасов



# Авария на ЧАЭС - 4



## Д-р З. Яворовски и НКДАР ООН:

... ОЛБ – 134 чел.; в ранние сроки погиб 31 чел. и за 10 лет - еще 14. Риск фатальных онкозаболеваний среди населения не более 670 чел. На 2006 г живы 86 чел.

## Е. Масюк:

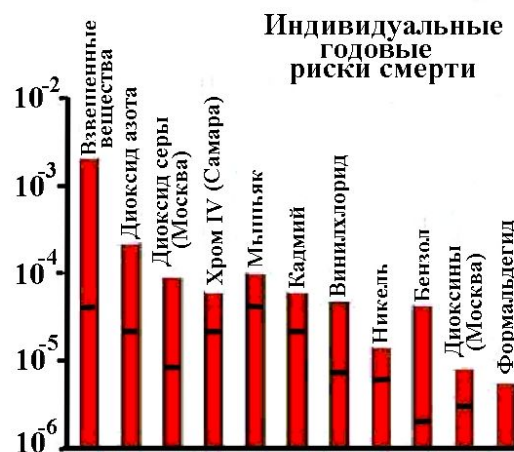
... за 13 лет от лучевой болезни погибло 100 000 чел, а от последствий ЧА аварии – еще 200 000 человек.

Атомпром – весь срок < 400 РА инц,  
Радиационные поражения < 800 чел.  
Умерли (включая жертвы аварии на ЧАЭС) от радиац. поражений 71 чел.

# Химия и радиация

ПДК	Химические примеси	Радиоактивные вещества
100	Единичный случаи	
10	Реально наблюдаются	
1	Порог чувствительности большинства методик	Не наблюдались в последние годы
0,1	В большинстве случаев не фиксируются и не обсуждаются	Регистрируются в зоне наблюдения ПО «Маяк»
0,01		Фиксируются и обсуждаются
10 <sup>-8</sup>		

Причины	Чел. млн.	Риски	Смерт/ г
Все причины	69 (муж)	$1,5 \cdot 10^{-2}$	1 060 000
Несчастные случаи	69 (муж)	$3,4 \cdot 10^{-3}$	240 000
Сильное загряз. возд. типич. загрязнителями	43	$10^{-4}-10^{-3}$	21 000
Загряз воздуха хим. канцер. (мониторинг в гг. России )	50	$10^{-5}-10^{-7}$	620
Москва	8,6		43
Санкт-Петербург	4,3		10,4
Насел. зоны ПО «Маяк »	0,21	$5,3 \cdot 10^{-6}-2,3 \cdot 10^{-5}$	1,4
Насел. Челябинска и Магнитогорска от загряз. воздуха взв. веществами, этилбензолом	1,58	$3,3 \cdot 10^{-4}-1,0 \cdot 10^{-3}$	808
		$3,0 \cdot 10^{-5}$	5,2
Насел. зоны ГХК	0,22	$6 \cdot 10^{-6}-3 \cdot 10^{-7}*$	<3*



**Атм. воздух  
в городах**

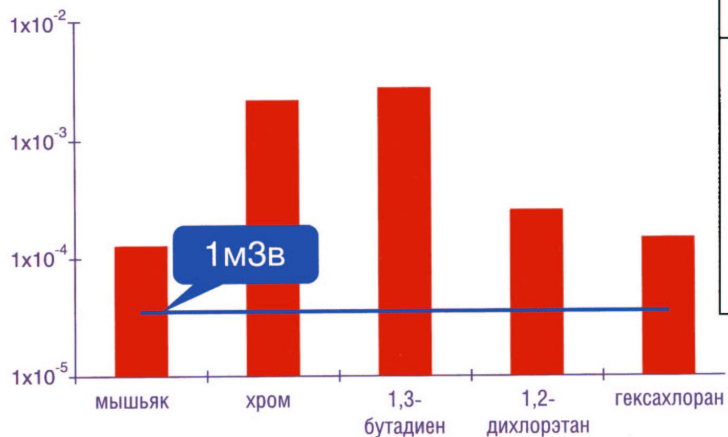
# Энергетика, химия и радиация

## Потерянные годы жизни, чел.-лет/ТВт·ч выработанной электроэнергии



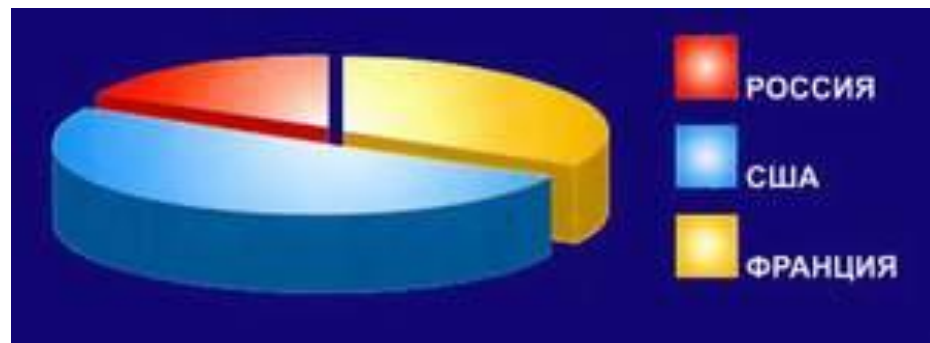
## Канц. риски

## Хим. риски и РА

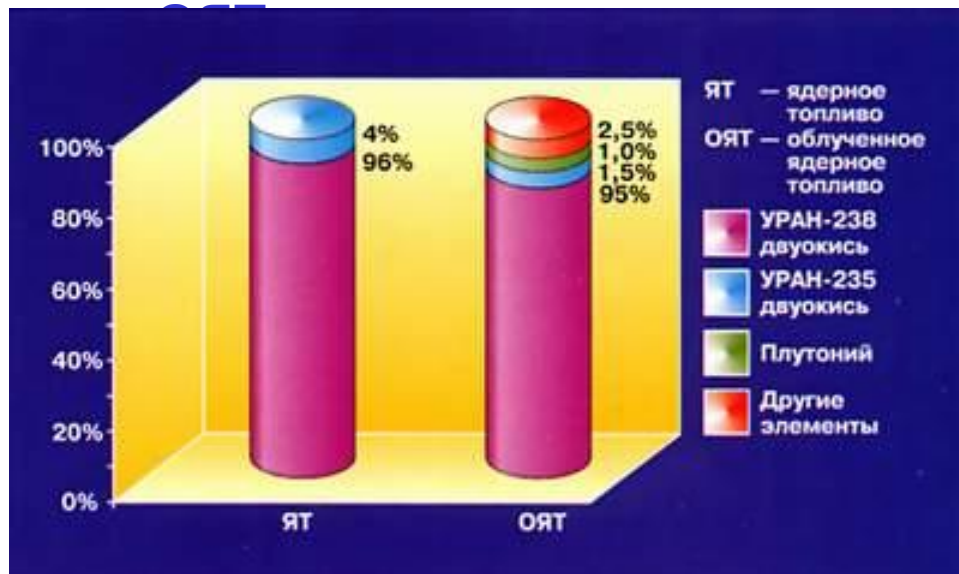


Риск	Вода водоемов		Атмосферный воздух		Рабочая зона	
	Абс.	%	Абс.	%	Абс.	%
> 10 <sup>-2</sup>	7	8,0	2	5,4	42	45,1
10 <sup>-2</sup> -10 <sup>-3</sup>	19	21,8	6	16,2	34	36,5
10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-4</sup>	29	33,3	13	35,1	10	10,7
10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-5</sup>	23	26,4	9	24,3	7	7,5
< 10 <sup>-5</sup>	9	10,5	7	19,0	0	0
Итого	87	100	37	100	93	100

# Проблемы ОЯТ



## Активность накопленного

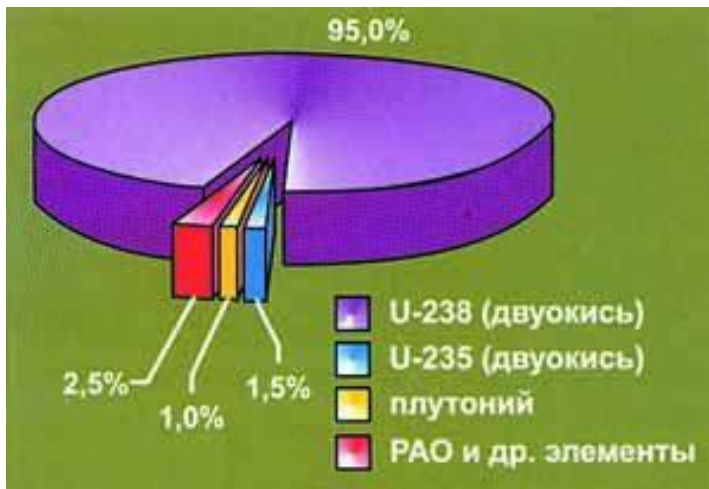


## Состав ЯТ и ОЯТ



## Доля зарубежного ОЯТ

# Проблемы ОЯТ -2



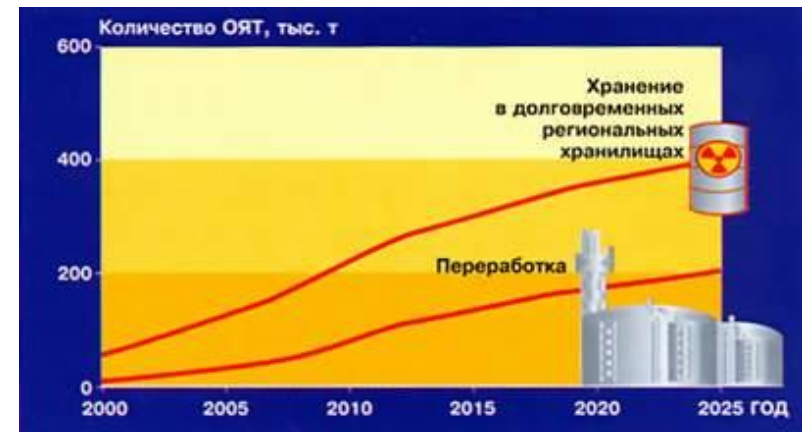
Состав ОЯТ



Совокупная мощность АЭС (МВт)



Снижение активности ОЯТ



Мировой прогноз по ОЯТ

# ЗАРУБЕЖНЫЕ ПЛАНЫ РАЗВИТИЯ АЭС

Программы ввода АЭС по отдельным странам



Программы ввода АЭС, ГВт

- строительство
- планы

**Стратегический формат развития: ввод до 2030 года не менее 40 ГВт АЭС в стране и сооружение от 40 до 60 ГВт за рубежом**

Различные прогнозы развития атомной энергетики оценивают масштаб ввода мощностей от 300 до 600 ГВт. Половина перспективного рынка скорее всего будет закрыта для внешних игроков. Остается: 200 – 300 ГВт. Российские компании могут претендовать на 20% от этого объема, т.е. на сооружение 40 - 60 ГВт. до 2030 г. Например: Китай, Индия, Вьетнам, Индонезия, Таиланд, Бразилия, Чили, Венгрия, Чехия, Турция, Болгария, Египет и др.



# Районы оцененных рисков в Свердловской области

