

## Ядерная энергетика – энергетика будущего

Калмыков Степан Николаевич

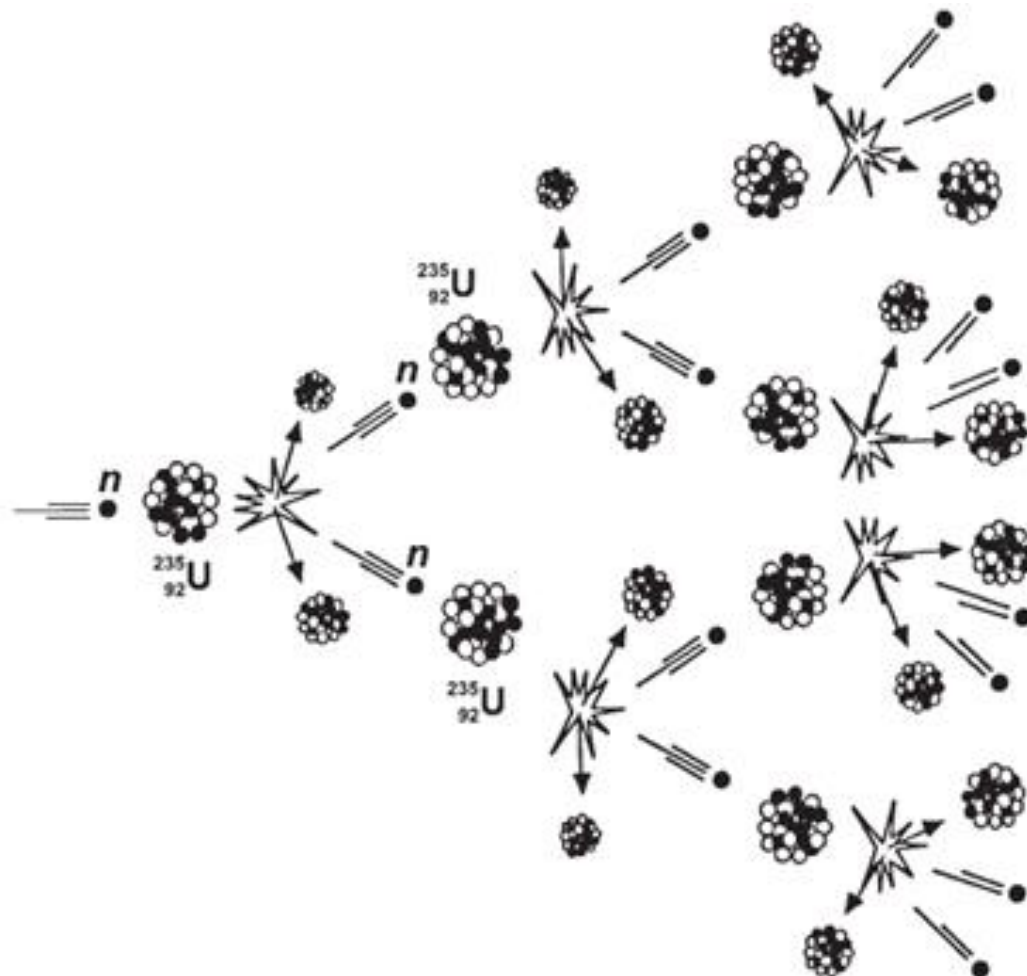
Замена генерирующей мощности в 1 ГВт на базе угля такой же мощностью ядерной энергетики позволяет избежать выбросов CO<sub>2</sub> в объеме 5,6 млн тонн в год (МАГАТЭ).

Средние дозовые нагрузки у населения, живущего вблизи ТЭС, работающей на угле на 40 % выше, чем у населения, живущего около АЭС.

Сырье: уран 5 % от себестоимости электроэнергии,  
углеводороды – 75 % (более волатильные рынки).

Себестоимость: природный газ – 3,7 – 6,0 цента / кВт·ч  
АЭС – 2,1 – 3,1 цента / кВт·ч (OECD)

# ОСНОВЫ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



Число нейтронов при делении:

${}^{229}\text{Th}$  - 2,08

${}^{235}\text{U}$  - 2,407

${}^{239}\text{Pu}$  - 2,884

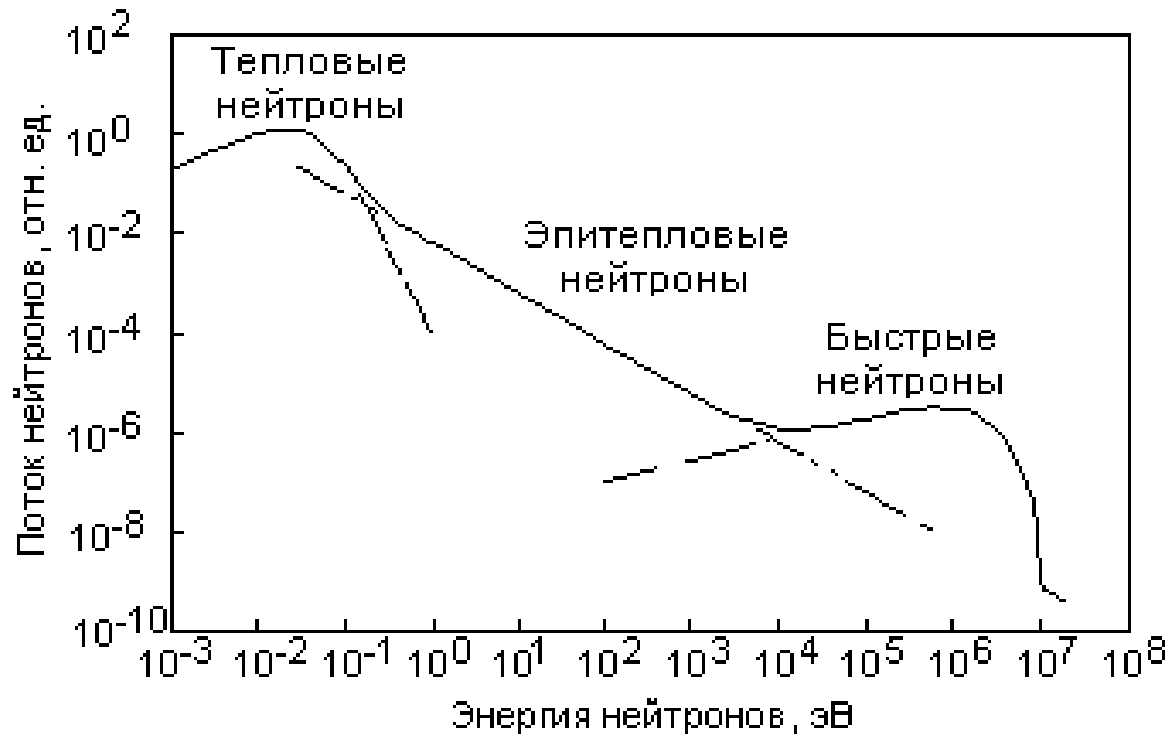
Вероятность деления зависит от энергии компаунд ядра, которая пропорциональна энергии налетающей частицы

Пороговый характер:

$^{238}\text{U}$  – четно-четное ядро, порог превышает на 1 МэВ энергию связи нейтрона в ядре,

$^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  – четно-нечетное ядро, порог близок к энергии связи нейтрона в ядре

## Нейтронный спектр атомного реактора



## Критические массы (кг) для различных нуклидов

Нечетное N									
Нуклид	$^{233}\text{U}$	$^{235}\text{U}$	$^{239}\text{Pu}$	$^{241}\text{Pu}$	$^{242}\text{Am}$	$^{243}\text{Cm}$	$^{245}\text{Cm}$	$^{247}\text{Cm}$	$^{249}\text{Cf}$
$M_{\text{крит}}$	0,57	0,79	0,51	0,232	0,017	0,108	0,036	1,170	0,047
Четное N									
Нуклид	$^{231}\text{Pa}$	$^{237}\text{Np}$	$^{238}\text{Pu}$	$^{240}\text{Pu}$	$^{241}\text{Am}$	$^{243}\text{Am}$	$^{244}\text{Cm}$		
$M_{\text{крит}}$	550	43	4,5	96	71	500	14		

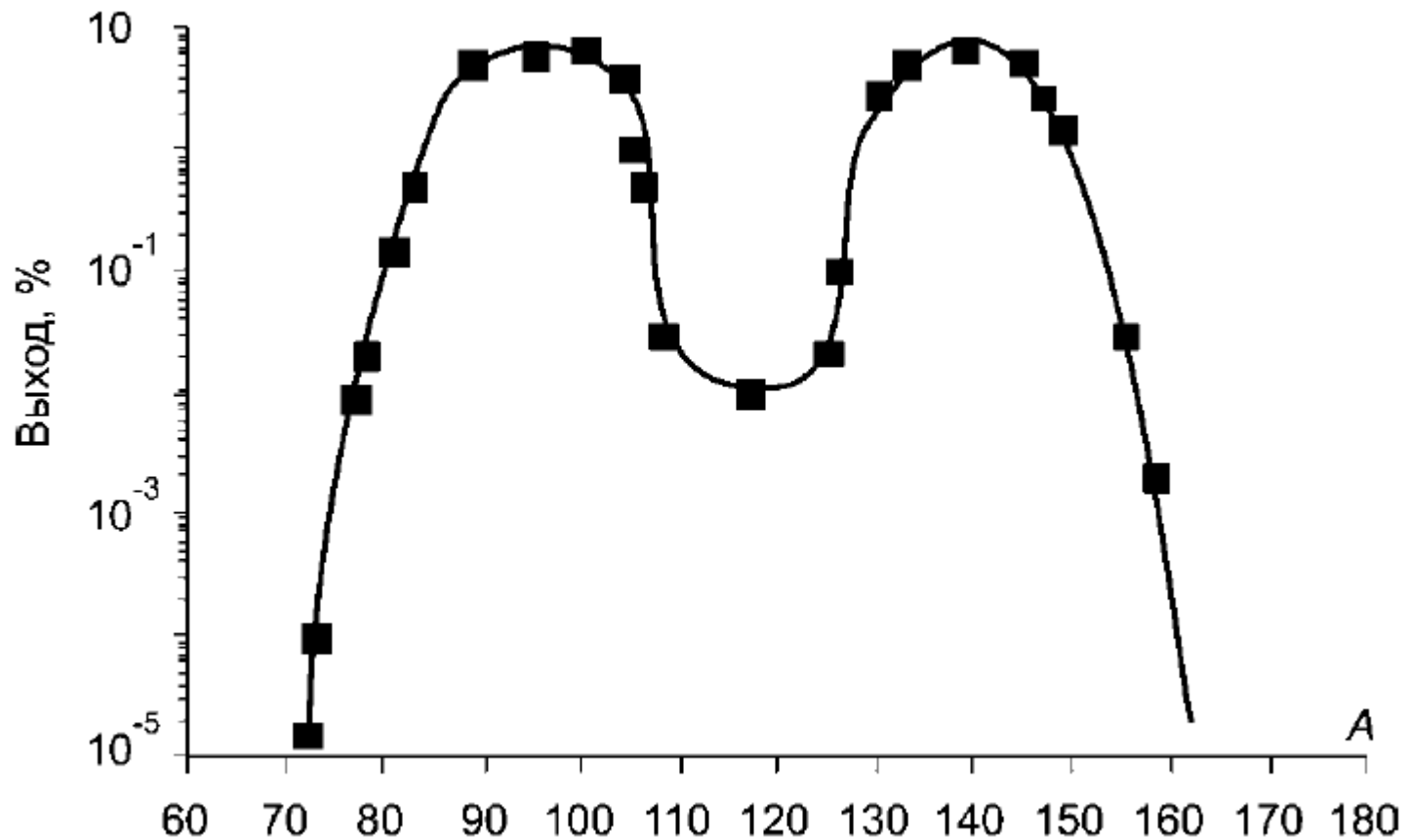
## Энергия деления ядер нейтронами, МэВ

Кинетическая энергия осколков деления	174
Кинетическая энергия нейтронов	5
Гамма-кванты, испускаемые в момент деления	8
Бета распад продуктов деления	7
Испускание гамма-квантов продуктами деления	6
Нейтрино	10
<b>ИТОГО</b>	<b>210</b>

## Тепло от 1 г $^{235}\text{U}$ (полное выгорание)

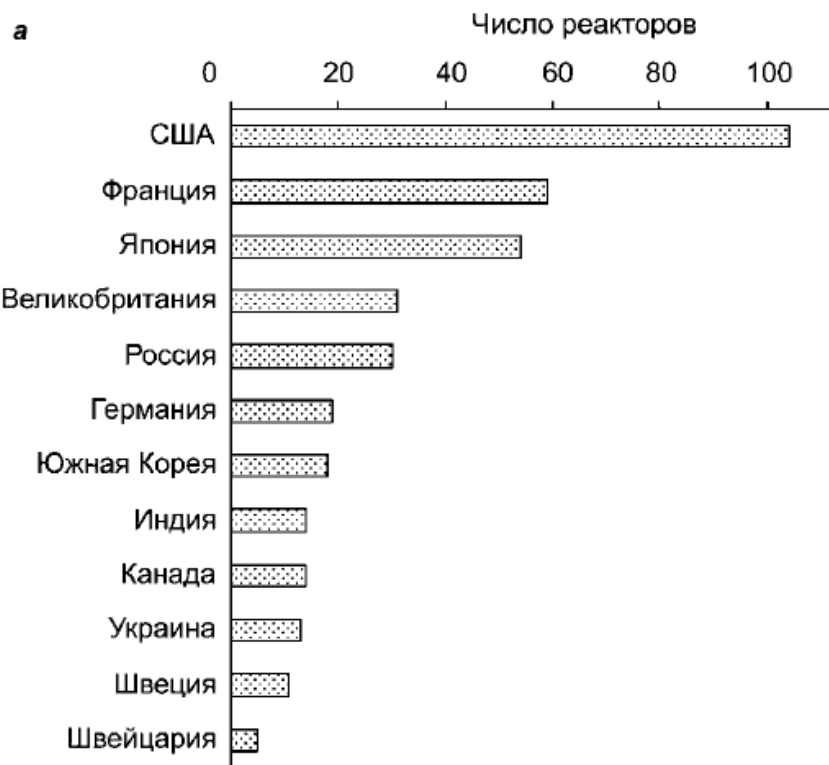
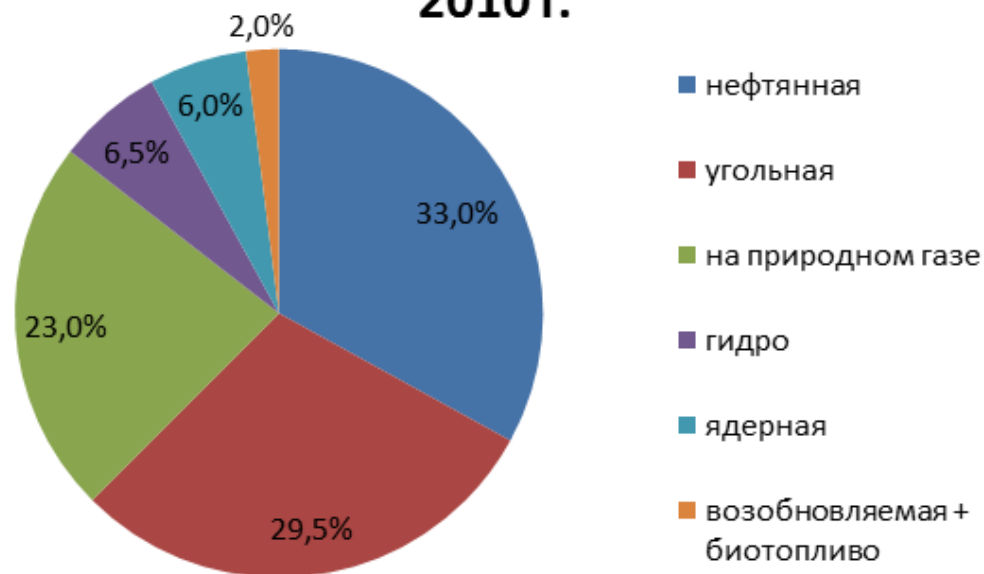
$$5 \cdot 10^{23} \text{ МэВ} = 1,94 \cdot 10^{10} \text{ кал} = 8,1 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 22,5 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \approx 1 \text{ МВт} \cdot \text{сут}$$

Распределение по массе осколков деления  $^{235}\text{U}$  тепловыми нейтронами



# Статистика

2010 г.



Ядерный топливный цикл включает все операции от добычи урановых руд и их переработки до захоронения отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) или радиоактивных отходов (РАО), образовавшихся в результате переработки ОЯТ.

Способ обращения с отработавшим ядерным топливом:

Открытый ЯТЦ – Германия, Швеция, Швейцария, США, ...

Замкнутый ЯТЦ – Великобритания, Франция, Россия, ...







Хвостохранилища

# Изотопное обогащение $^{235}\text{U}$

**Природный: 0,72 %**

**Обедненный: < 0,72 %**

**Низкообогащенный: до 20 % (топлива 2- 5 %)**

**Высокообогащенный уран: более 20 %**

## Промышленные методы:

### Газодиффузионный метод

Различия в диффузии  $^{235}\text{UF}_6$  и  $^{238}\text{UF}_6$  через мембрану с диаметром пор 10-100 нм

### Газовые центрифуги

Различия в скоростях движения  $^{235}\text{UF}_6$  и  $^{238}\text{UF}_6$  в центробежном поле

# Ядерное топливо

## Виды топлива:

Оксидное

Металлическое

Карбидное

Нитридное

Жидкое

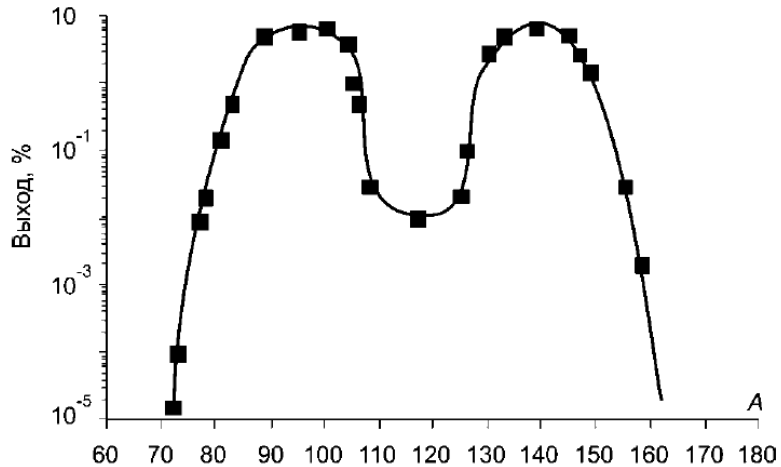
## Реакторы:

На тепловых нейтронах

На быстрых нейтронах

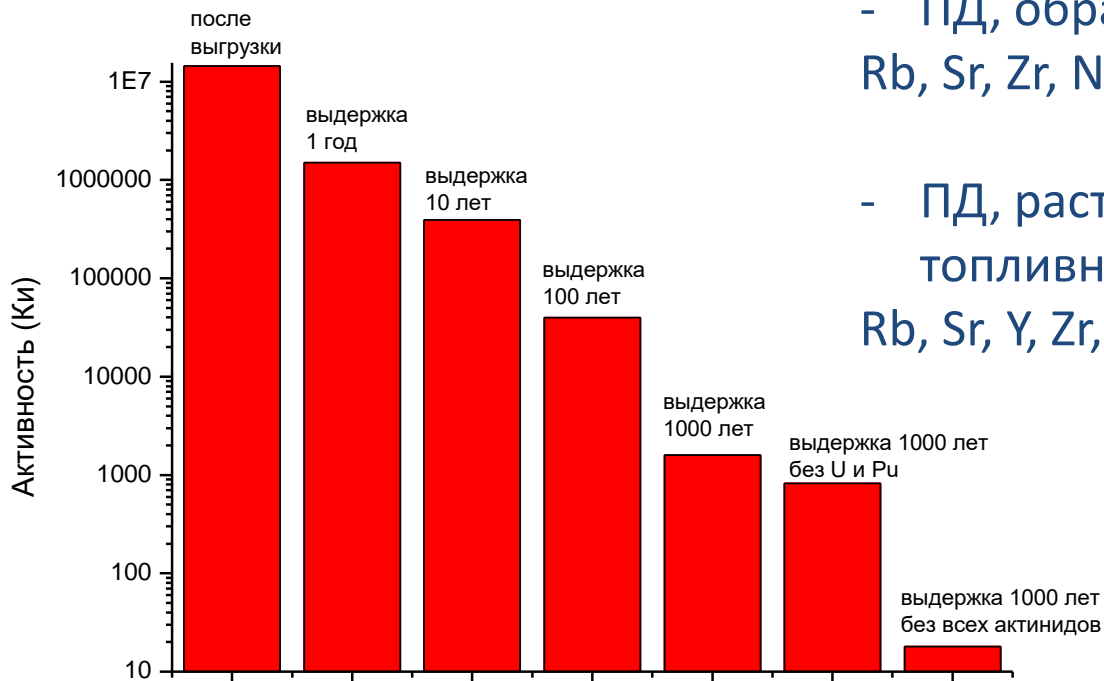
Ядерный реактор включает активную зону, в которой содержится ядерное топливо и замедлитель нейтронов, отражатель нейтронов, теплоноситель для отвода тепла, системы управления цепной реакцией, защита реактора и его управление.

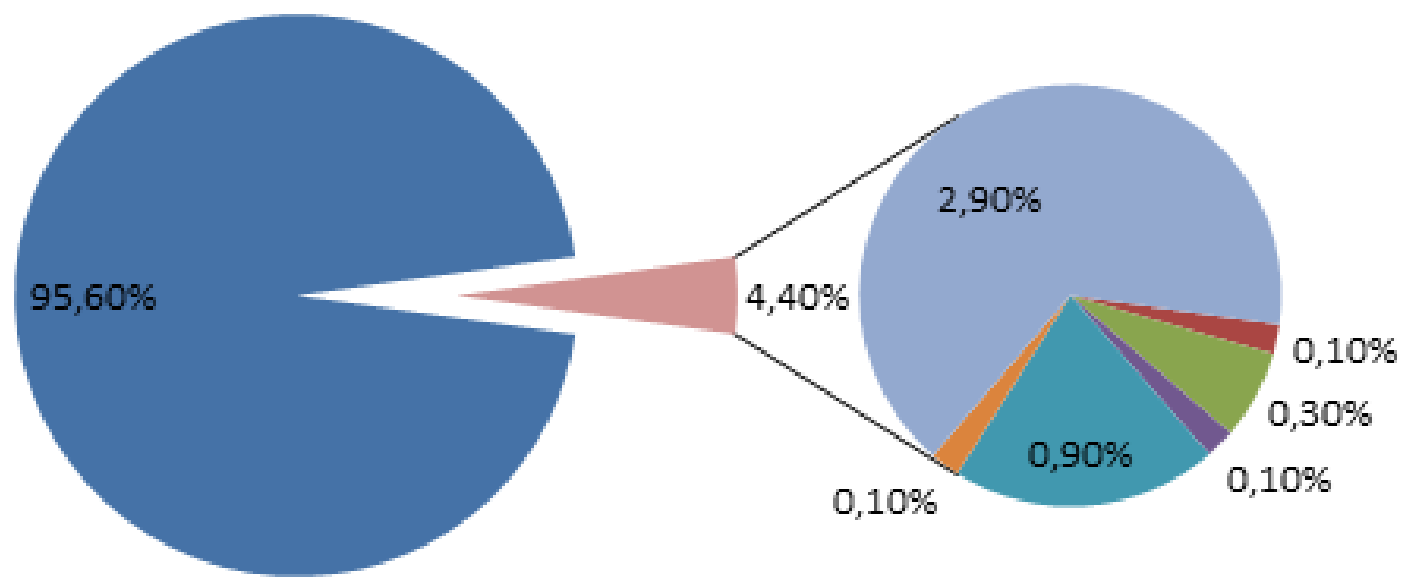
# Отработавшее ядерное топливо



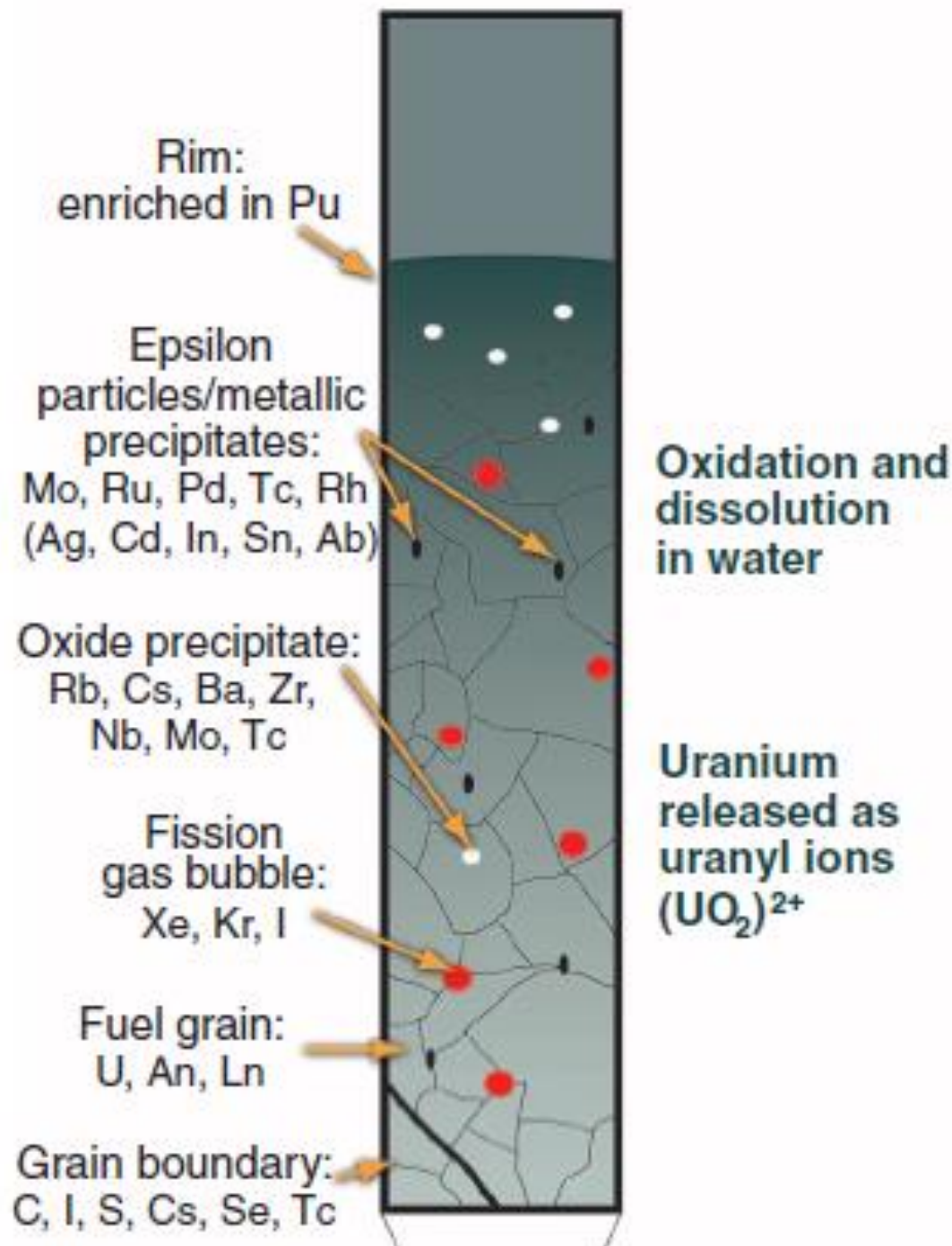
## Продукты деления:

- Газы и легколетучие элементы:  
Br, Kr, Rb, I, Xe, Cs, Te;
- ПД, образующие металлические частицы:  
Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Se, Te
- ПД, образующие оксиды:  
Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Se, Te, Cs, Ba
- ПД, растворенные в форме оксидов в топливной матрице:  
Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu.





- Уран
- Долгоживущие ПД
- Сs-137, Sr-90
- Тс-99, I-129
- Пу
- Нр, Ам, Ст
- Стабильные ПД



# ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ЯДЕРНЫМ ТОПЛИВОМ (ОЯТ)

## ПЕРЕРАБОТКА VS. ЗАХОРОНЕНИЕ?

### Проблема нераспространения

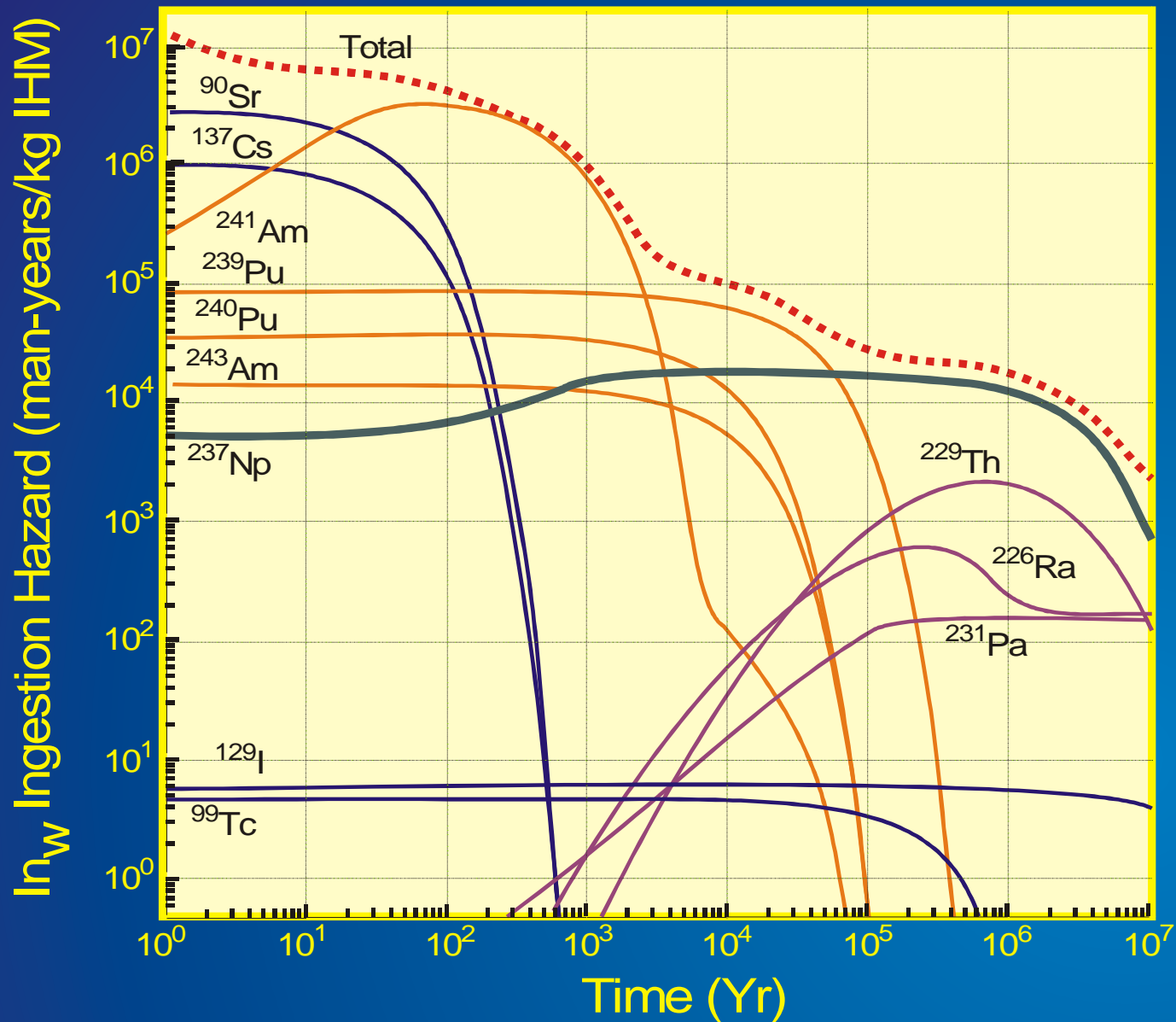
Уран-плутониевый цикл – наработка Pu-239, который возможно использовать для производства ядерного оружия.

Май 1974г. – «Будда засмеялся»

реактор CIRUS

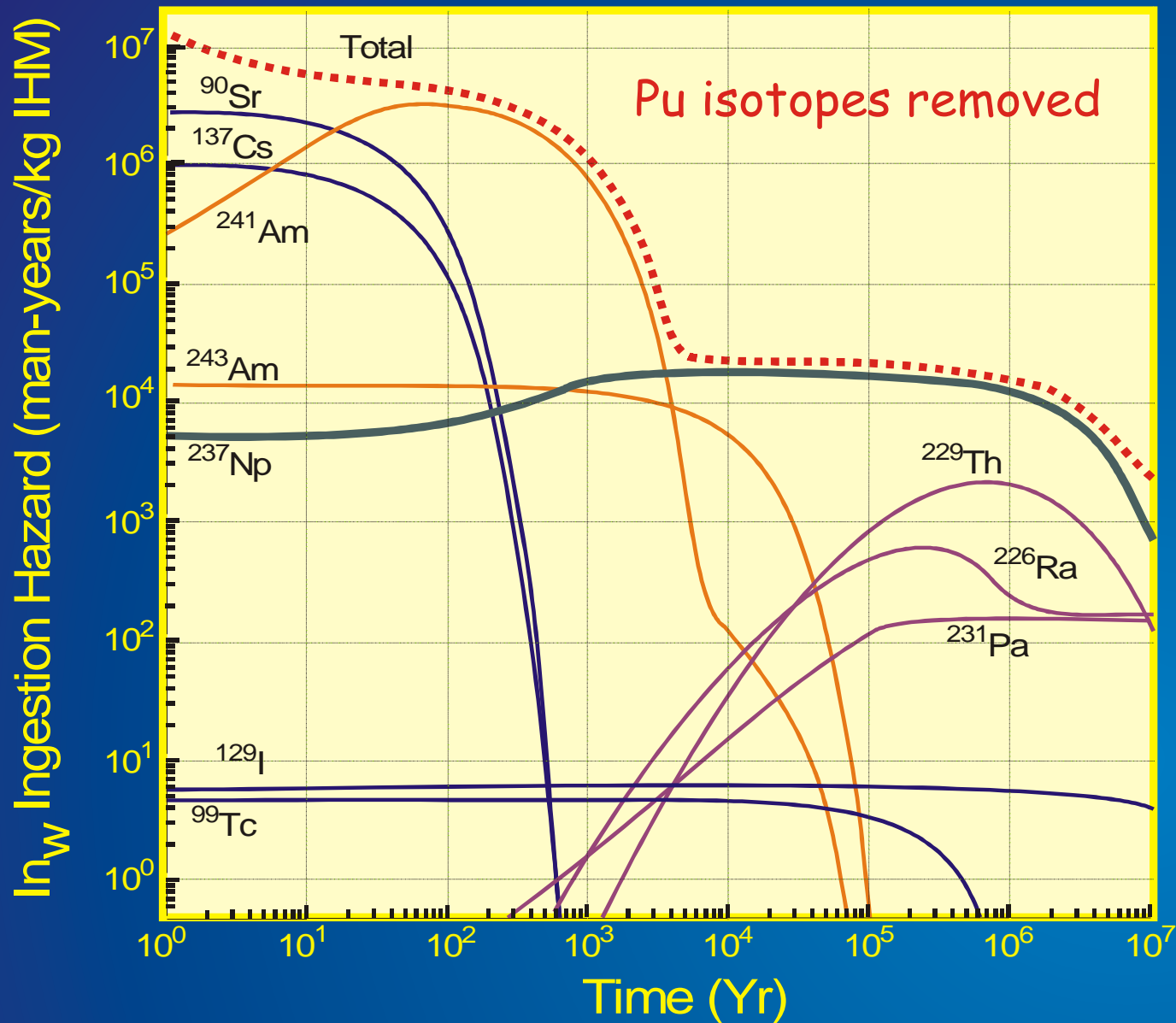


# Radiotoxicity as Ingestion Hazard



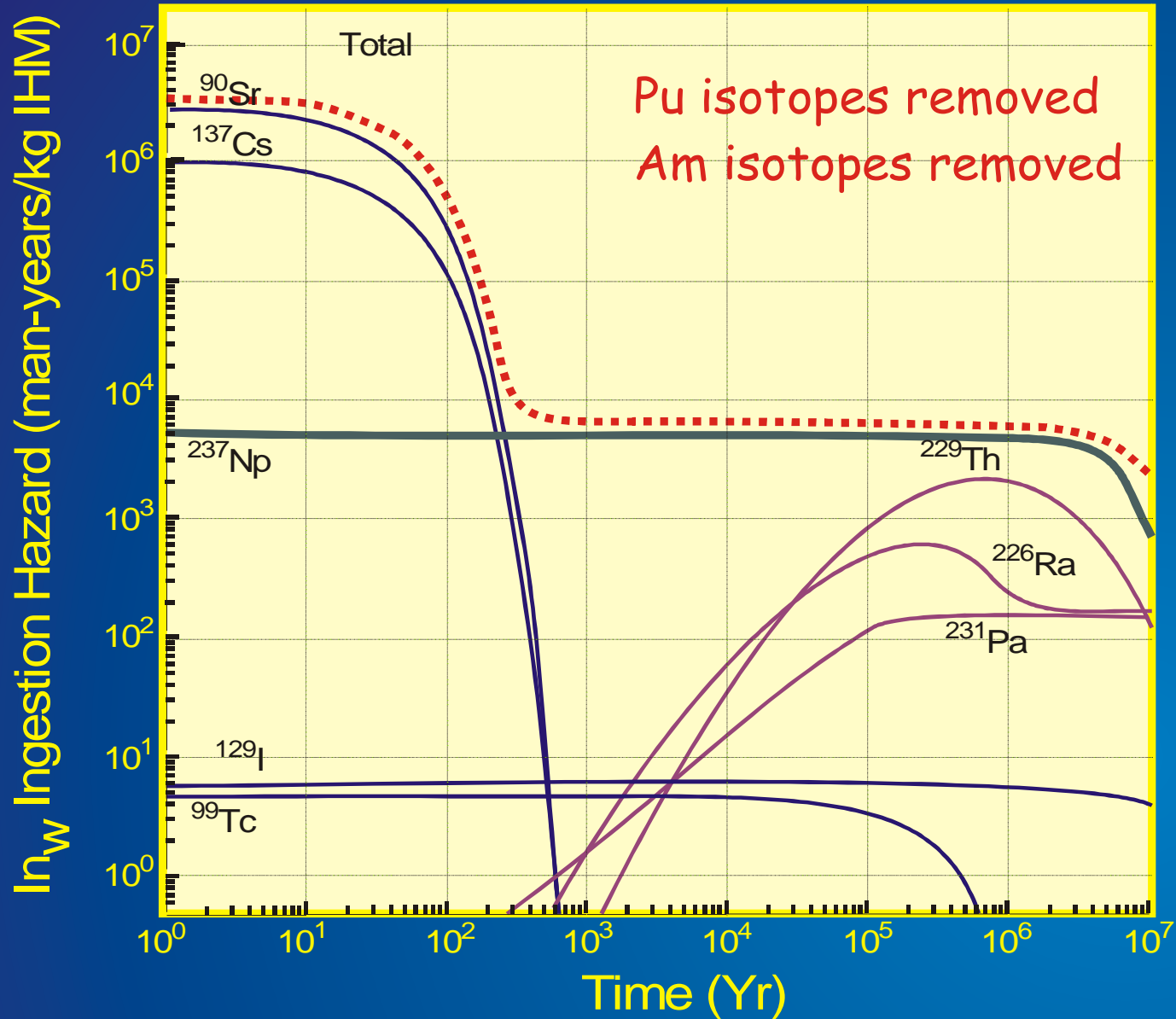
$\text{In}_w = A/\text{ALI}$  (man-years/kg spent fuel)  
where A is activity in Bq and ALI is the Annual Limit for Ingestion)

# Radiotoxicity as Ingestion Hazard



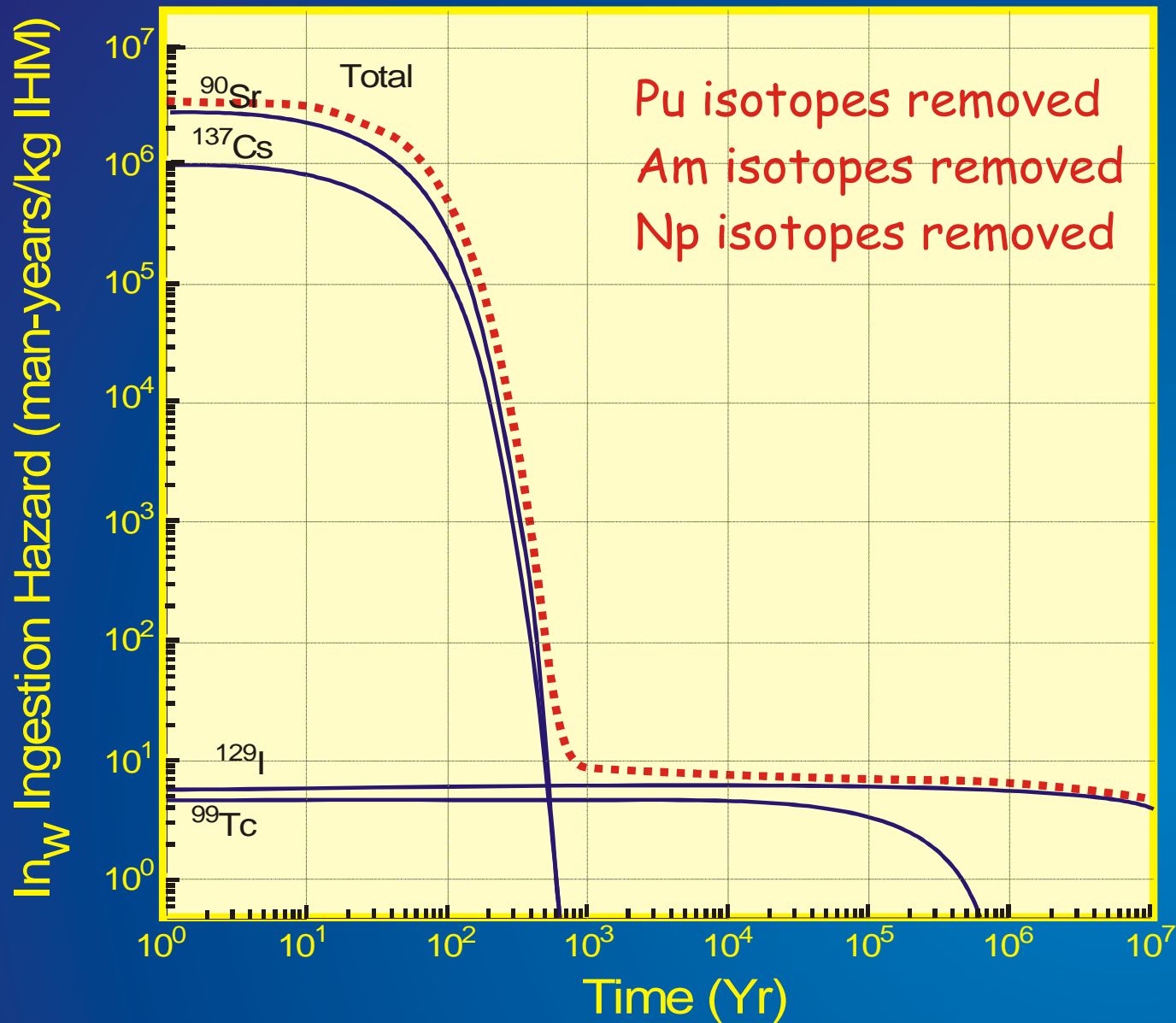
$In_w = A/ALI$  (man-years/kg spent fuel)  
where A is activity in Bq and ALI is the Annual Limit for Ingestion)

# Radiotoxicity as Ingestion Hazard



$In_w = A/ALI$  (man-years/kg spent fuel)  
where A is activity in Bq and ALI is the Annual Limit for Ingestion)

# Radiotoxicity as Ingestion Hazard



$In_w = A/ALI$  (man-years/kg spent fuel)  
where A is activity in Bq and ALI is the Annual Limit for Ingestion)

# Радиоактивные отходы (РАО)

ИСТОЧНИК	ОБЪЕМ (м <sup>3</sup> )	АКТИВНОСТЬ (Ки)
Добыча и переработка руд	10 <sup>8</sup>	1,8×10 <sup>5</sup>
Обогащение урана, производство ТВЭЛов	1,6 × 10 <sup>6</sup>	4 × 10 <sup>4</sup>
Атомные электростанции	3 × 10 <sup>5</sup>	2,5 × 10 <sup>3</sup>
Радиохимические предприятия	5 × 10 <sup>8</sup>	9 × 10 <sup>8</sup>
Эксплуатация атомных Подлодок, ледоколов	2,9 × 10 <sup>4</sup>	2,1 × 10 <sup>4</sup>
Строительство и утилизация подлодок	4 × 10 <sup>3</sup>	2 × 10 <sup>2</sup>
Изотопные источники	2,0 × 10 <sup>5</sup>	6,0 × 10 <sup>2</sup>

**В результате в России накоплено более  
600 миллионов м<sup>3</sup> радиоактивных отходов  
активностью 2,5 миллиарда Ки**

# Relevant time scales



Origin of the earth  
4.6 billion years ago

Safe disposal of HLW

Rock salt dome Gorleben, Germany

Clay rock (Call. Oxford., France/Opalinus, Switzerl.)

Scandinavian shield (Granite), Finl./Sweden 1.2 – 3 bill. years



Origin of the universe  
20 billion years ago

$3 \times 10^8$

$2 \times 10^8$

$1 \times 10^8$

years

0

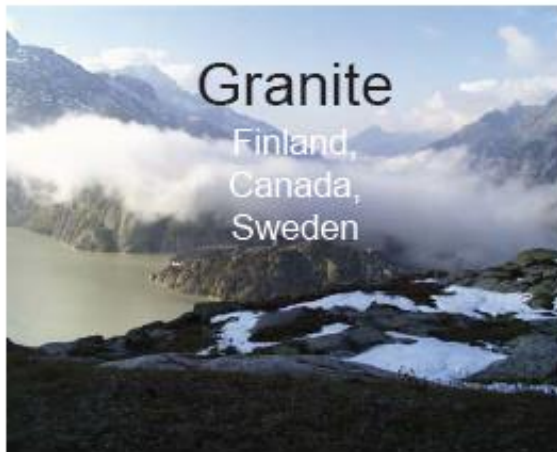


T-Rex

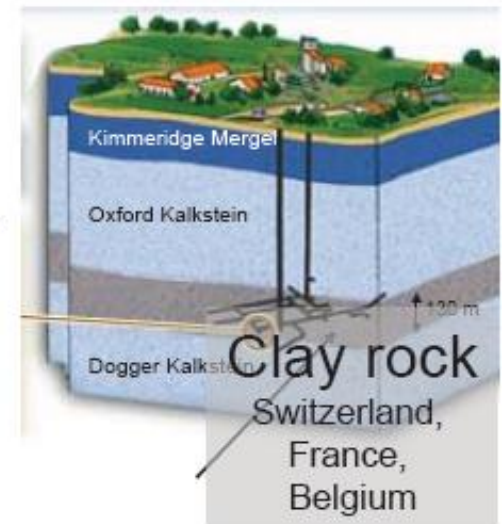
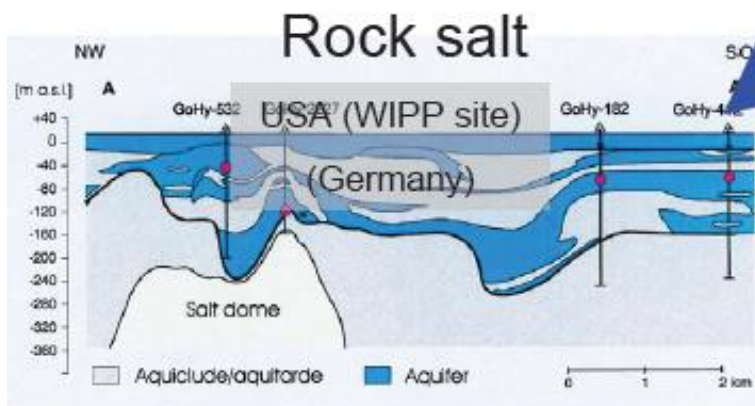


Australopithecus  
ca. 5 Mio. years

# Захоронение РАО и/или ОЯТ



Disposal concepts



# Геологическое захоронение РАО и/или ОЯТ

Различные геологические / геохимические условия

Граниты

Туфы

Глины

Солевые формации

окислительные условия

восстановительные условия

Глины



Switzerland,  
Mont Terri (Opalinus Clays)



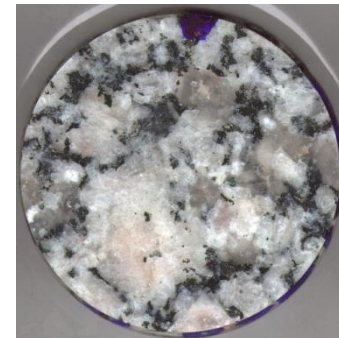
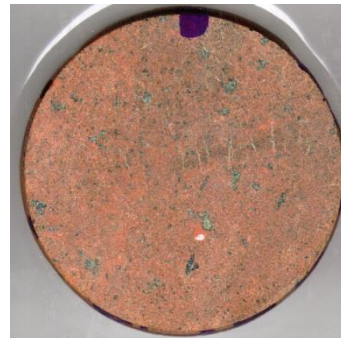
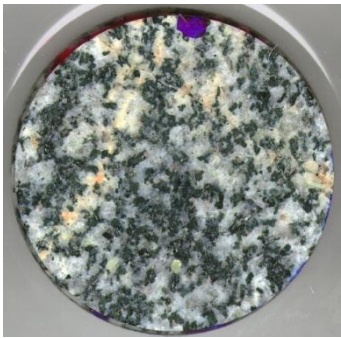
France,  
Bure, Mudstone



# 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)

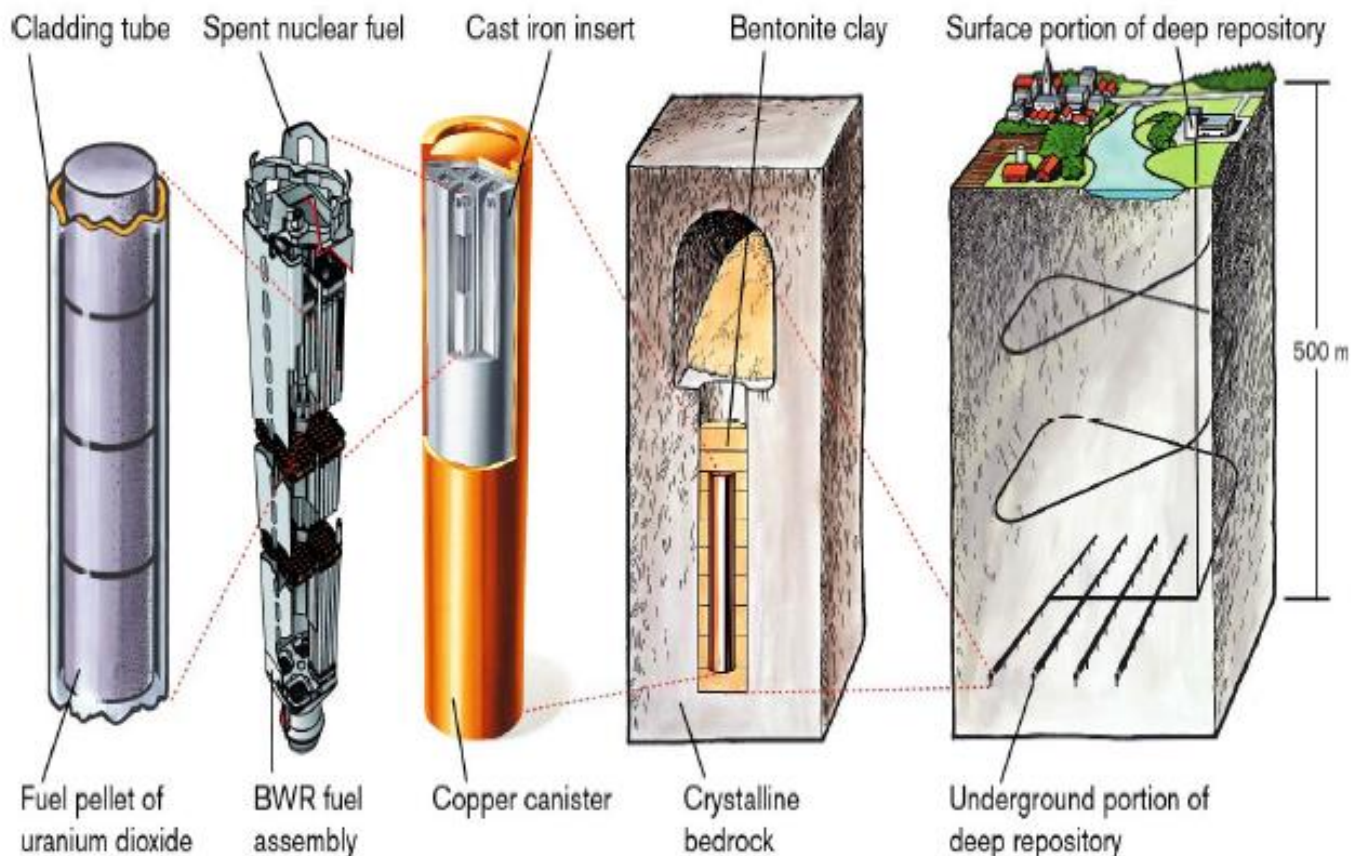
# Многобарьерная система при захоронении РАО/ОЯТ

Инженерные барьеры:

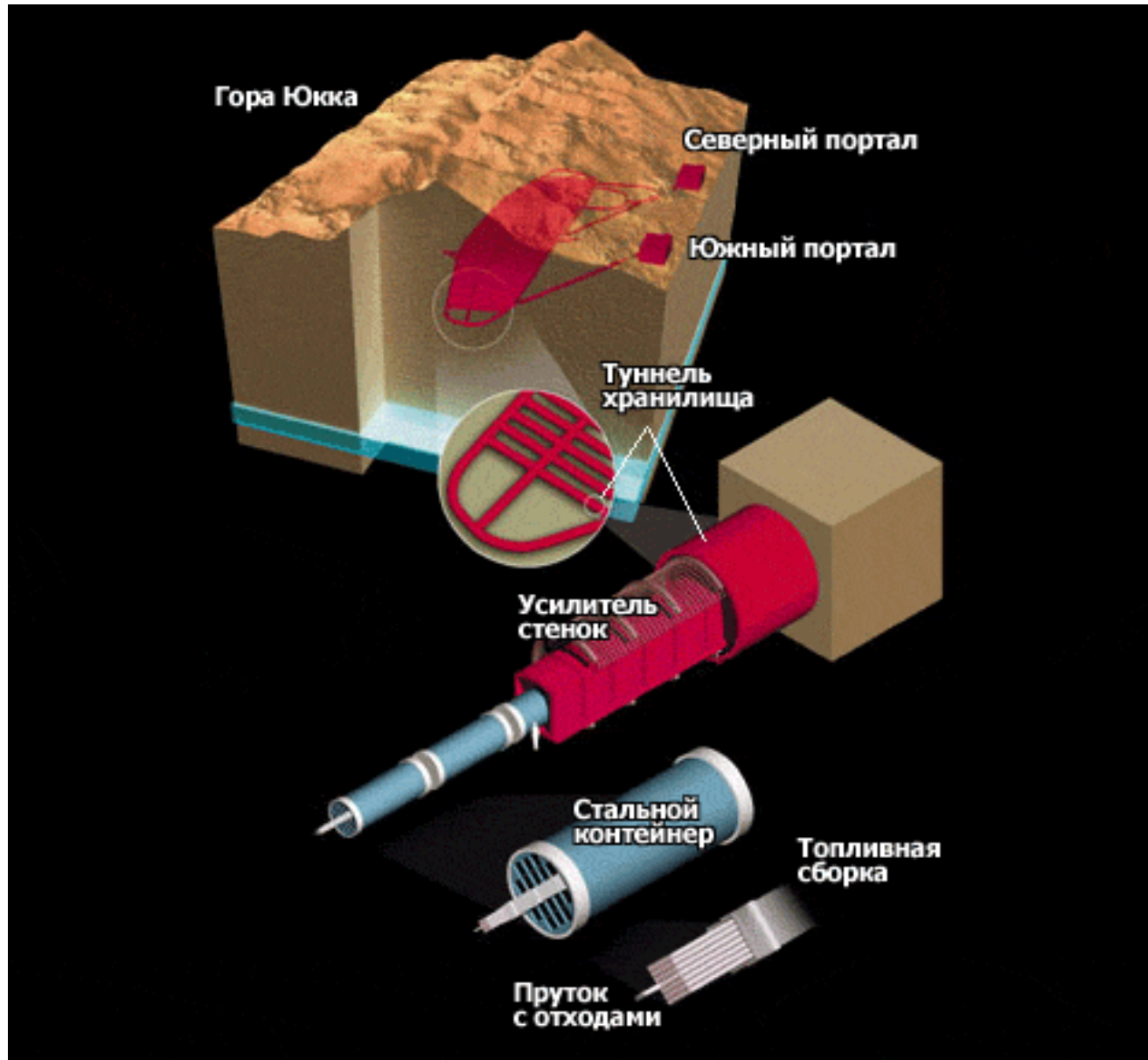
- матрица, в которую включены РАО (стекла, керамики)
- упаковка / контейнер
- буфер (глины, цементы, ...)

Геохимические барьеры: - горная порода

**Малонаселенное место, вне доступа подземных вод**

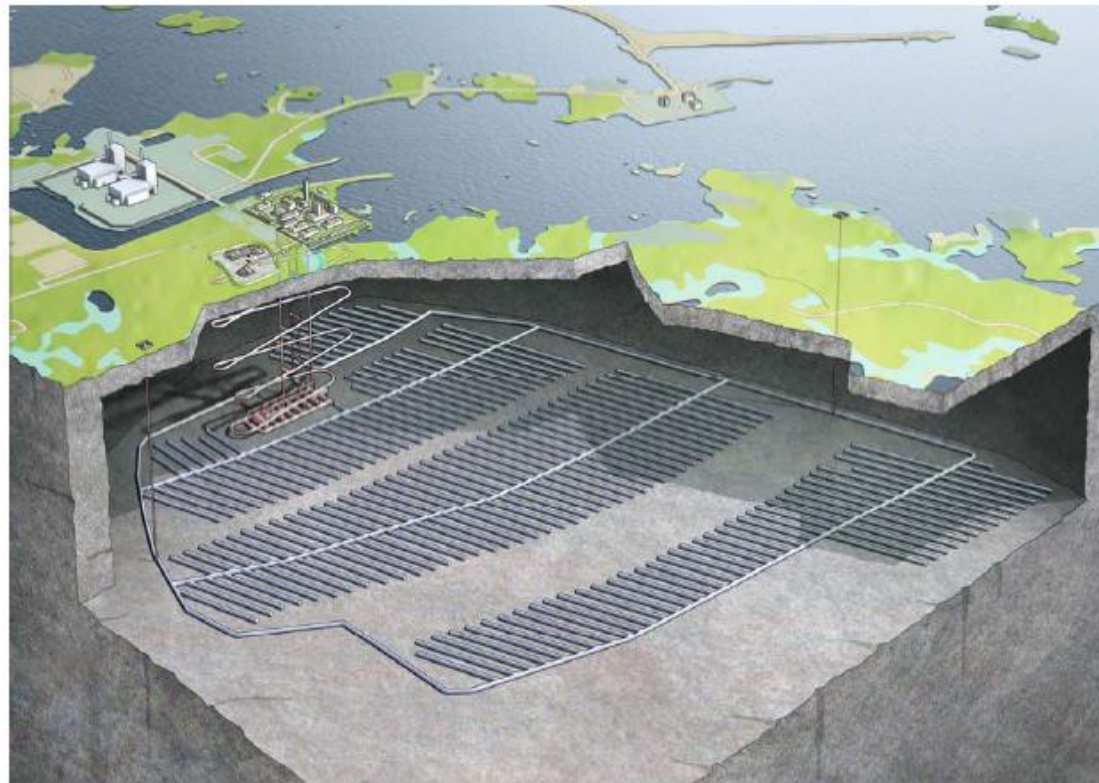


# Хранилище ОЯТ (США) Yucca Mountain, проект закрыт в 2010



# Прямое захоронение ОЯТ – открытый ЯТЦ

Шведский подход:  
Канистры из меди 50 мм



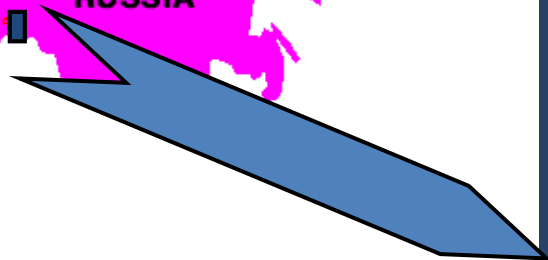
Источник: SKB





1- Dimitrovgrad; 2 - Tomsk-7; 3 - Krasnoyarsk-26; 4 - PA "Mayak"  
5 - Krasnokamensk; 6- Kola peninsula; 7 - Primorie (Far East)  
★ Nuclear power plants

# Источники радиоактивного загрязнения южного Урала



22 декабря 1948 – завод по выделению оружейного плутония из облученного урана

Производительность – переработка до 1 тонны урановых блоков в день

**около  $10^5$  Ки**



За год до пуска завода по получению оружейного плутония принято решение о строительстве комплекса «С» - закрытых емкостей для сброса ВАО из расчета **15000 м<sup>3</sup> в год**. Реальные объемы накопления ВАО составили **200 м<sup>3</sup> в день**.

Все ёмкости заполнились уже в 1950 г.

Строительство новых ёмкостей стоило стране ~1 млн. рублей в день. Мера сбросов сточных вод в ёмкости «С» себя не оправдал.

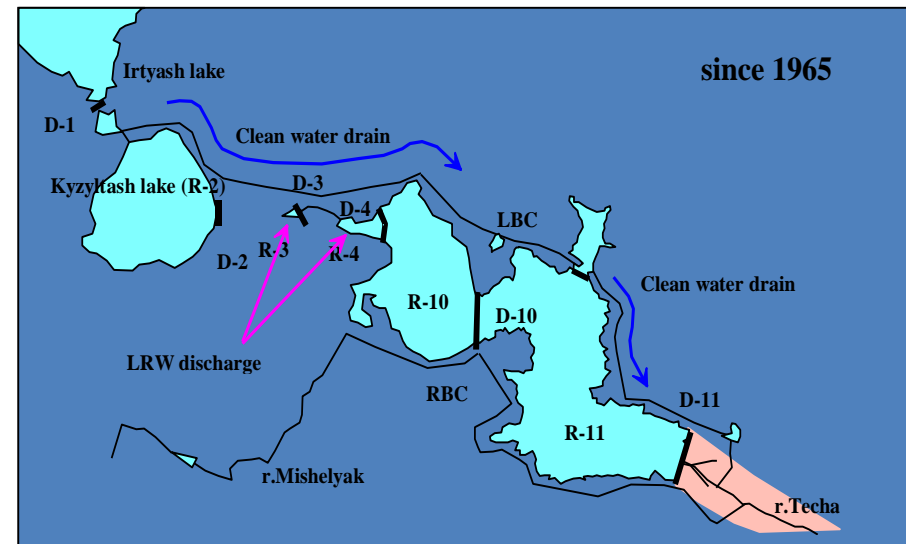
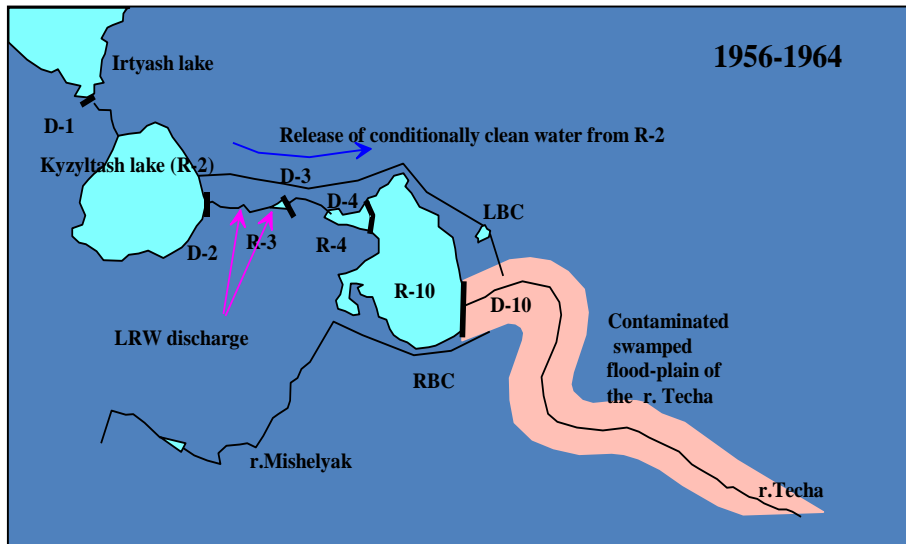
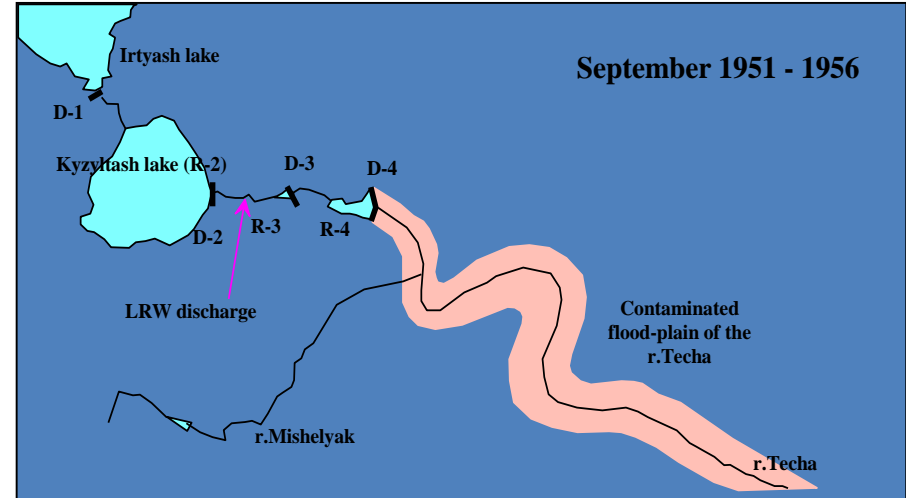
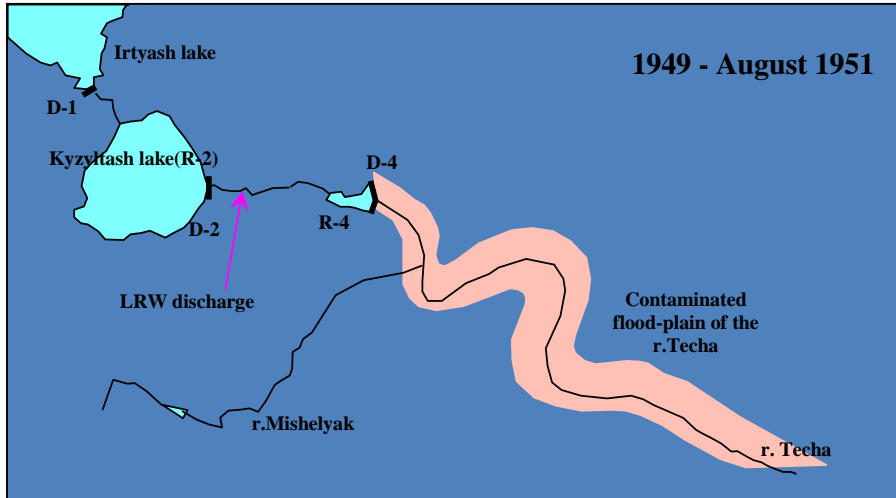
С 1949 по 1956 гг. в р. Теча осуществлялся сброс отходов радиохимического производства. Всего за указанный период в реку было сброшено **76 млн. м<sup>3</sup>** сточных вод общей активностью около 2,8 млн Ки (по оценкам 1956 г.).



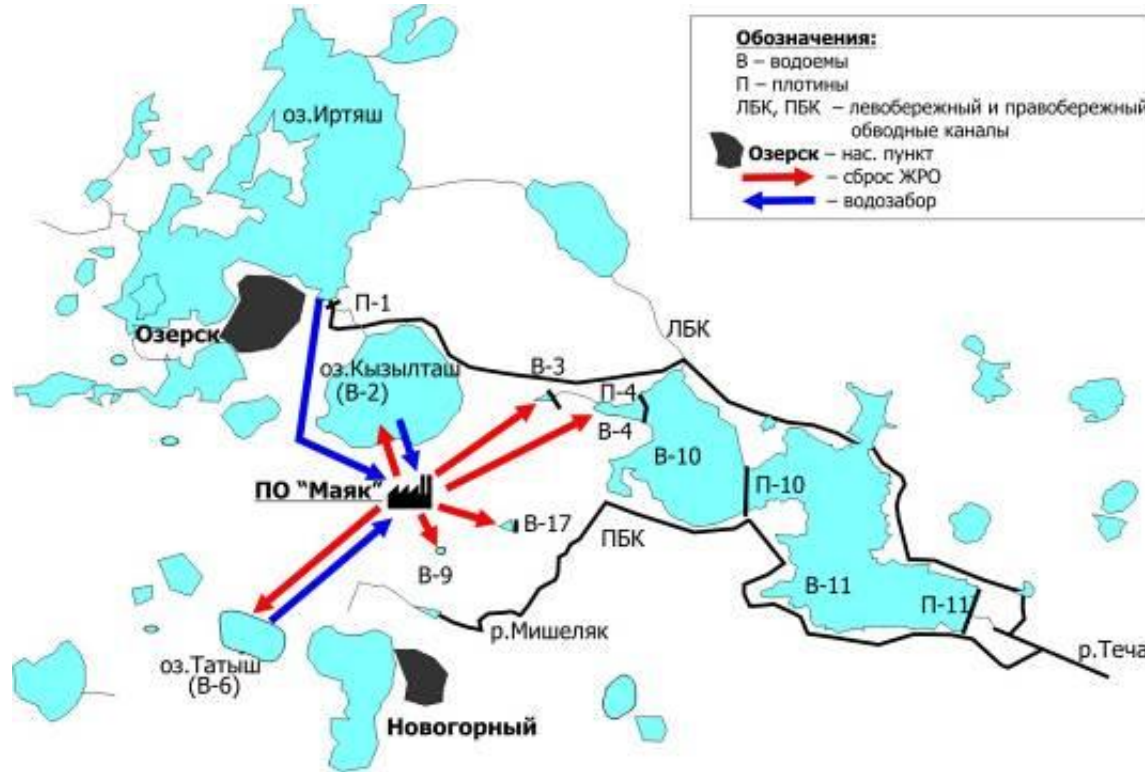
# Объемы РАО, поступивших в р. Теча

	I-XI.1949	XII.1949 -II.1950	III.1950 -XI.1951
Общая $\beta$ -активность, Ки/день	70	860	4300
$^{89}\text{Sr} + ^{140}\text{Ba}$ , %	1.8	6.9	8.8
$^{90}\text{Sr}$ , %	4.1	15.3	11.6
$^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$ , %	30	9.0	13.6
$^{103,106}\text{Ru}$ , %	55.6	45.3	25.9
$^{137}\text{Cs}$ , %	11	21.2	12.2
REE, %	-	5.7	26.8

# Создание Теченского каскада Водоёмов



# Промышленные водоемы ПО «Маяк»



Осенью 1951 г. сброс РАО был переведен с р. Теча в бессточное озеро Карачай. Позднее сброс и хранение части средне- и низкоактивных отходов производства производился в изолированных от открытой гидрографической сети водоемах-хранилищах. На предприятии существует восемь таких хранилищ — водоем В-2 (оз.Кызылташ), водоемы В-3, В-4, В-10, В-11 (Теченский каскад водоемов — ТКВ), водоем В-6 (оз. Татыш) и водоемы – хранилища САО - В-17 (Старое Болото) и В-9 (оз.Карачай). В водоемах депонировано более 120 млн Ки ( $4,4 \cdot 10^{18}$  Бк) бета-излучателей и 1 млн Ки ( $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк) альфа-излучателей.

# Промышленные водоемы ПО «Маяк»

оз. Иртяш

оз. Кызылташ (В-2)

В-4

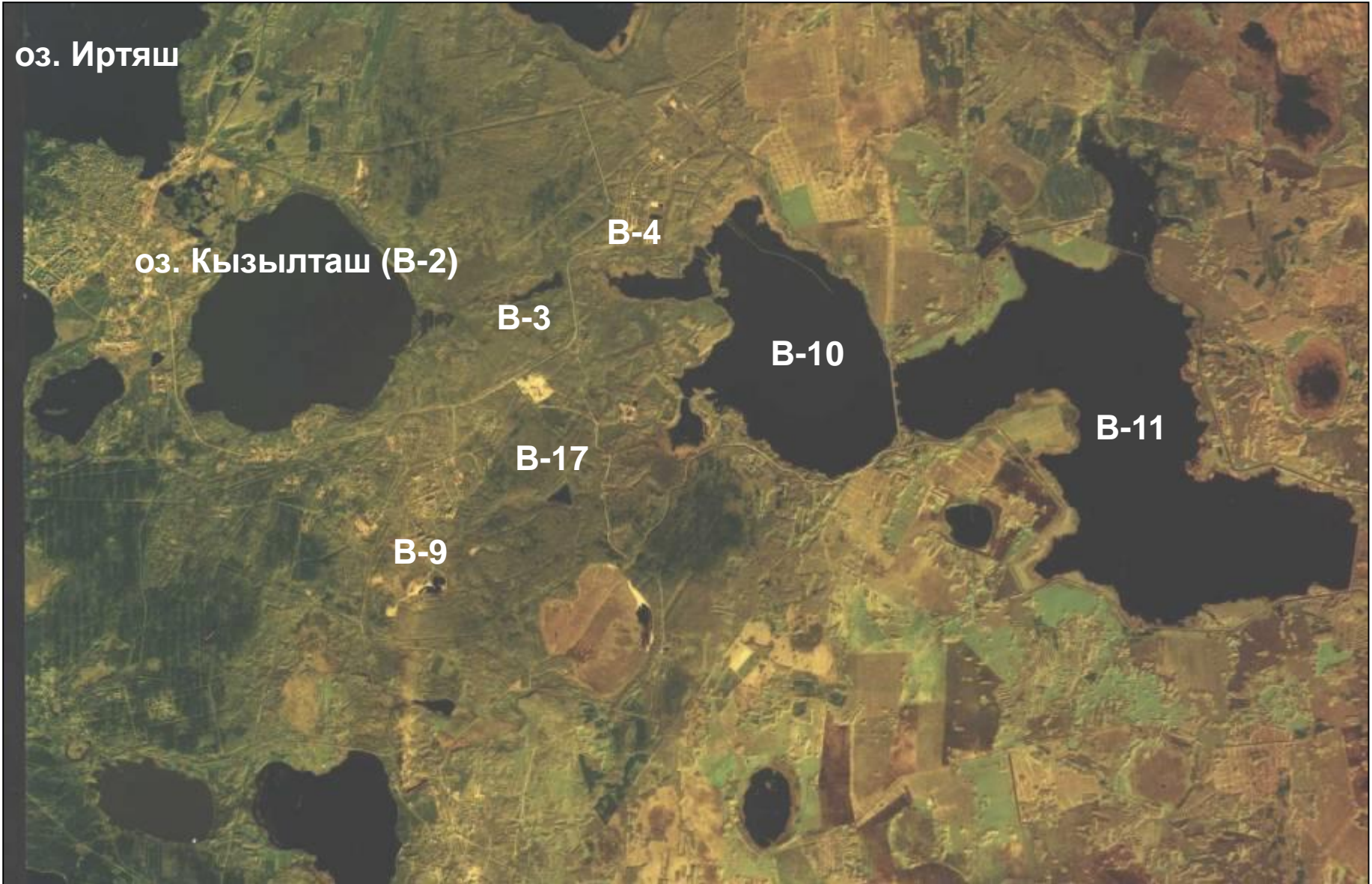
В-3

В-10

В-11

В-17

В-9



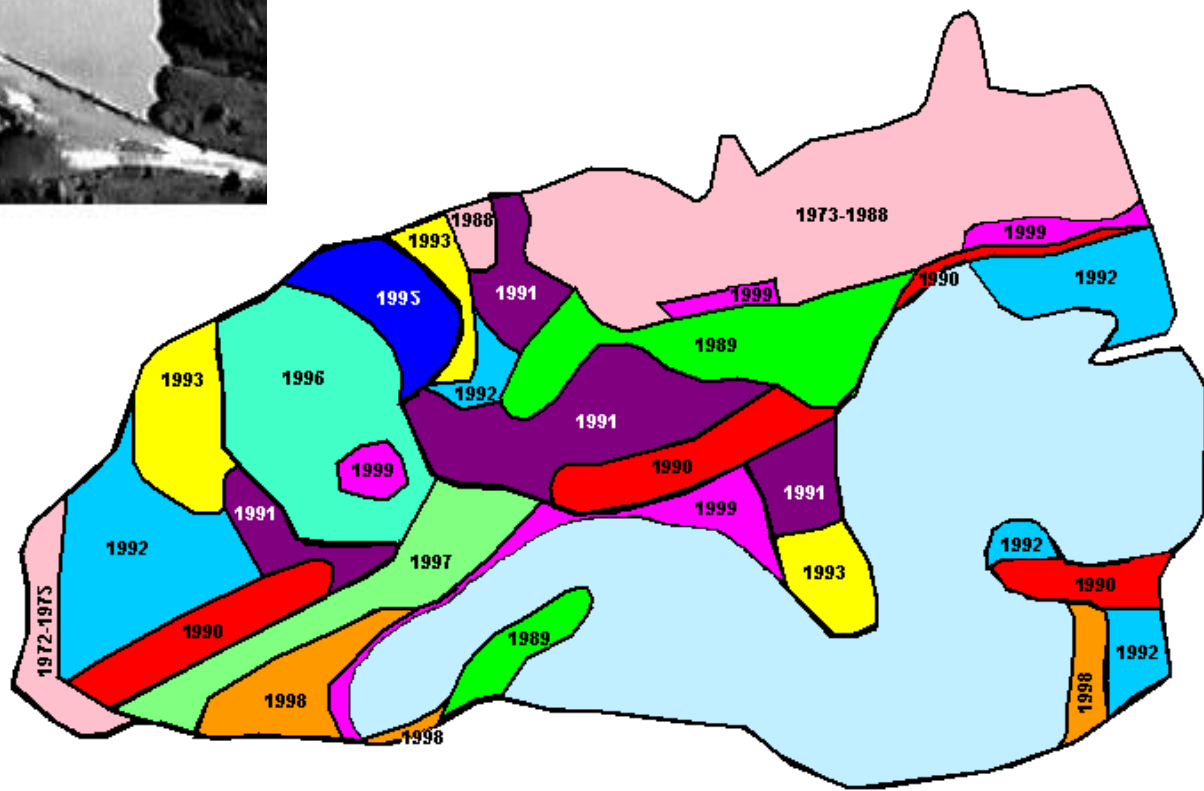
# Поведение в окружающей среде



ПО «Маяк»

2004

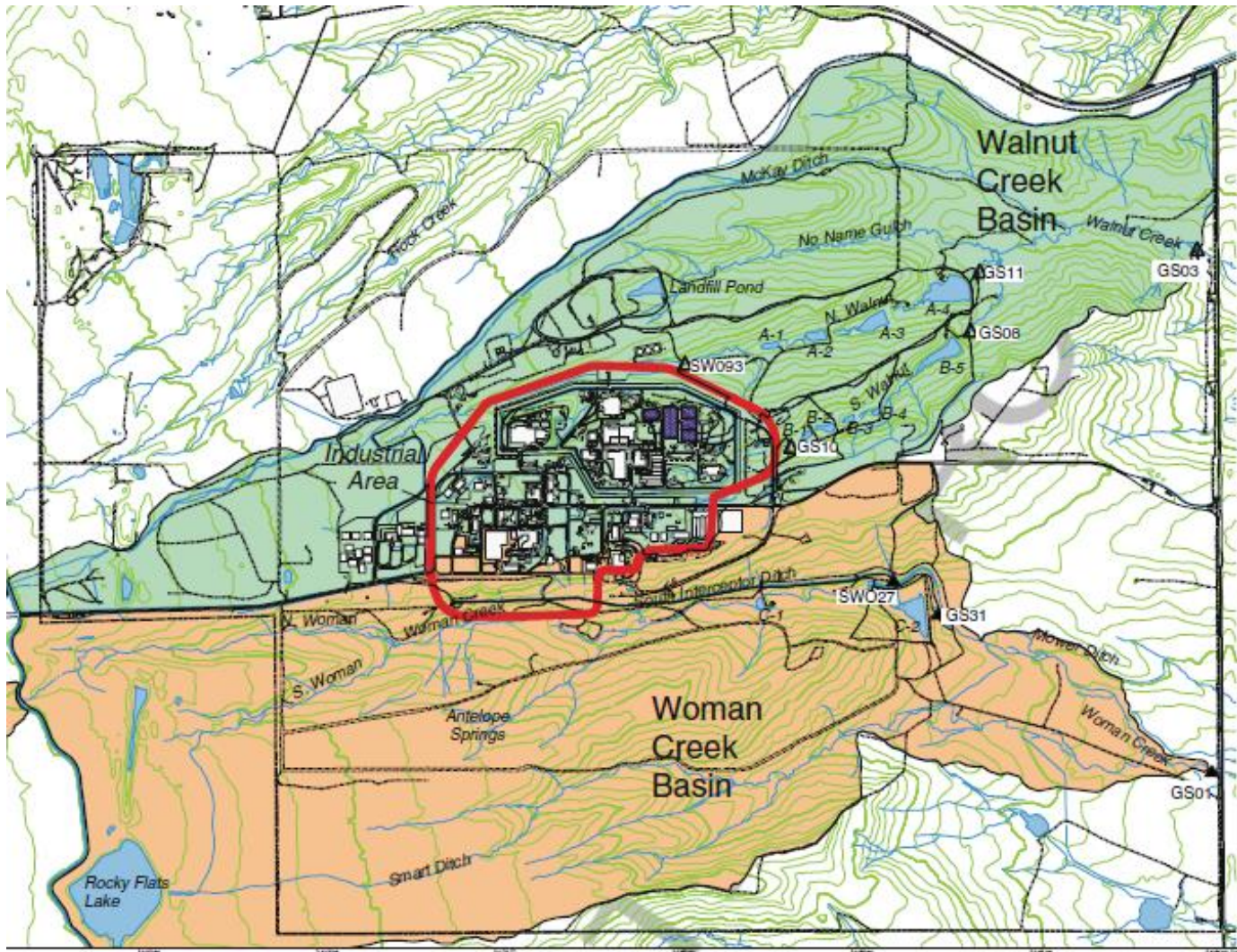
$$S = 110 \text{ т. м}^2$$
$$V = 400 \text{ т. м}^3$$



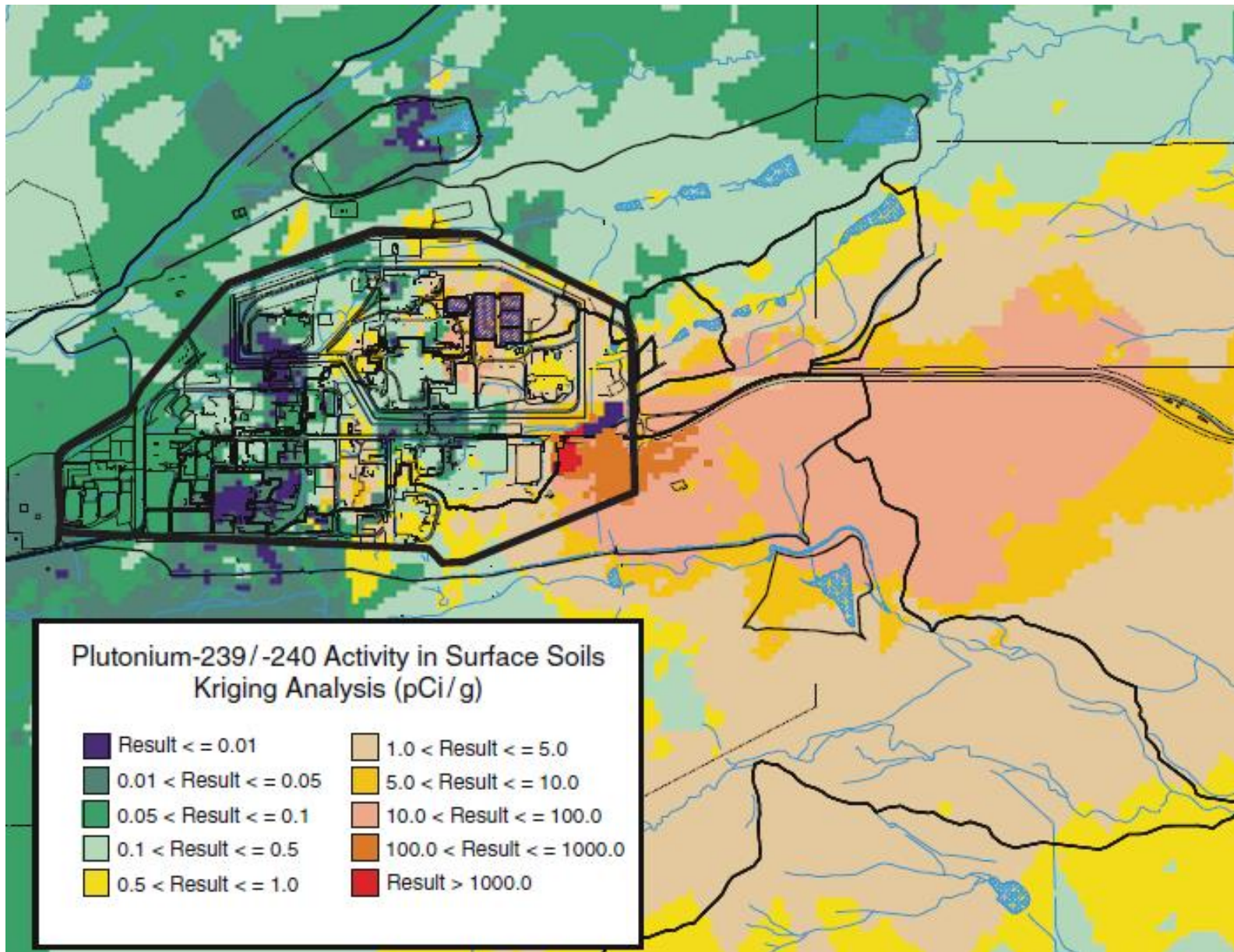
# Rocky Flats Environmental Technology Site (RFETS)

1995







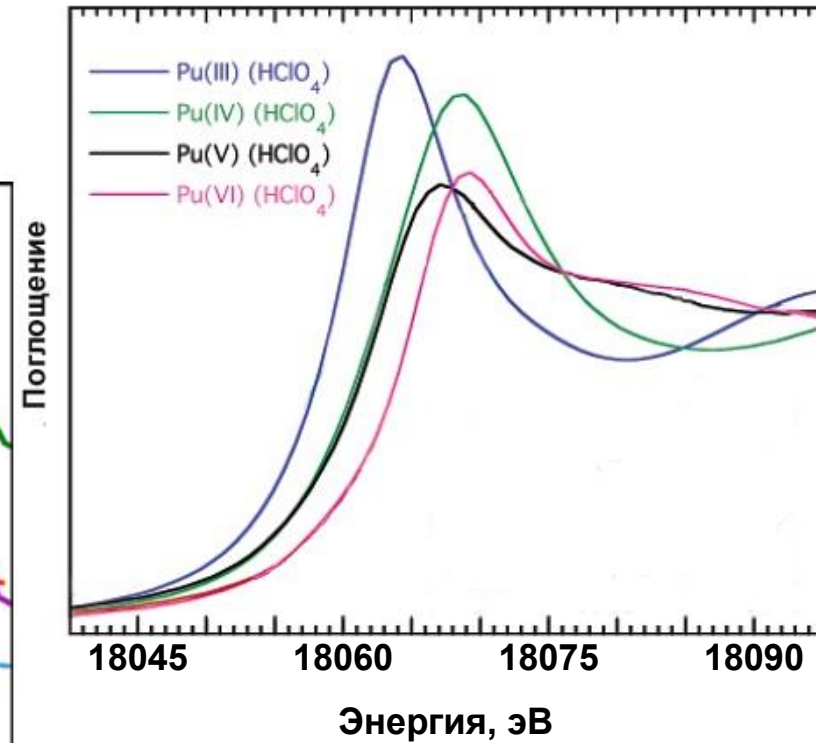
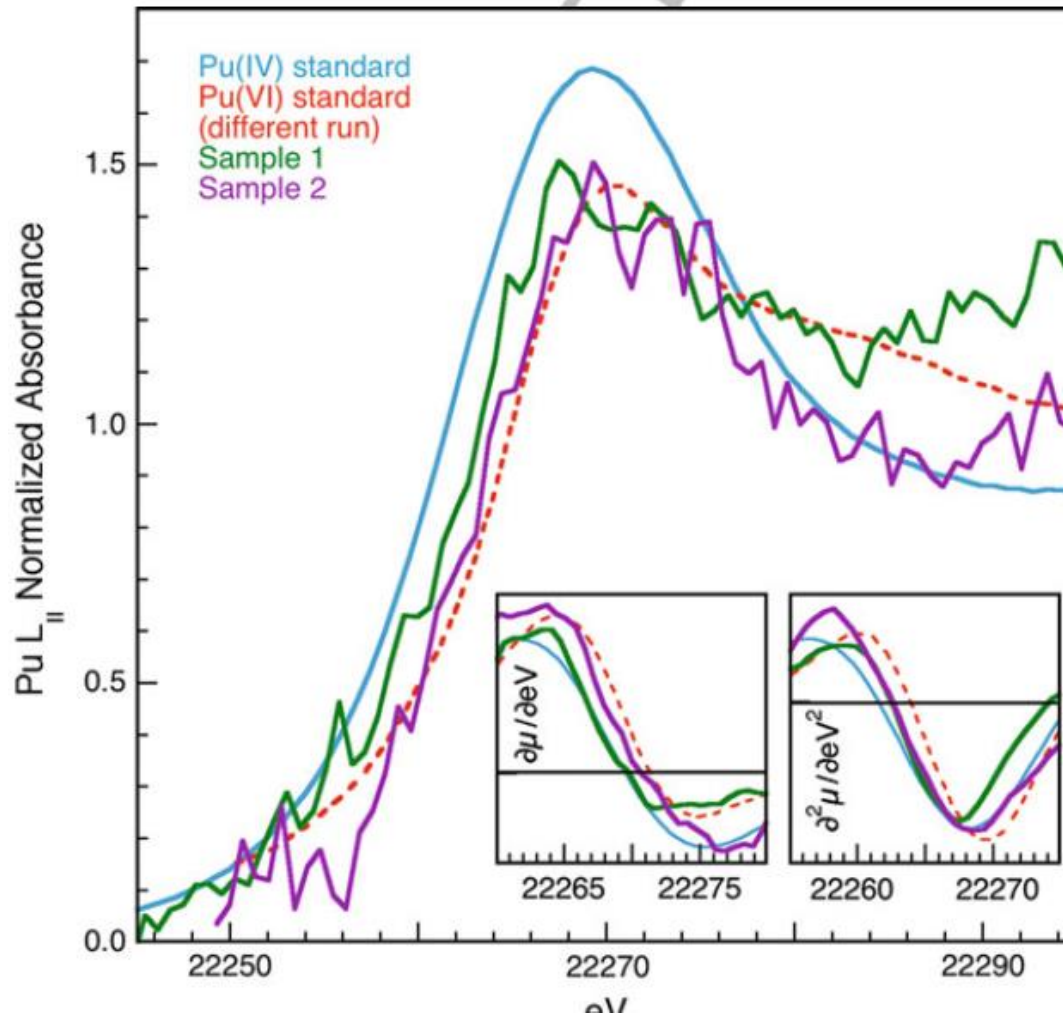


# Определение физико-химических форм плутония

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,

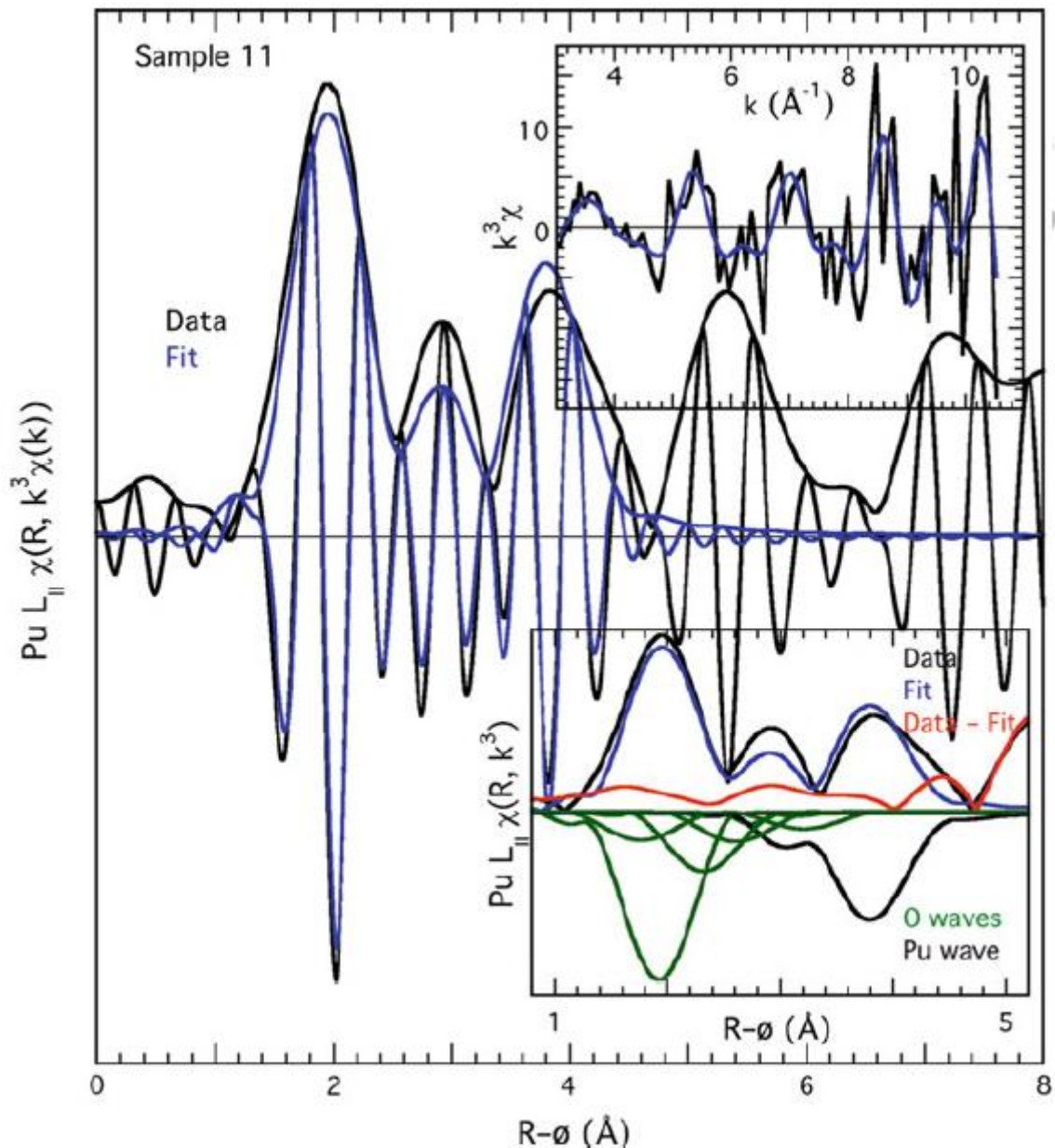
**Рентгеновская спектроскопия поглощения (XAFS)** – XANES и EXAFS – степень окисления, локальное атомное окружение (координационные числа, длины связей, факторы Дебая),

**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.

# 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



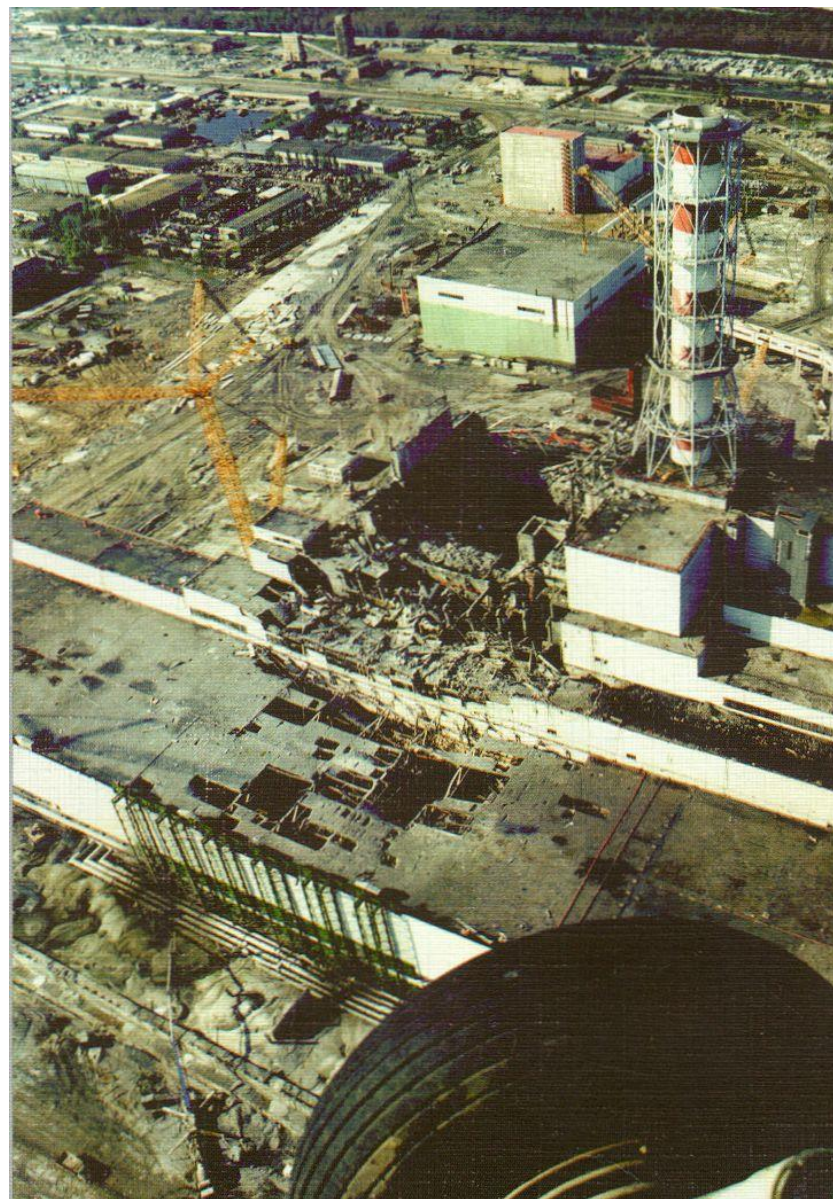
**В 1995 US DOE оценила реабилитацию Rocky Flats в сумму \$37 млрд в течение 70 лет. В 1996, DOE и Kaiser-Hill начали работы по реабилитации, которые были завершены к концу 2006 года, потратив \$7 млрд.**

# Авария на ЧАЭС

# напоминание

- **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)**





## Общие данные о реакторе на момент аварии

- **1659** топливных кассет (по 2 тепловыделяющих сборки ТВС в кассете)
- Масса 1 кассеты (по 2 ТВС) – 185 кг, длина – 10 м
- В каждой ТВС по 18 тепловыделяющих элементов (ТВЭлов). Внутренняя полость ТВЭла заполнена смесью аргона с гелием
- Масса урана (по металлу) в кассете – **114.7 кг**
- Масса оксида урана в 1 ТВЭле – 3.6 кг
- Масса оксида урана в 1 кассете (из 2 ТВС) – **125-135 кг ?????**  
*(данные из справочника – почему не 130 ?)*
- Длина активной зоны кассеты (из 2 ТВЭлов) примерно 7 м
- Масса графитовой кладки 1700 тонн (рабочая температура 700-750°C)
- Масса циркониевого сплава по длине активной зоны кассеты – до 40 кг
- Температура воды на входе в кассету – 265°C
- Температура воды на выходе из кассеты – 290°C
- Давление воды (вход-выход) в кассете – 80-75 атм.
- Максимальная температура на поверхности оболочки ТВЭла – 295°C
- Максимальная температура в центре топливной таблетки – 2100°C

***ИТОГО: 190 тонн урана (по металлу) или 215 тонн диоксида урана***

**Спустя 4 года  
(зима, 1990)**



**Сохранившиеся участки «рыжего» леса (мертвые сосны) 1.5  
км к западу от ЧАЭС, весна 1990**

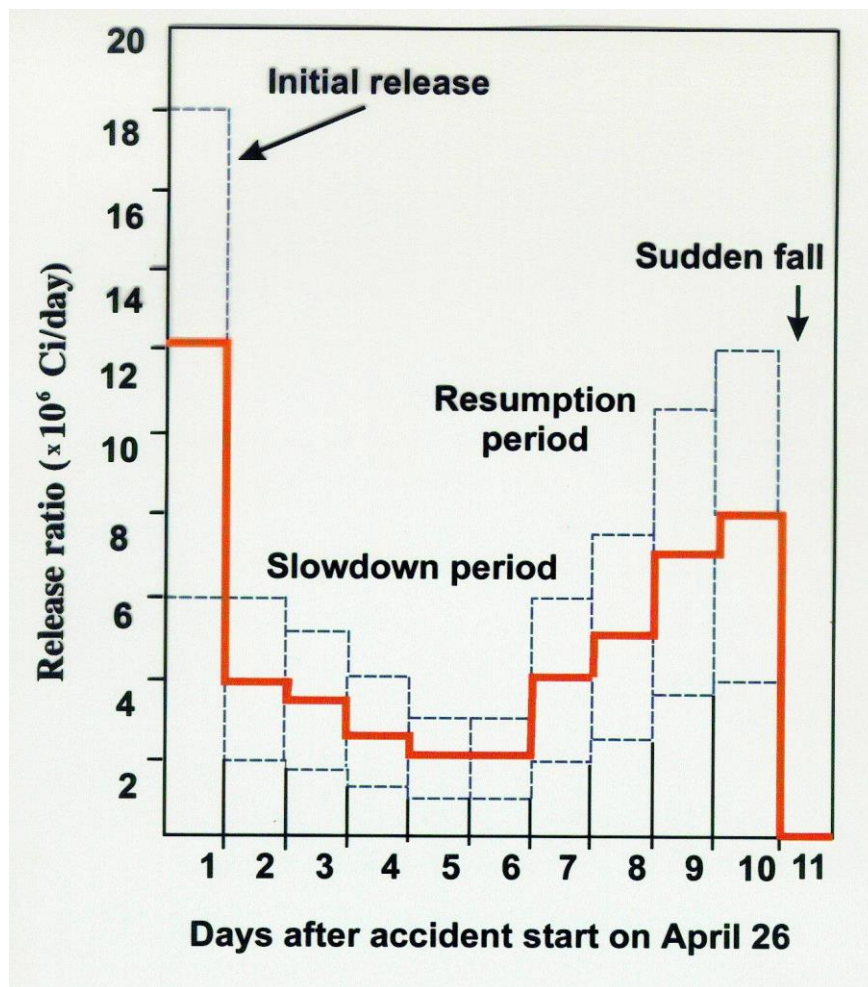


**Радиоактивное загрязнение местности в ближней зоне ЧАЭС  
крайне неравномерное  
участки мертвого леса чередуются с живыми деревьями**

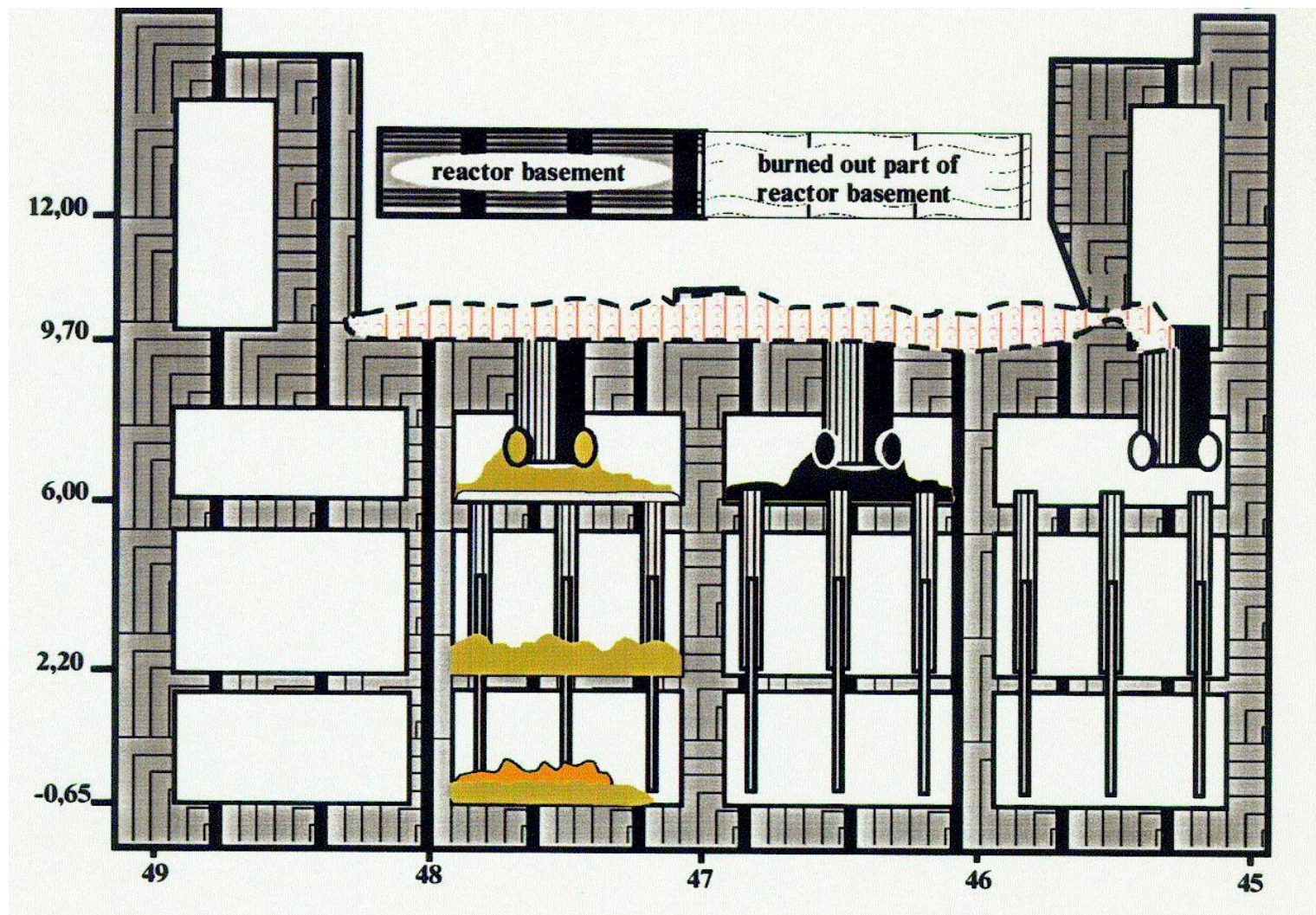


# Динамика радионуклидного выброса в первые 11 дней

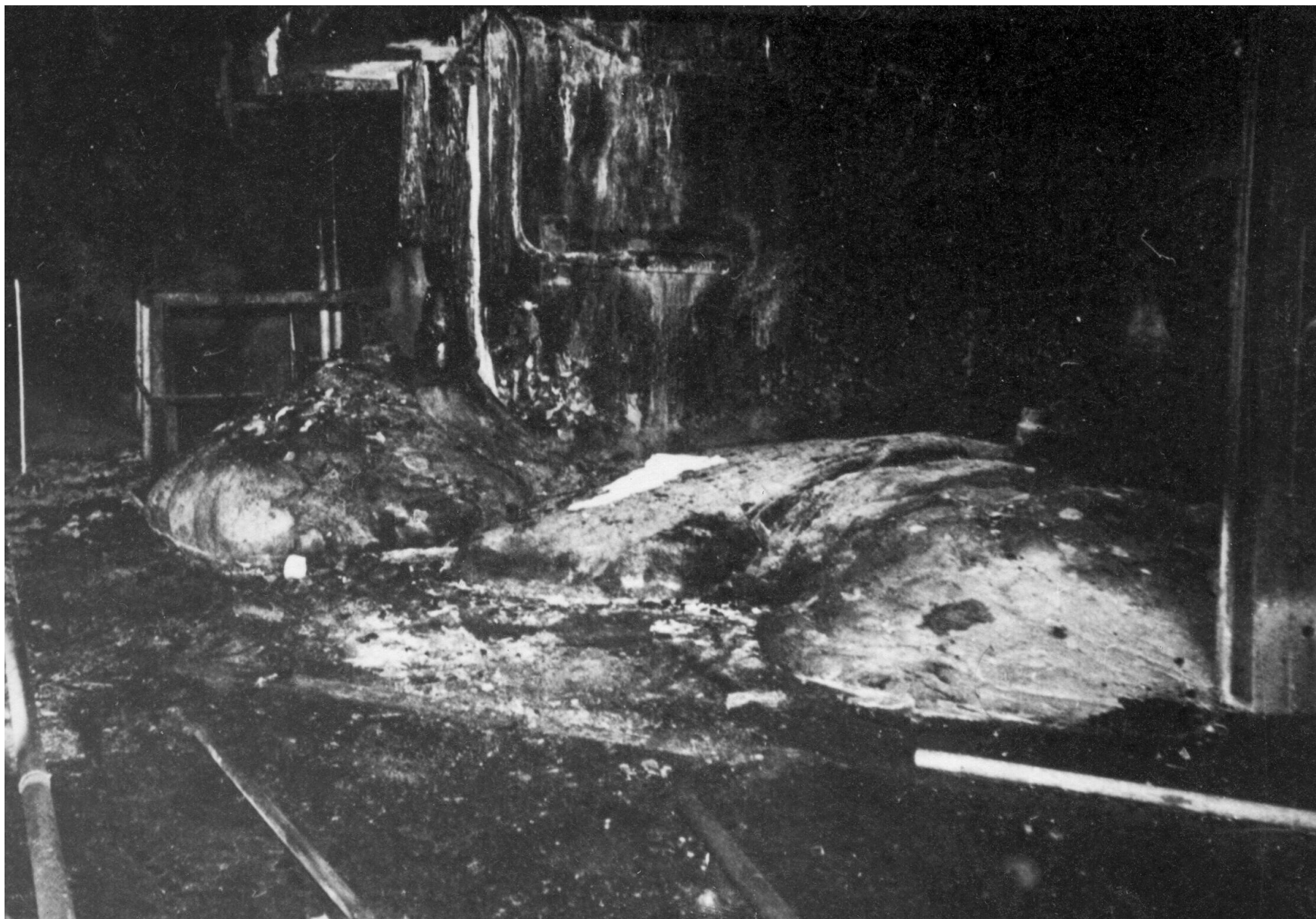
результаты измерений с вертолетов (опубликованы МАГАТЭ)



В бывшей шахте реактора ядерное топливо не обнаружено  
(в значимых количествах),  
но в подреакторных помещениях найдены скопления топливосодержащих  
масс (ТСМ) или **Чернобыльские лавы**



## Язык Чернобыльской лавы «Слоновья нога» (1990)



## Участок «Слоновьей ноги» (1990)

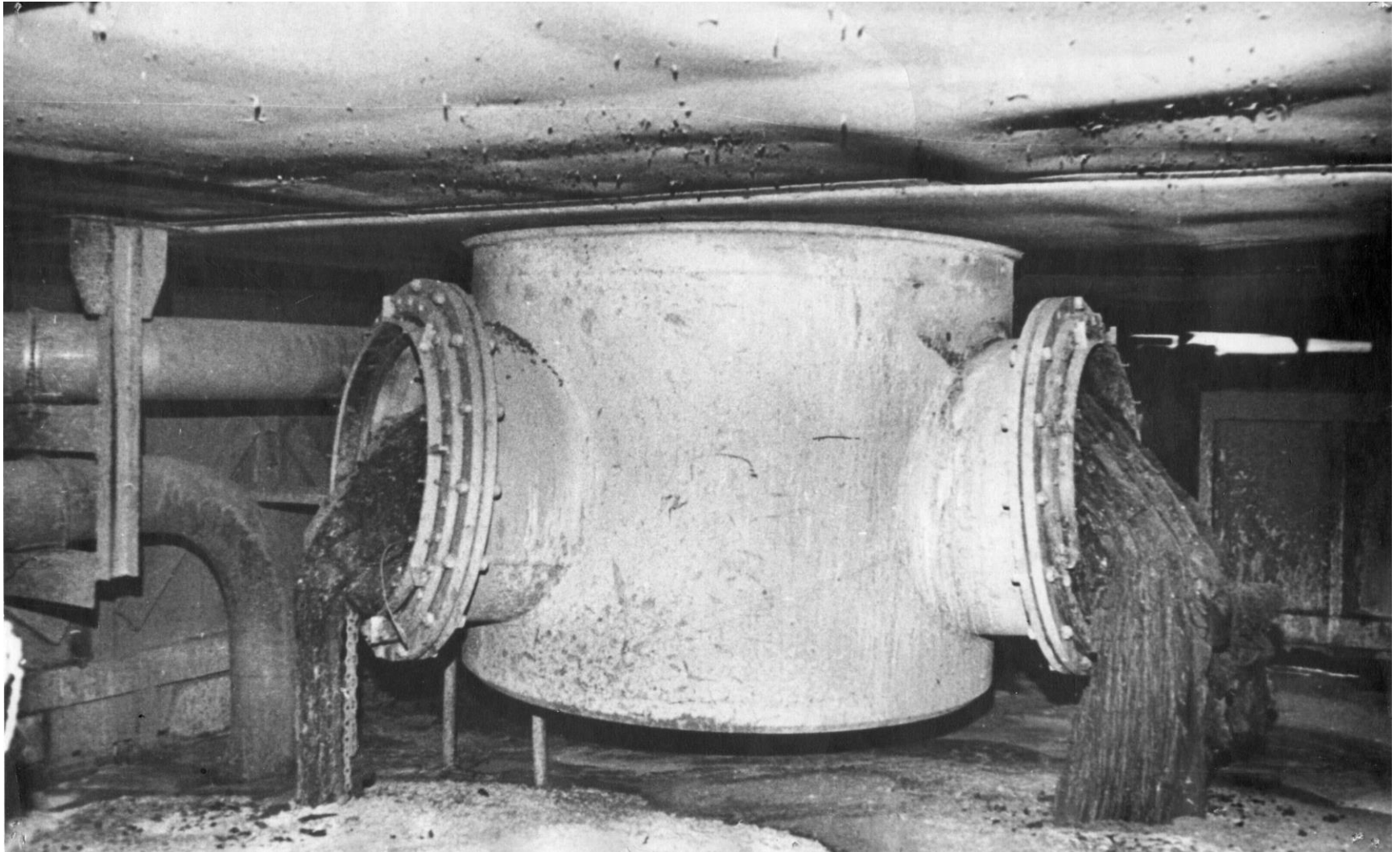




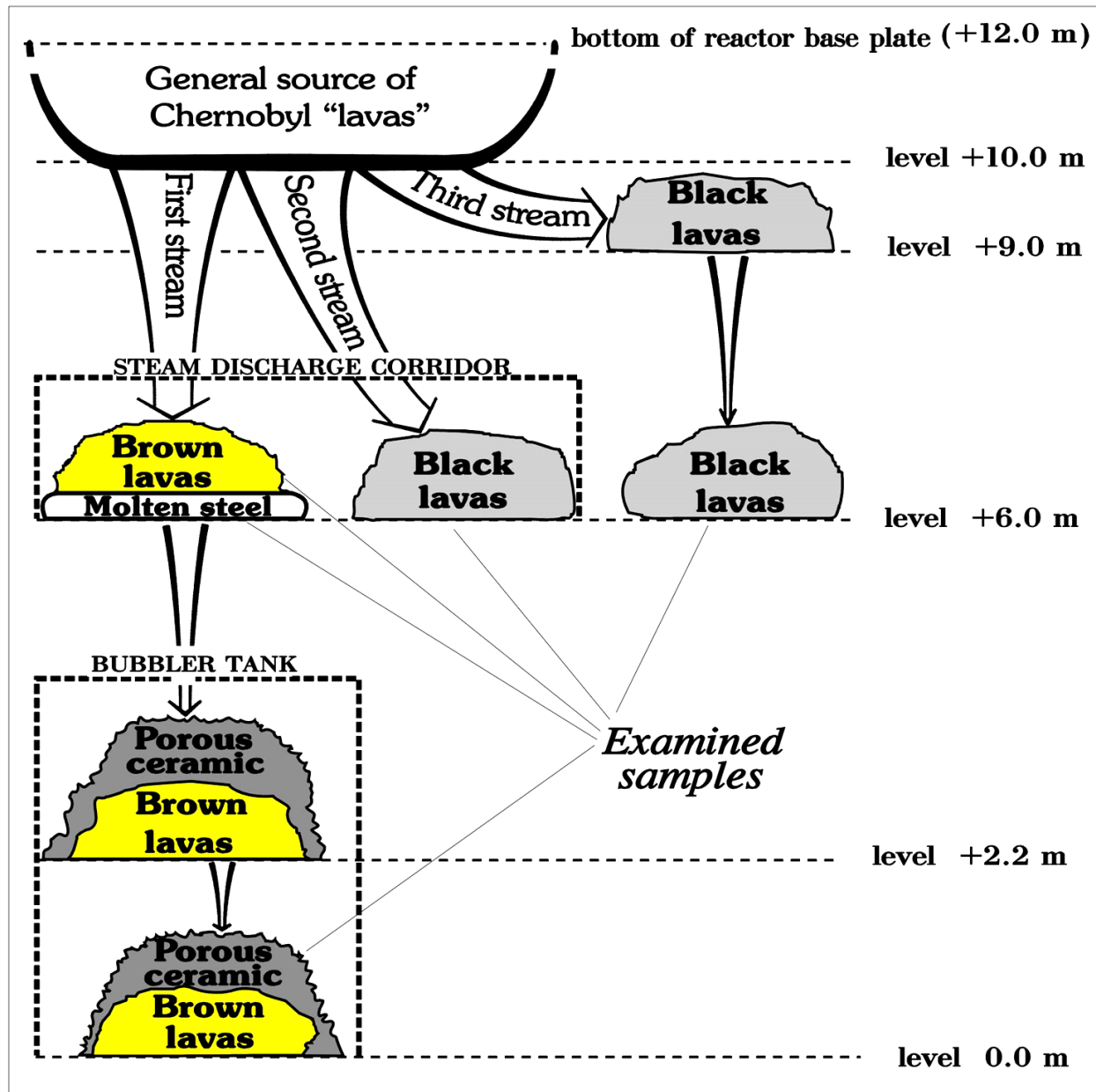
**Первые образцы лавы из «Слоновой ноги» сотрудникам Курчатовского института пришлось отстреливать из автомата Калашникова – из-за высокой механической прочности**

*В 1990 году этой проблемы уже не было – образцы легко откалывались. Была отмечена не только потеря механической прочности, но и разрыхление поверхности лавы*

# Чернобыльские лавы в парораспределительном коридоре (1990)



# Отбор образцов «лав», 1990



# Вопрос №2 (1990)

**Чернобыльские лавы – что это такое ?**

**Все образцы Чернобыльских лав, которые мы изучали,  
были отобраны вручную  
(на фото – внутри «Саркофага» - образец лавы перед упаковкой для вывоза в Радиевый  
институт, 1990)**



**В одном из помещений «Саркофага» большие куски лав (десятки см<sup>3</sup>) растворяли в плавиковой кислоте**

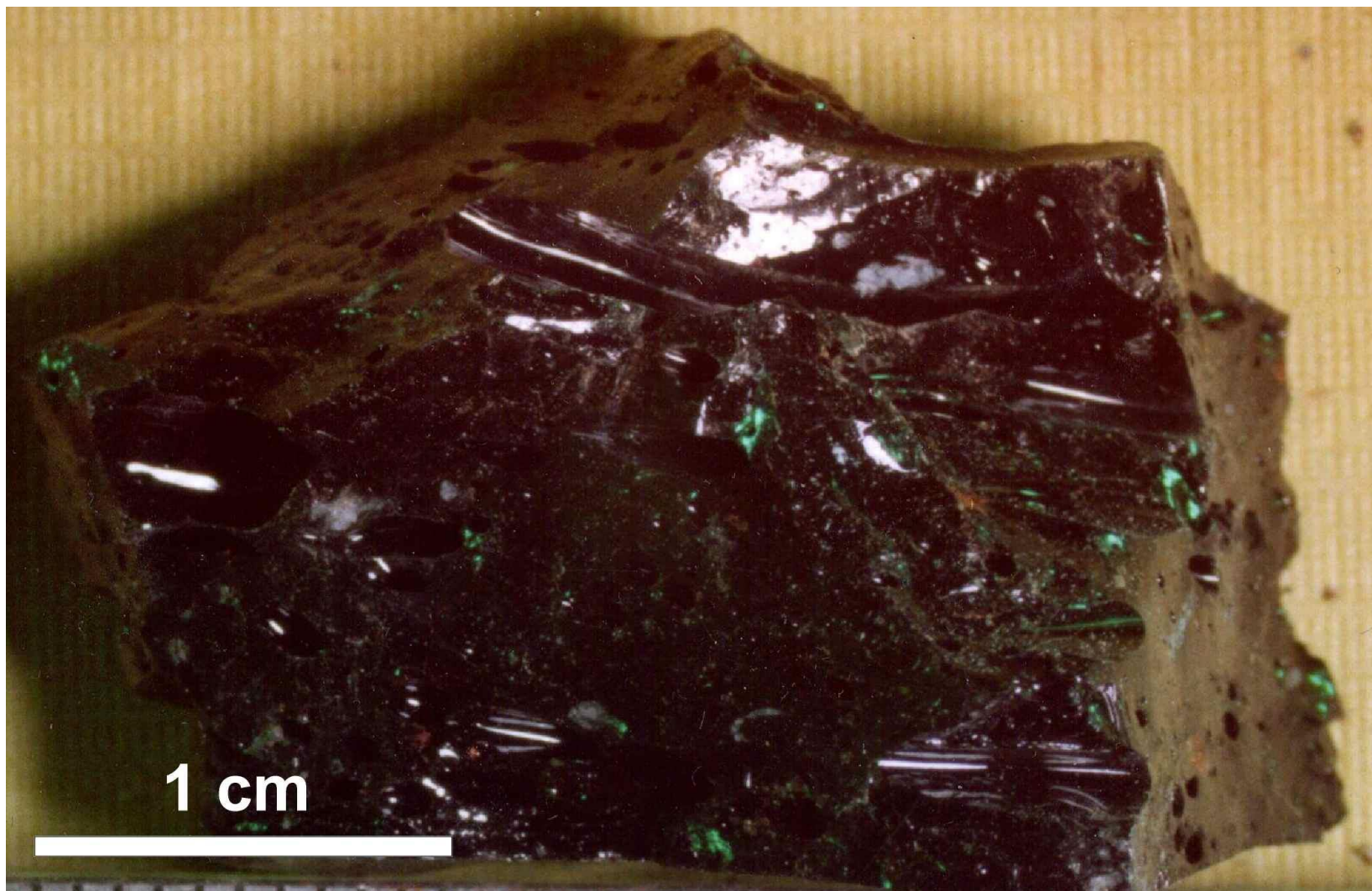
*Нерастворимый остаток промывали, упаковывали и отправляли в Радиевый институт в Ленинград*

*Уникальный концентрат техногенных минералов, образовавшихся в результате аварии*

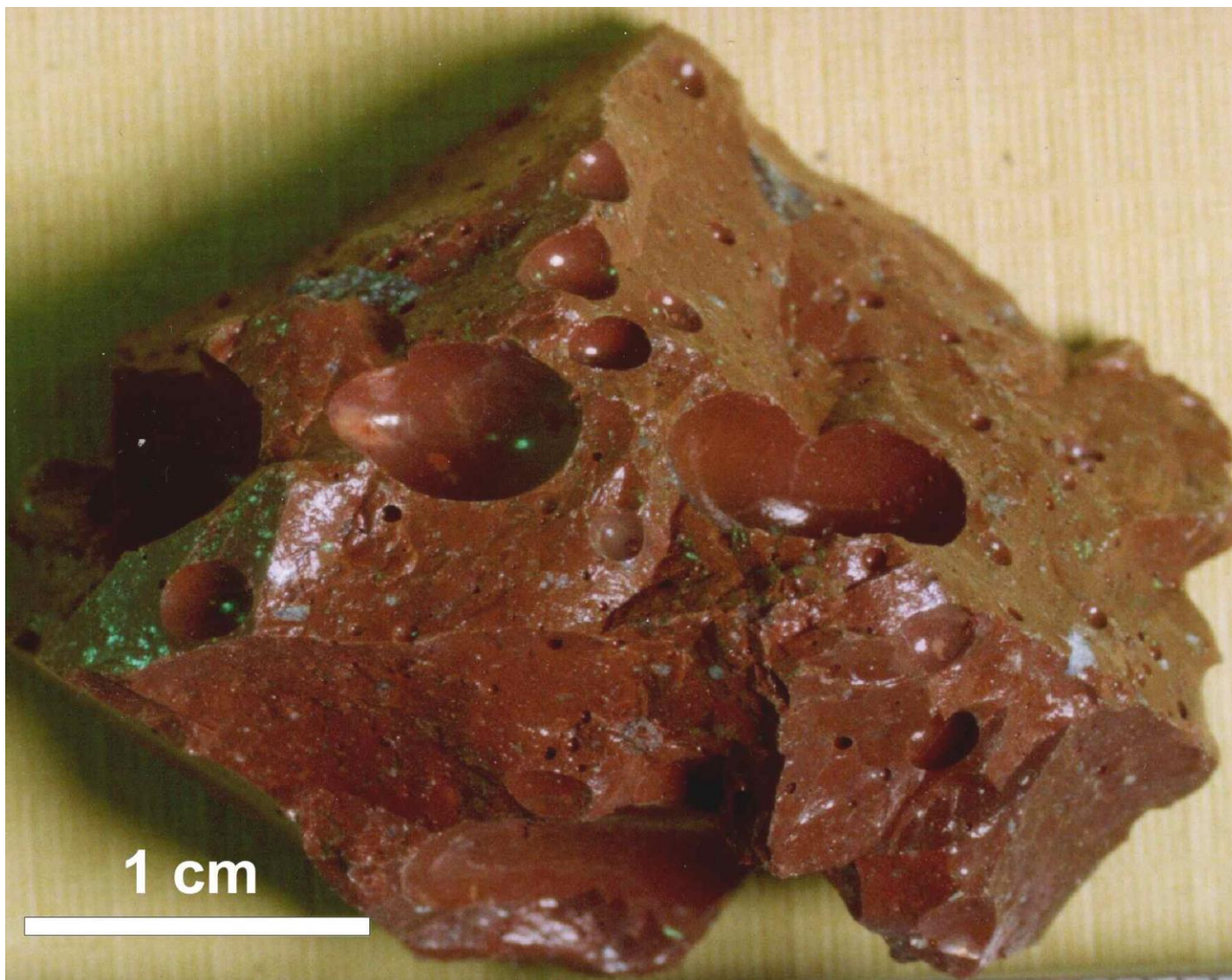
**Значительная часть этого материала не изучена до сих пор!**

# Образец черной Чернобыльской лавы

из «Слоновъей ноги»

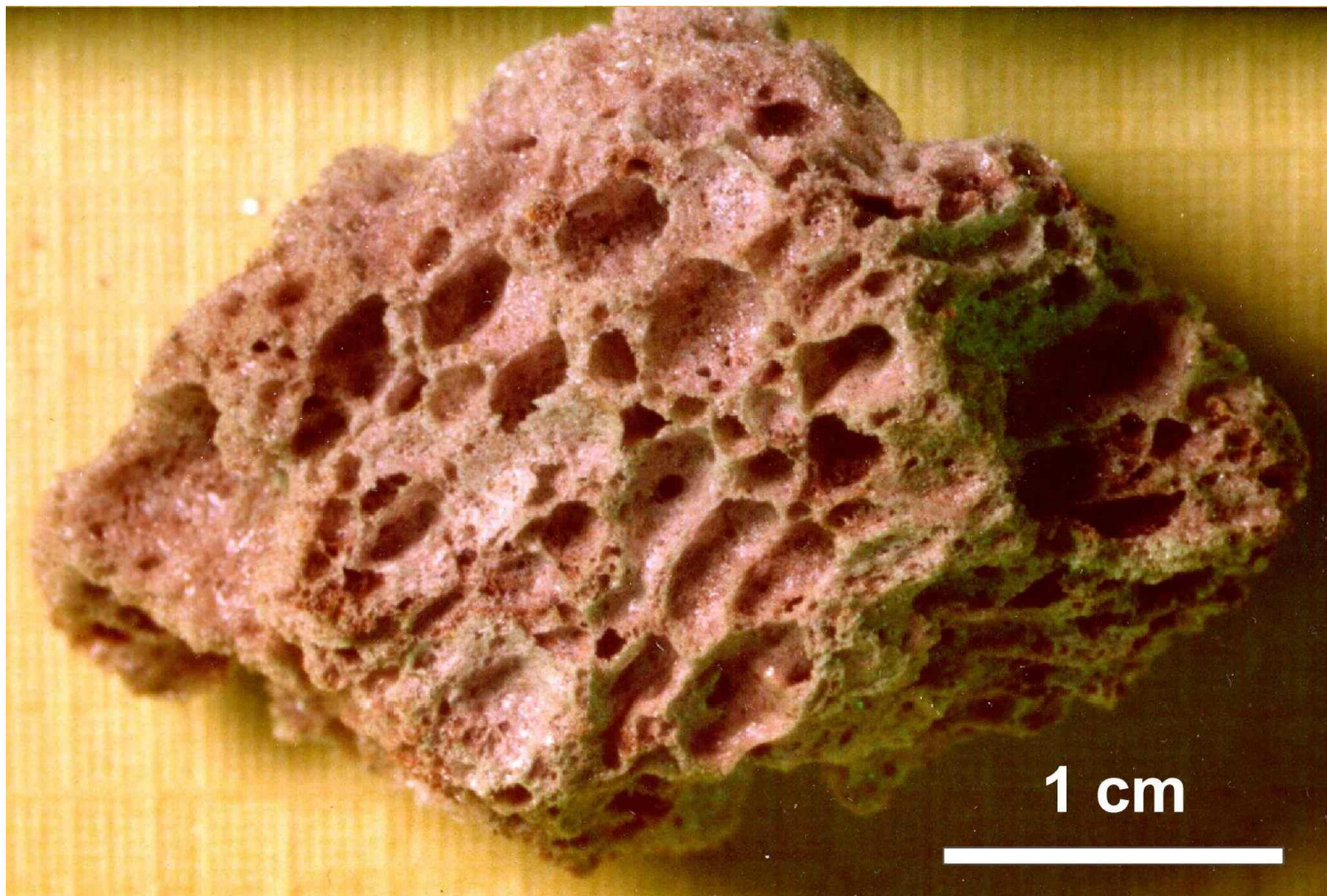


**Образец коричневой Чернобыльской лавы  
из парораспределительного коридора**

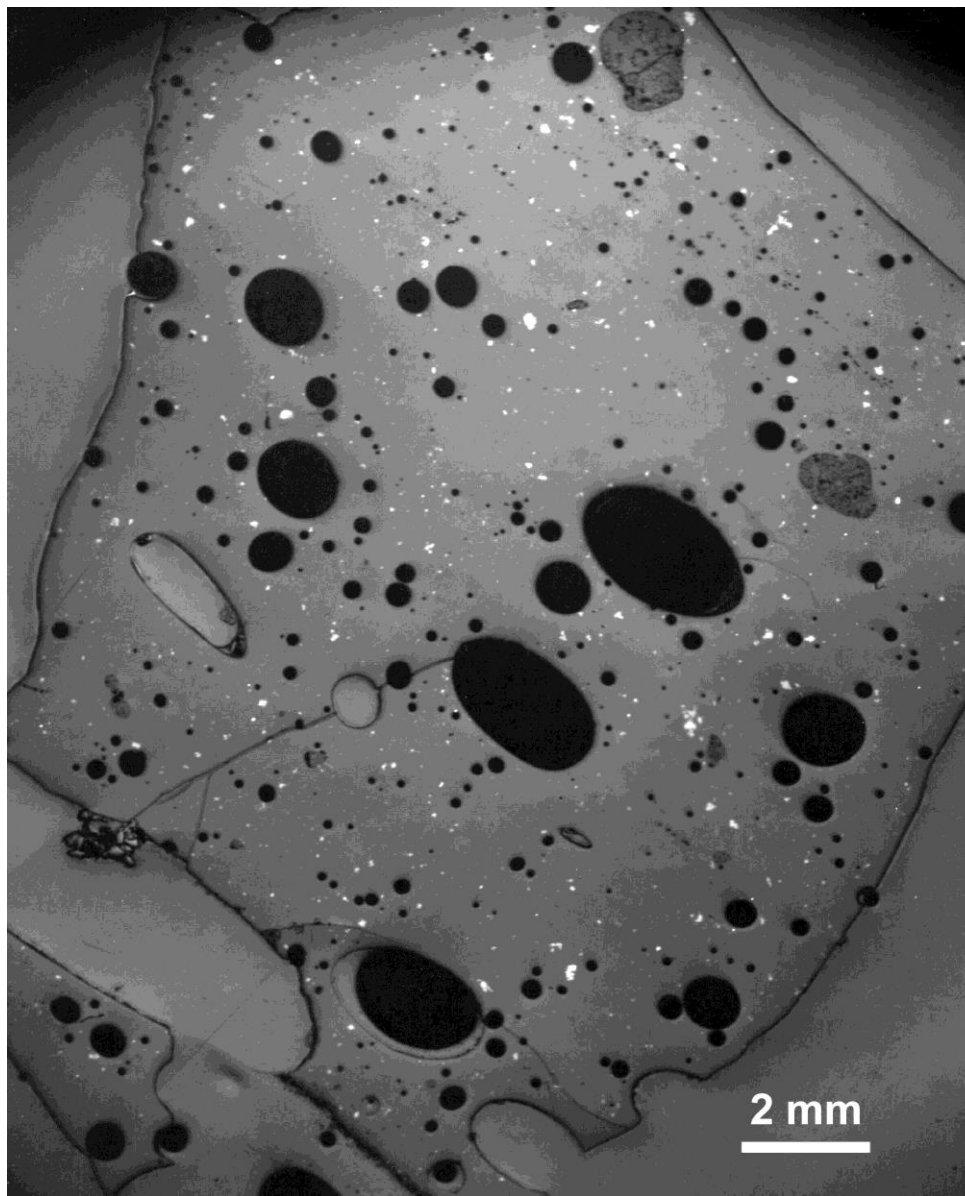




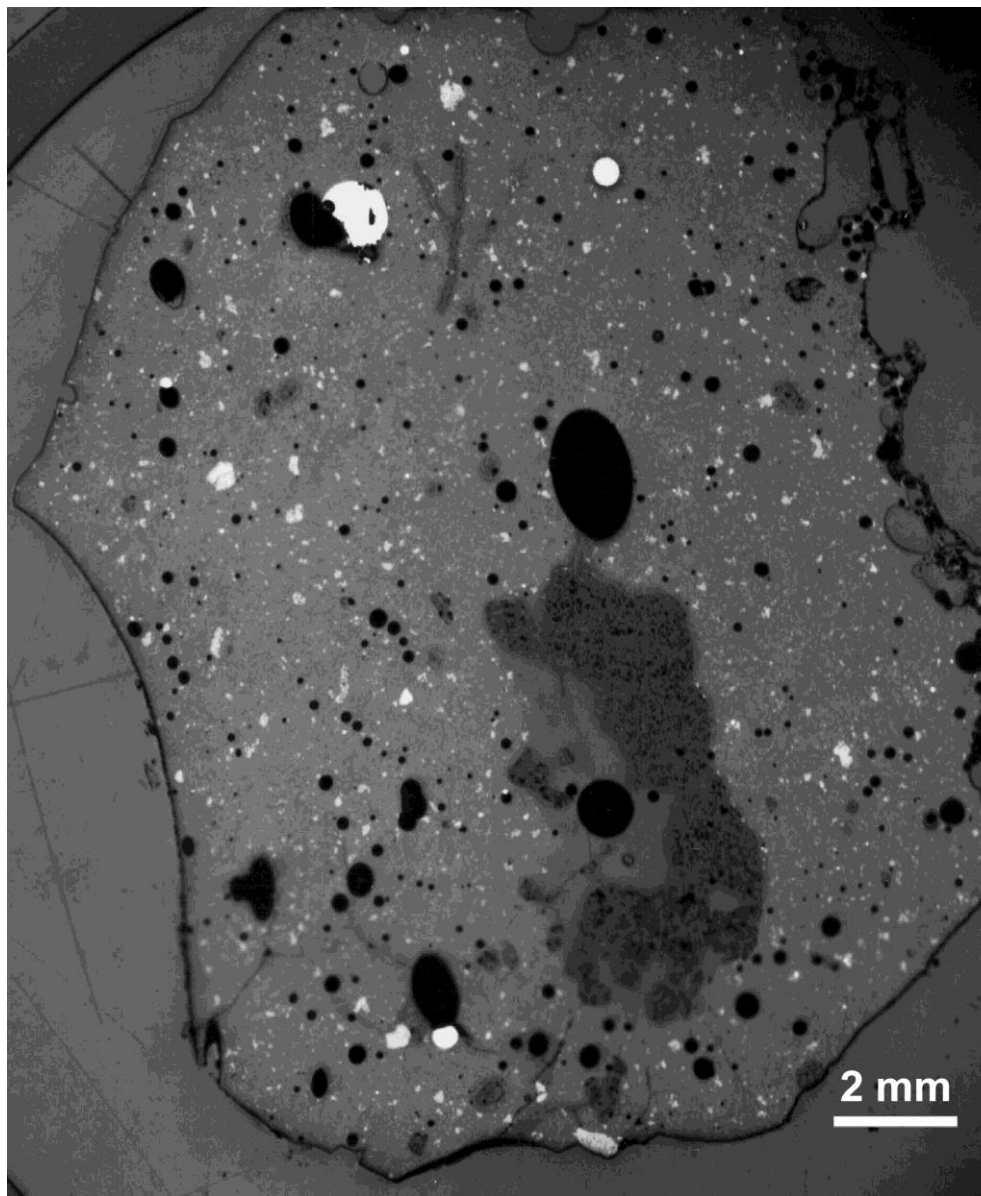
**Образец пористой Чернобыльской лавы («пемзы»)  
из бассейна-барботера**



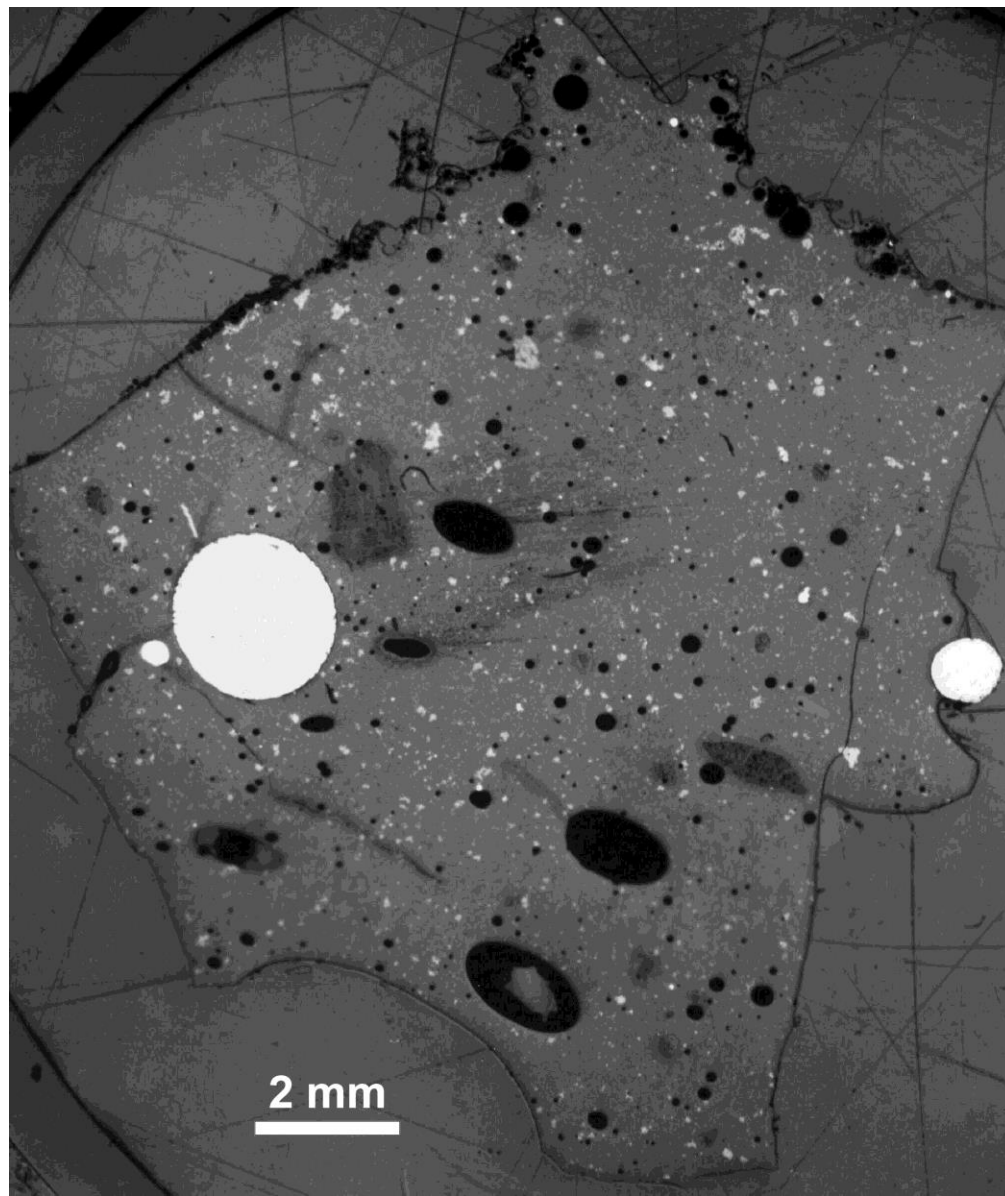
**Черная лава**  
**(в отраженном свете в оптическом микроскопе)**  
**образец из «Слоновъей ноги»**



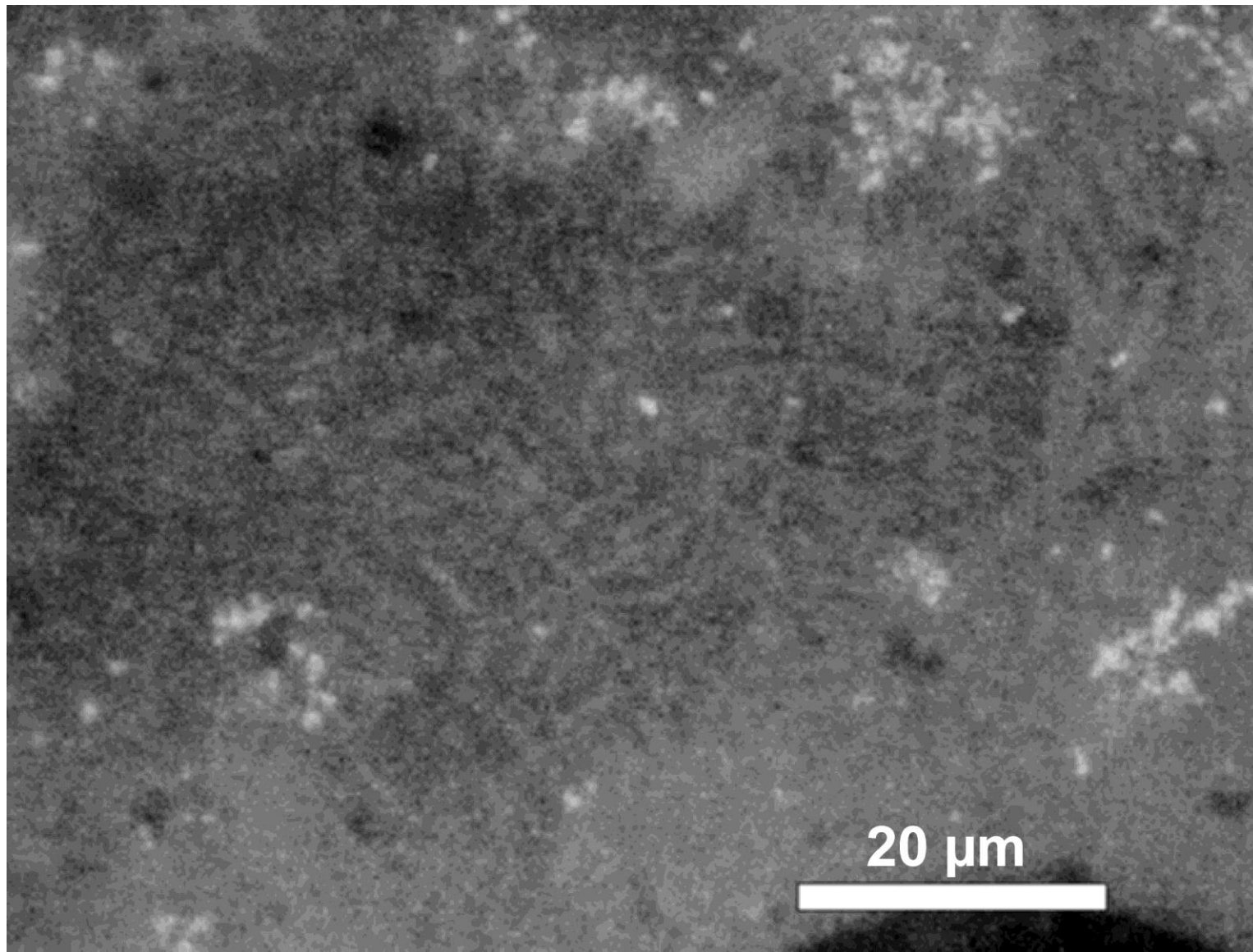
**Коричневая лава**  
**(в отраженном свете в оптическом микроскопе)**  
**образец из парораспределительного коридора**



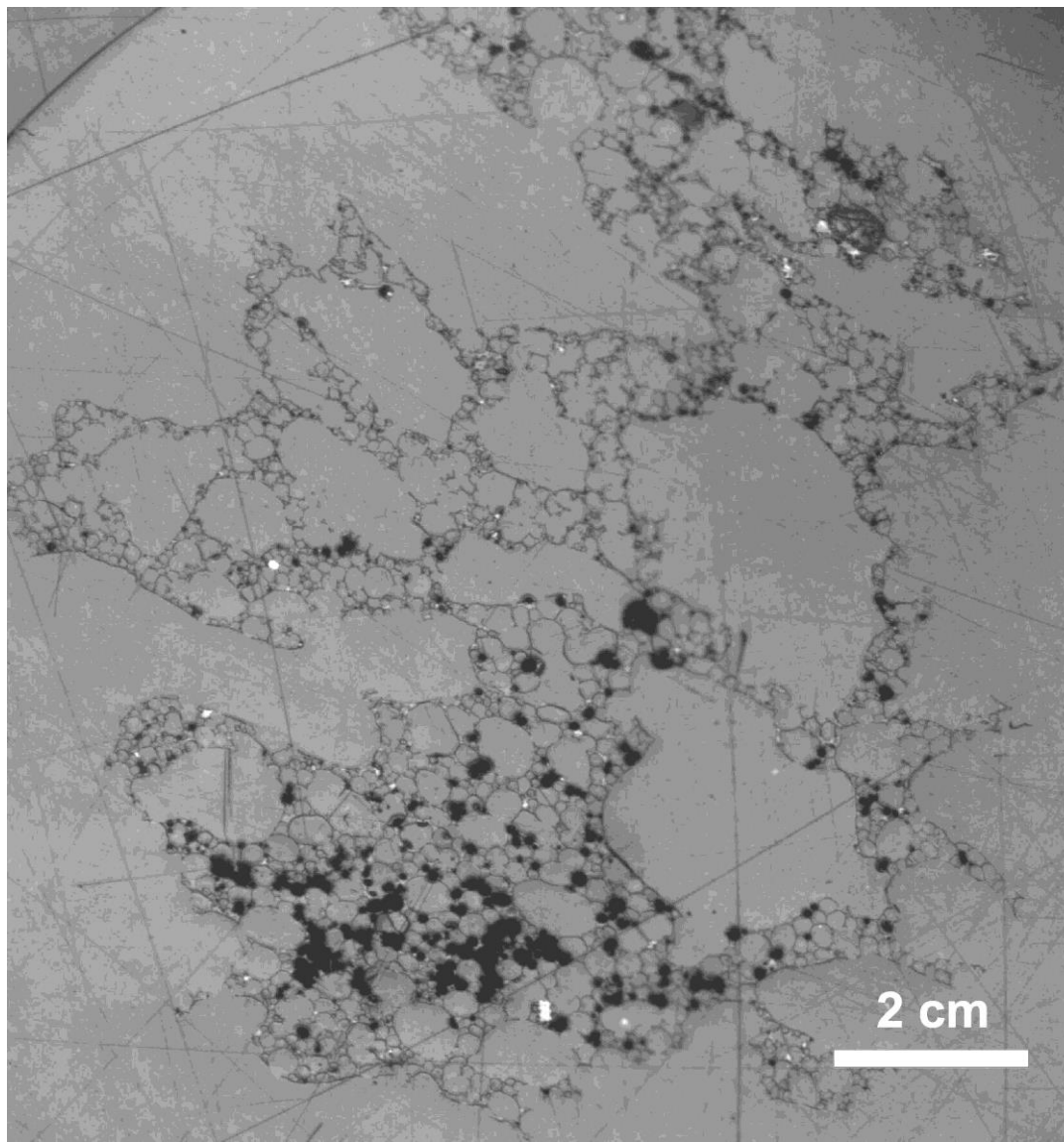
**Коричневая лава**  
**(в отраженном свете в оптическом микроскопе)**  
**образец из парораспределительного коридора**



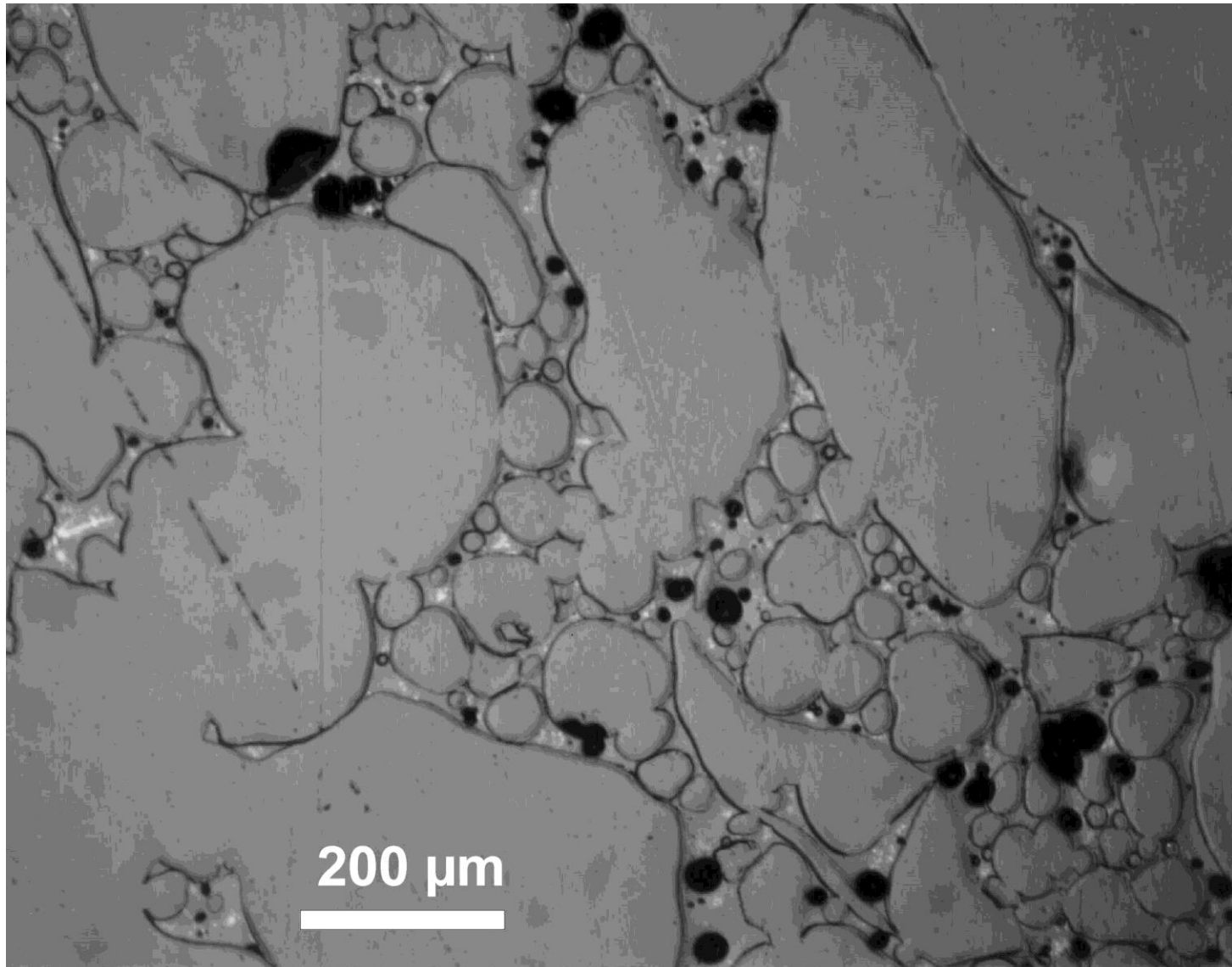
**Дендритные кристаллиты в матрице коричневых лав  
(в отраженном свете в оптическом микроскопе)  
образец из парораспределительного коридора**



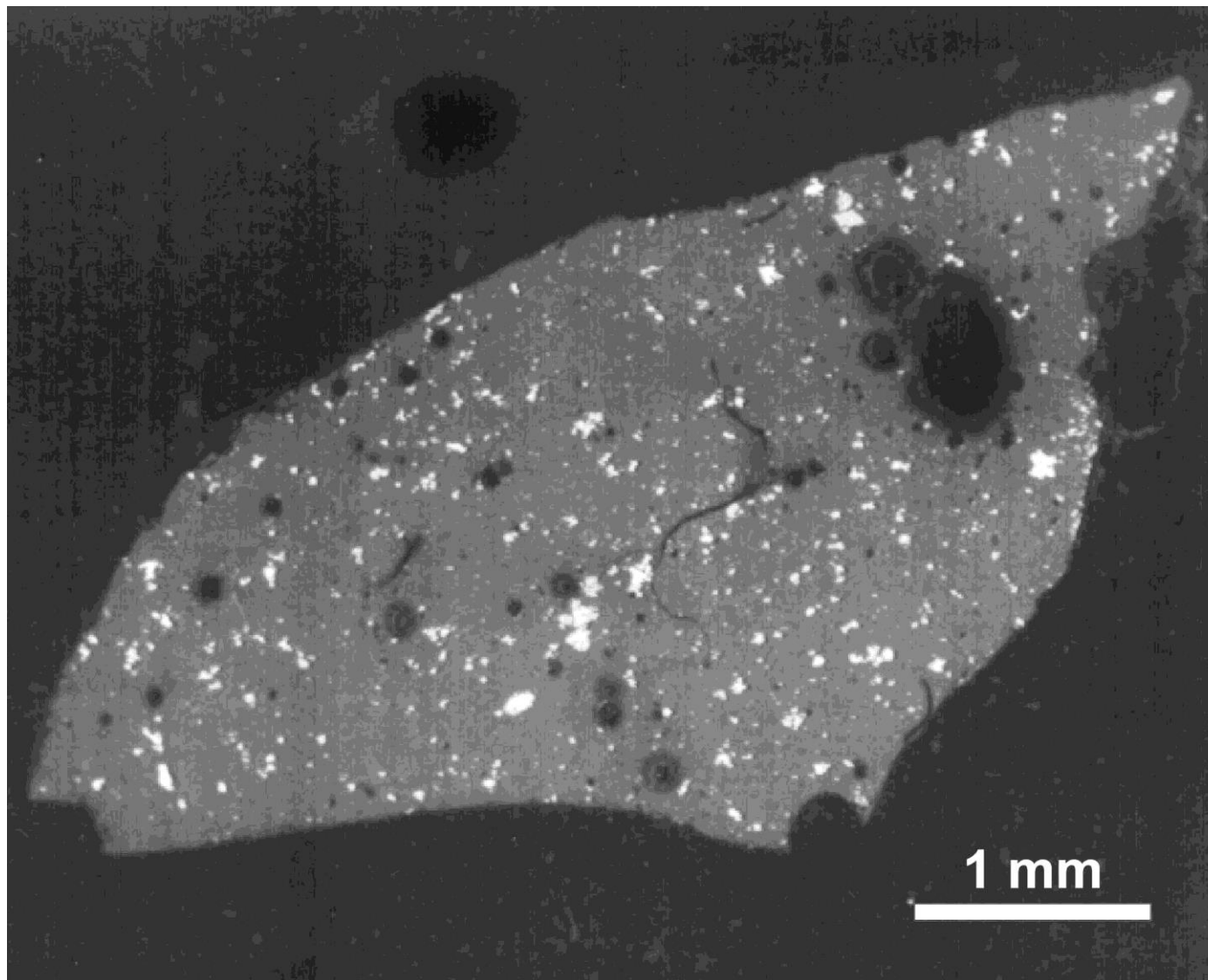
**«Пемза»**  
**(в отраженном свете в оптическом микроскопе)**  
**образец из бассейна-барботера**



**«Пемза»**  
**(в отраженном свете в оптическом микроскопе)**  
**образец из бассейна-барботера**

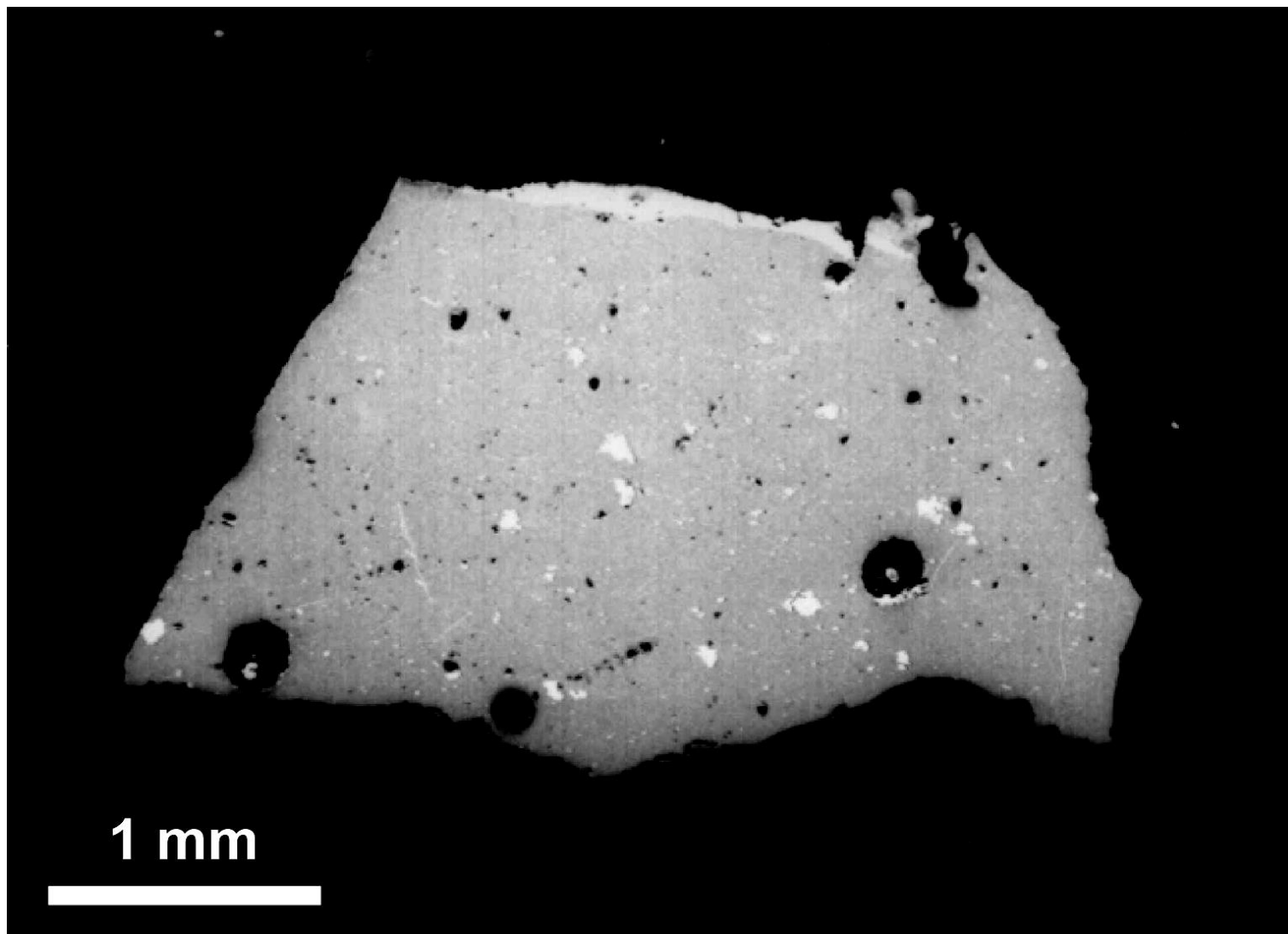


**Черная лава под электронным микроскопом  
(в обратно-рассеянных электронах)  
образец из парораспределительного коридора**

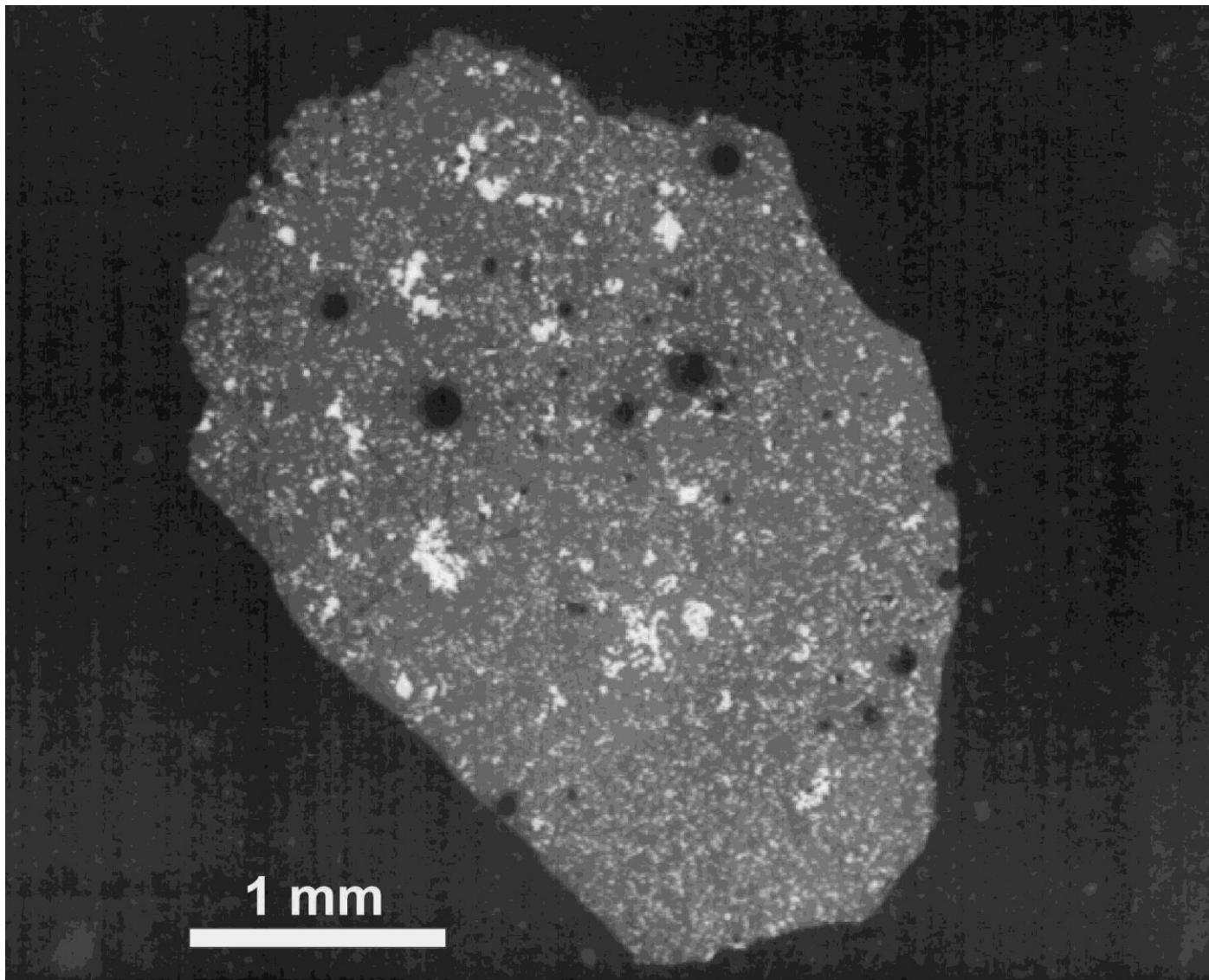




**Черная лава под электронным микроскопом  
(в обратно-рассеянных электронах)  
образец из «Слоновой ноги»**



**Коричневая лава под электронным микроскопом  
(в обратно-рассеянных электронах)  
образец из парораспределительного коридора**



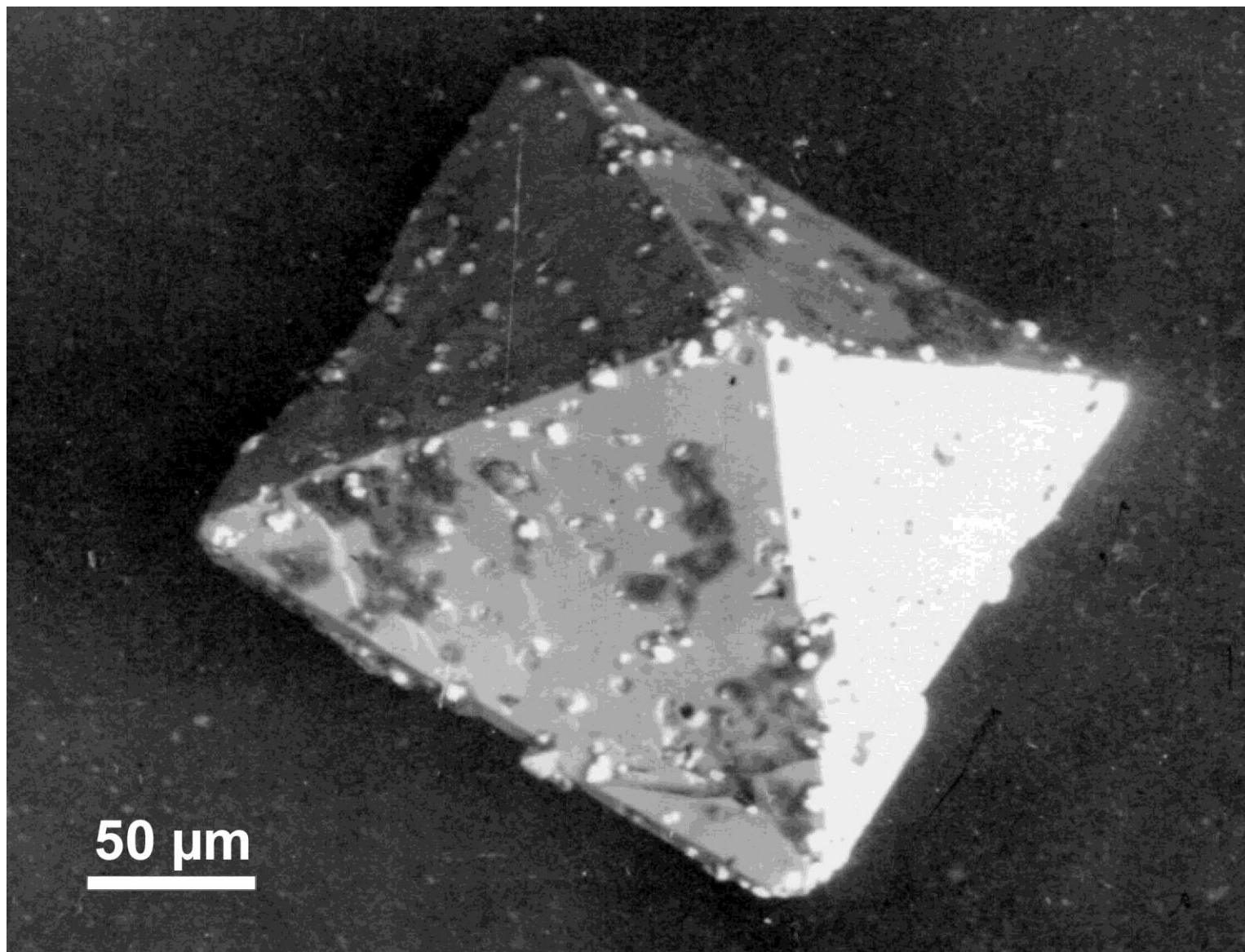
# Некоторые замечания

Обнаружена необычная фаза **Zr-U-O**

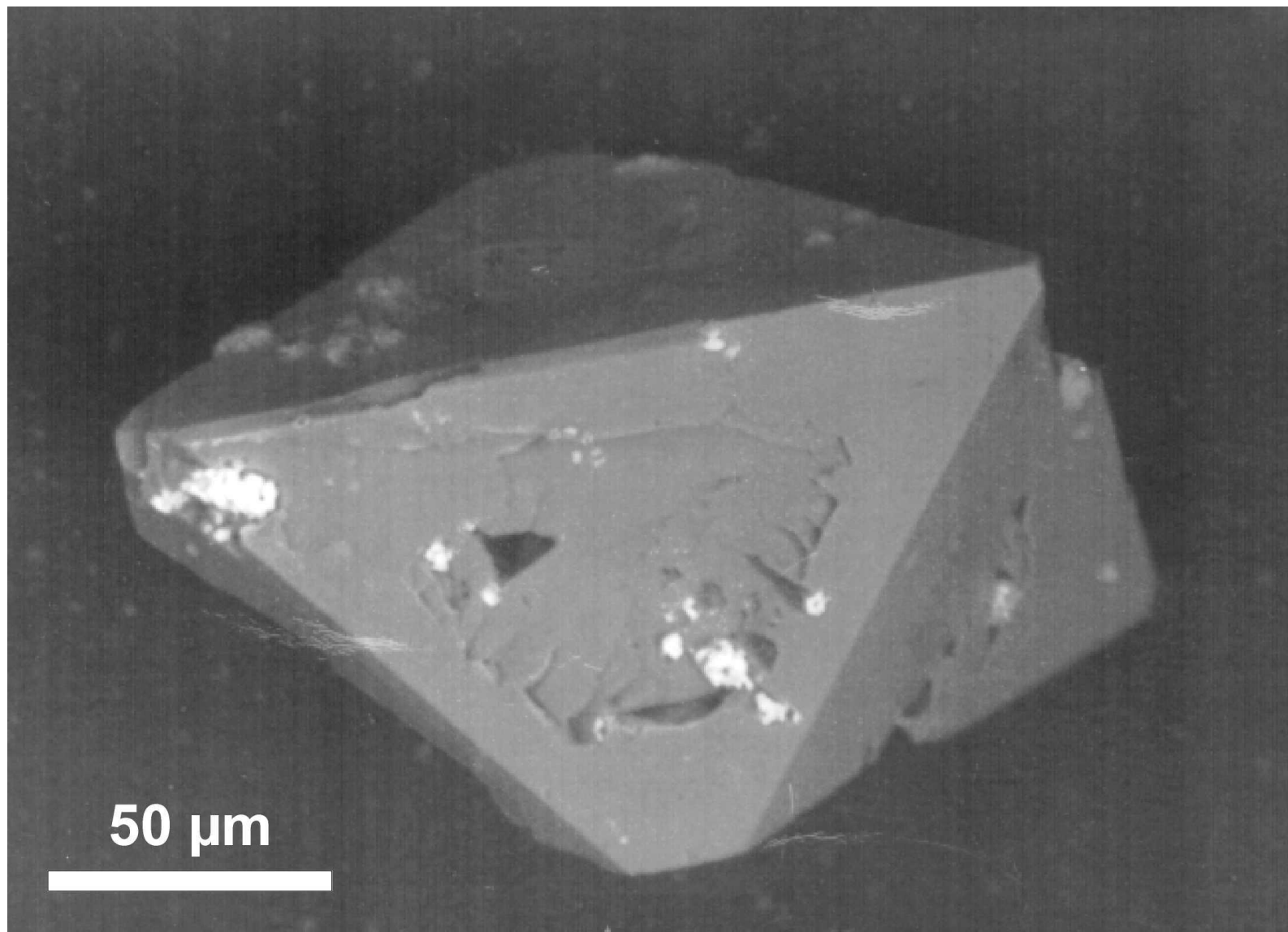
Химическое взаимодействие фазы **Zr-U-O** с силикатным расплавом привело к образованию кристаллов высокоуранового циркона **(Zr,U)SiO<sub>4</sub>**

Обе фазы являются типичными включениями во всех типах Чернобыльских лав !

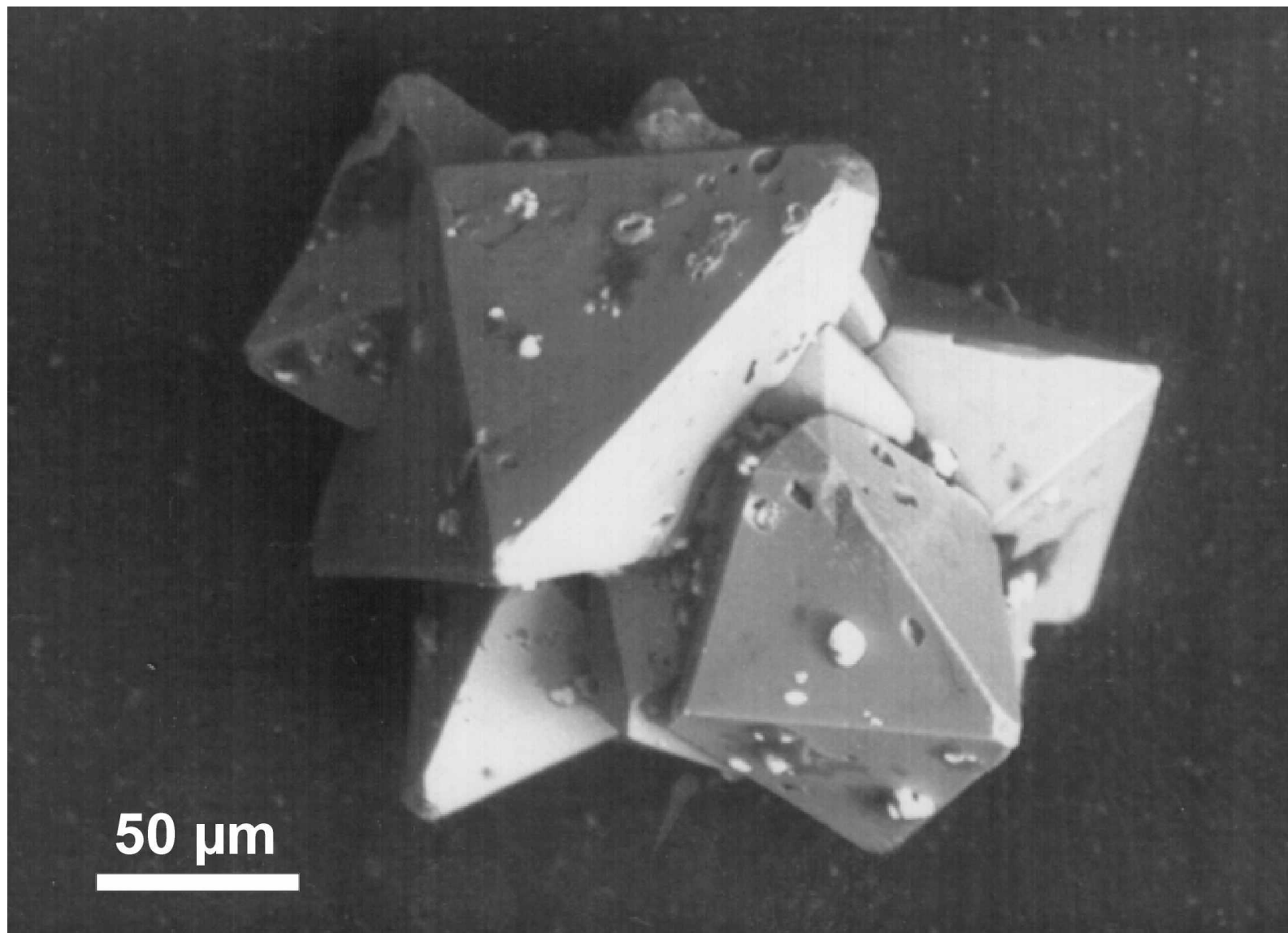
Кристалл высокоуранового циркона  $(\text{Zr,U})\text{SiO}_4$ ,  
извлеченный из матрицы Чернобыльской лавы



Кристалл высокоуранового циркона  $(\text{Zr,U})\text{SiO}_4$ ,  
извлеченный из матрицы Чернобыльской лавы



Агрегат кристаллов высокоуранового циркона  $(\text{Zr,U})\text{SiO}_4$ ,  
извлеченный из матрицы Чернобыльской лавы



**Температурный предел устойчивости (безуранового)  
циркона  $ZrSiO_4$  примерно  $1660^\circ C$**

*Максимальная температура лавы не превысила  
этого значения*







# Авария на АЭФ Фукусима



Реактор типа BWR

# Comparison of Discharged Radionuclides from Fukushima Dai-Ichi NPP and Chernobyl NPP Accidents

## Fukushima Dai-ichi NPP

### • To atmosphere \*1

$^{131}\text{I}$  :  $1.3 \times 10^{17}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $1.1 \times 10^{16}$  Bq

### • To ocean \*2

$^{131}\text{I}$  :  $2.8 \times 10^{15}$  Bq

$^{134}\text{Cs}$  :  $0.94 \times 10^{15}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $0.94 \times 10^{15}$  Bq

\*1 2011/8/23 NSC (Nuclear Safety Commission of Japan)

\*2 2011/4/21 TEPCO (Tokyo Electric Power Com.)

---

Total :  $1.4 \times 10^{19}$  Bq

$^{131}\text{I}$  :  $1.8 \times 10^{18}$  Bq

$^{137}\text{Cs}$  :  $8.5 \times 10^{16}$  Bq

$^{90}\text{Sr}$  :  $1.0 \times 10^{16}$  Bq

Total Pu :  $3 \times 10^{15}$  Bq

\*1 IAEA "STI/PUB/1239" (2006)

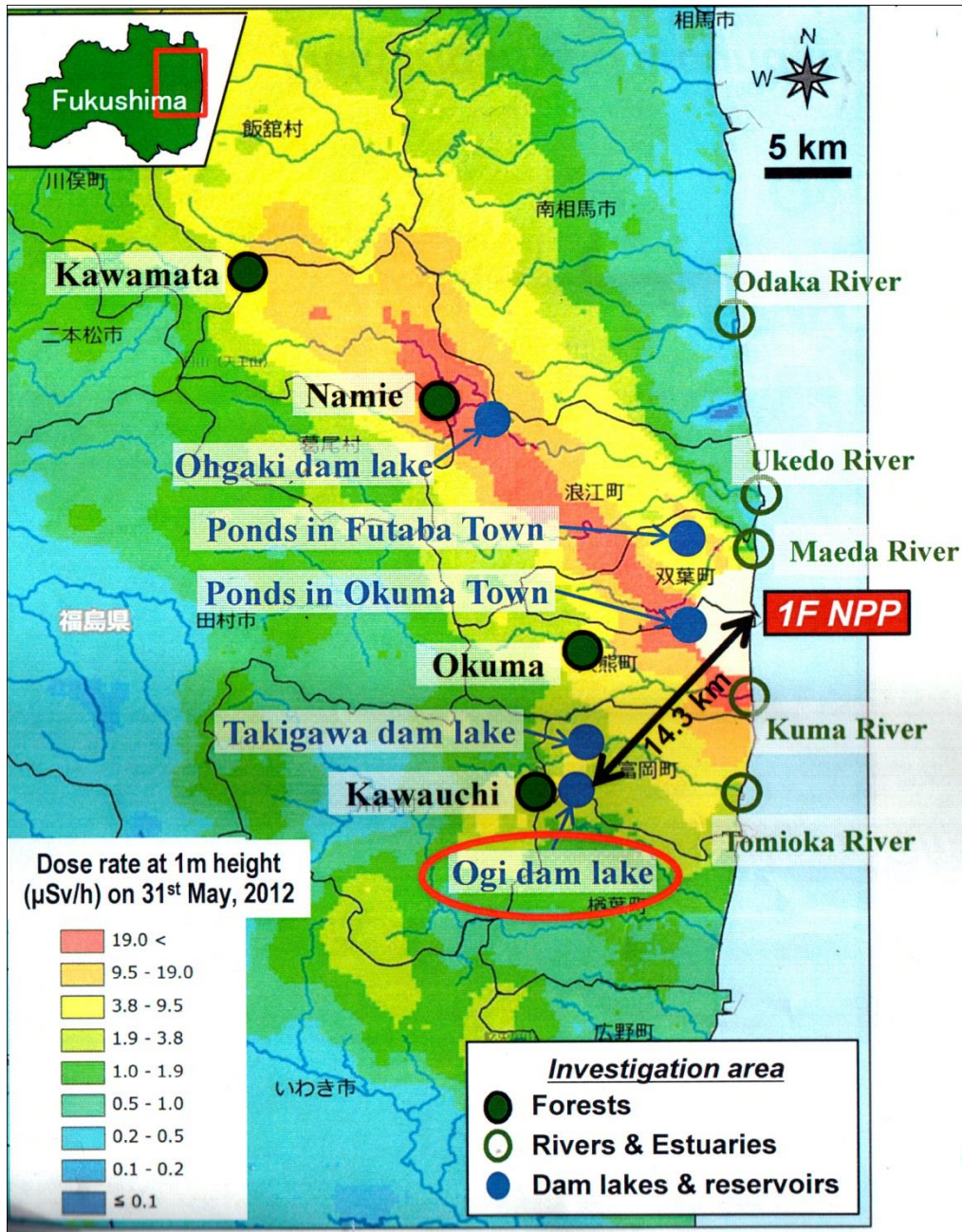
## 2. Land-use classification around the NPP site

### Fukushima Dai-ichi NPP

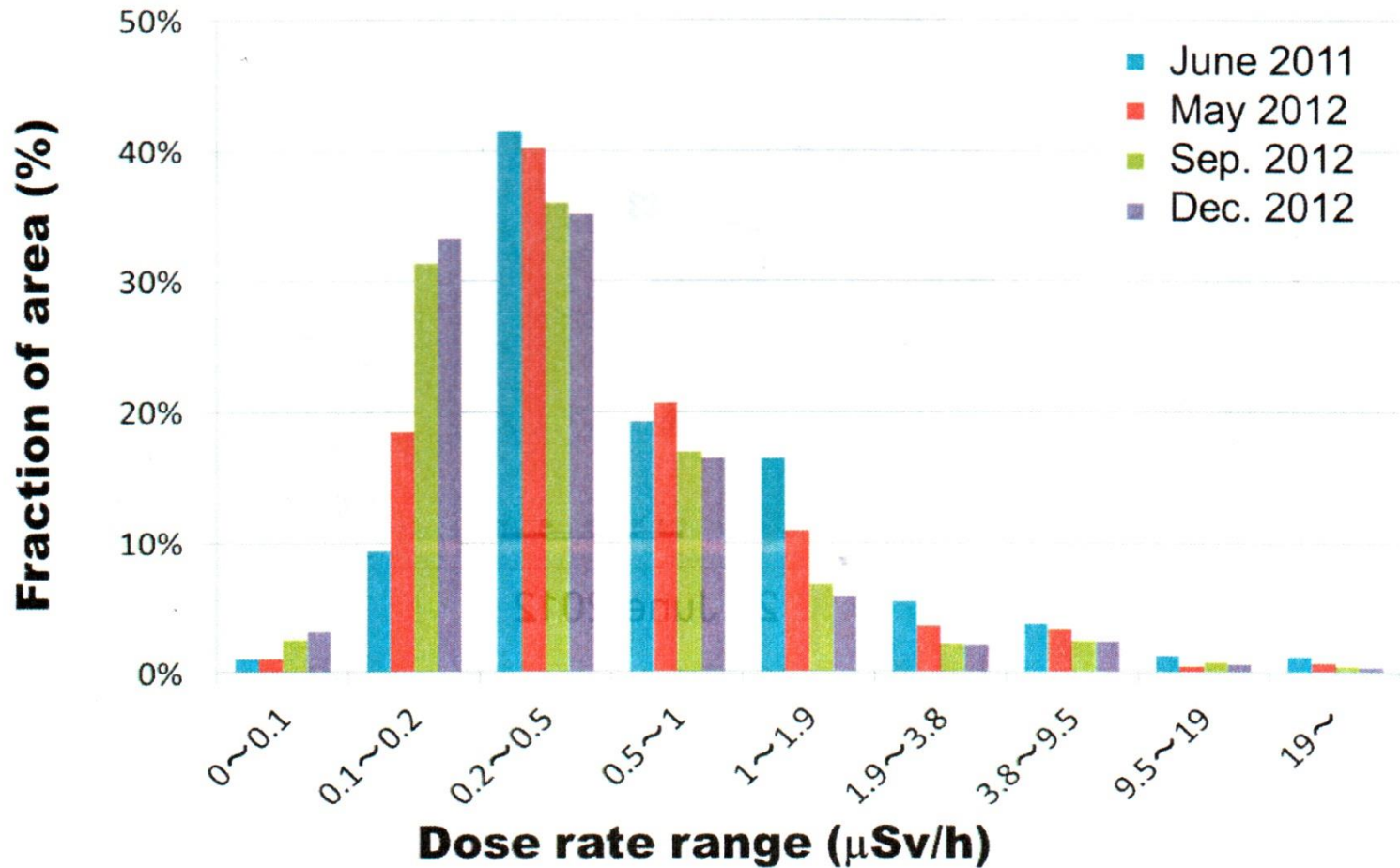
- Urban area; <5%
- Paddy field; <10%
- Other field; <10%
- Forest; > 75%

### Chernobyl (Av. Belarus)

- Agriculture; 43%
- Forest; 39%
- River & Lake; 2%

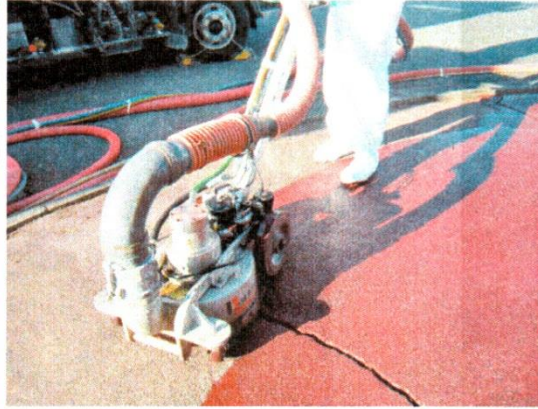


- Areas more than 0.2  $\mu\text{Sv/h}$  are decreasing, less than 0.2  $\mu\text{Sv/h}$  increasing.
- Nearly 70% of the total area has dose rates between 0.1-0.5  $\mu\text{Sv/h}$ .



# Clean-up of Roads and Pavement

## ◆ high pressure water

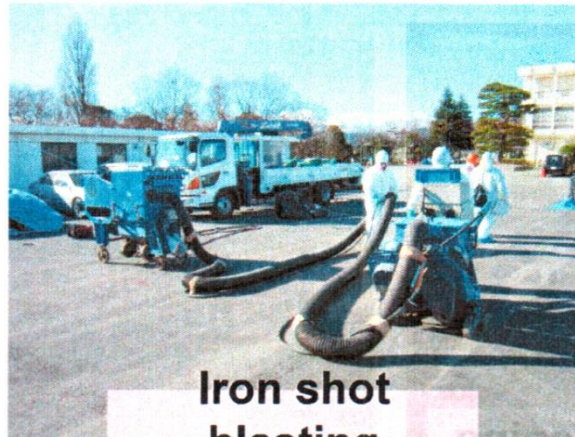


road cleaner

## ◆ surface stripping



## ◆ blasting



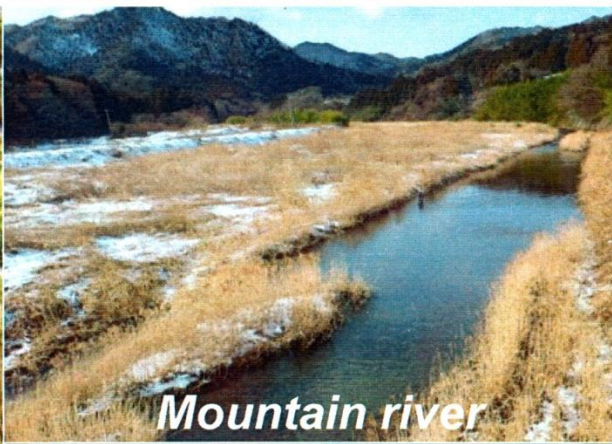
Iron shot  
blasting



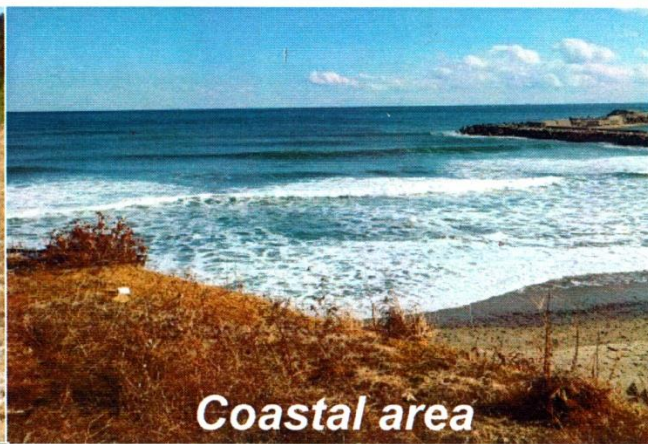
Ice blasting



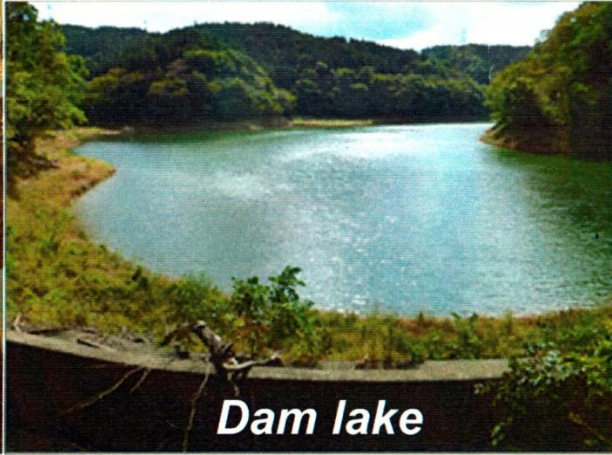
*Mountain forest*



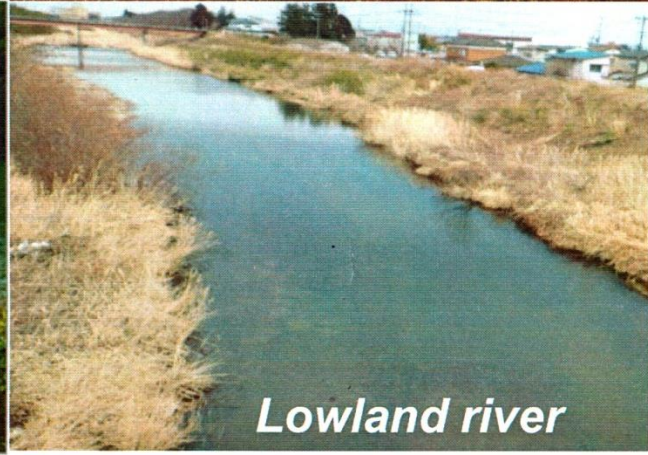
*Mountain river*



*Coastal area*

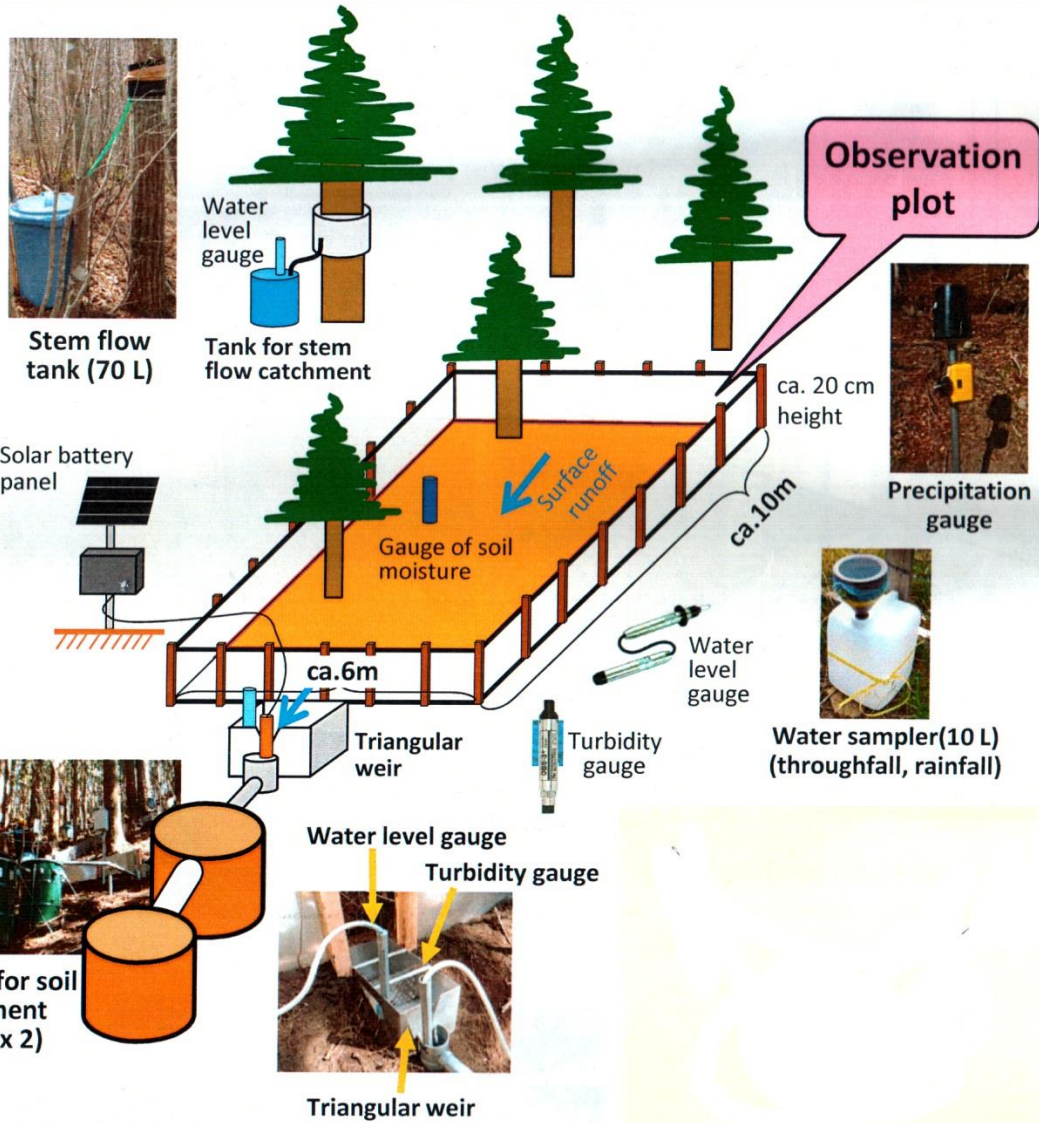


*Dam lake*



*Lowland river*

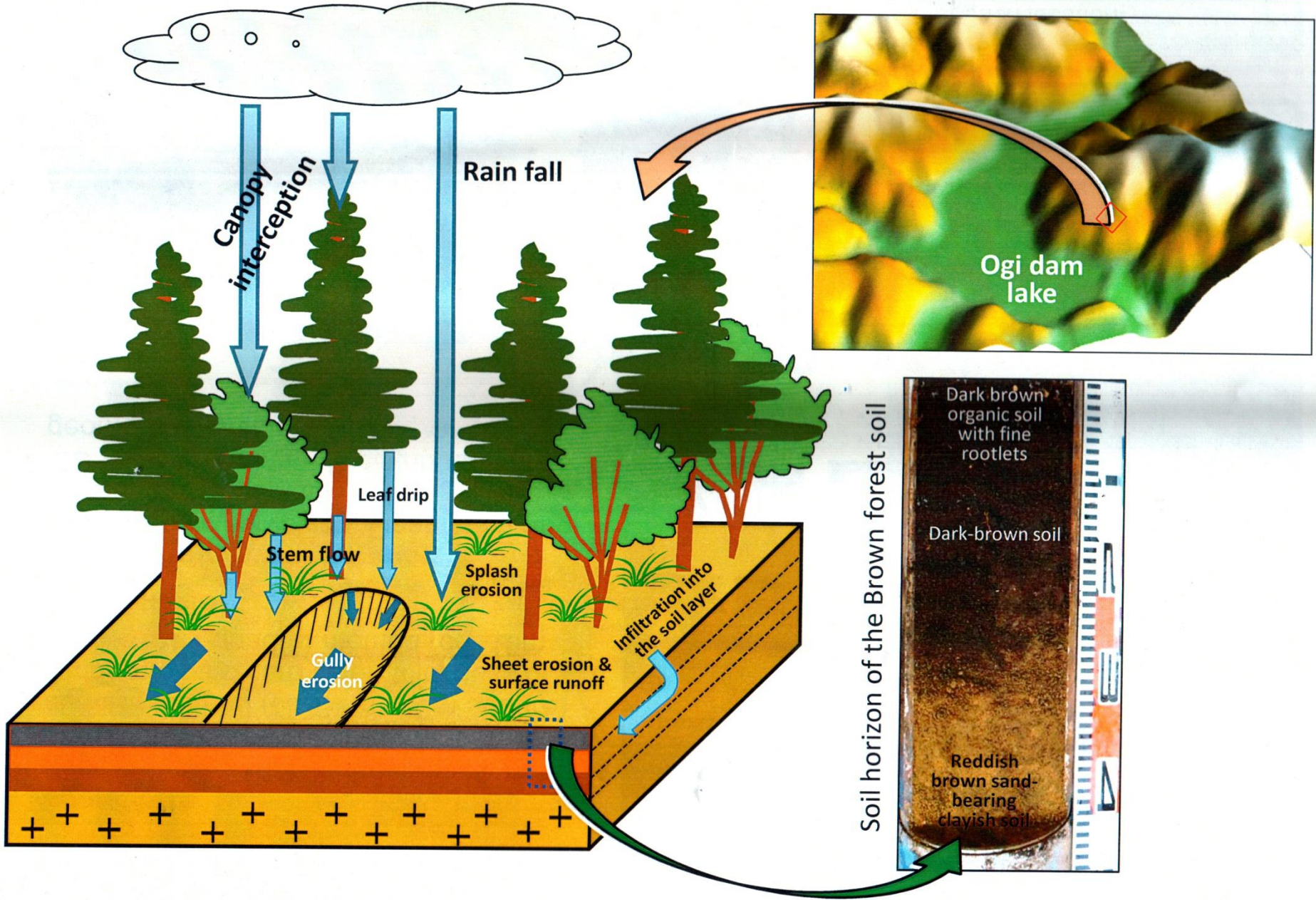
# Whole view of observation plot



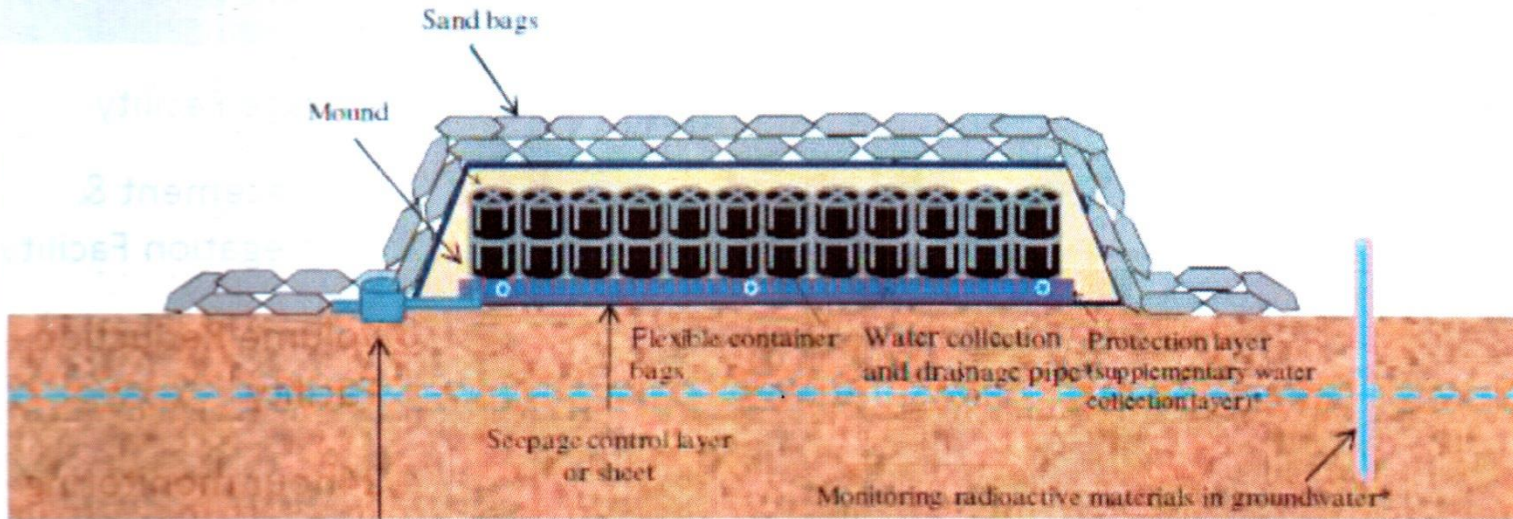


# Forest investigation

: System components, natural events, and processes



# Temporal Storage Sites



Tank for checking radioactive materials in the water seepage\*

\* The components indicated with a \* will not be installed when soil and waste is stored for short periods of time at decontamination sites.





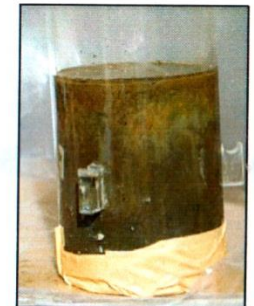
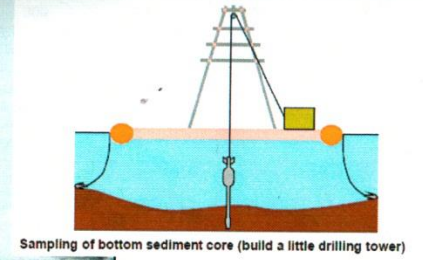
Water sampling  
(Heyroth sampling bottle)



Sampling of bottom deposits  
(Smith-McIntyre Bottom sampler)



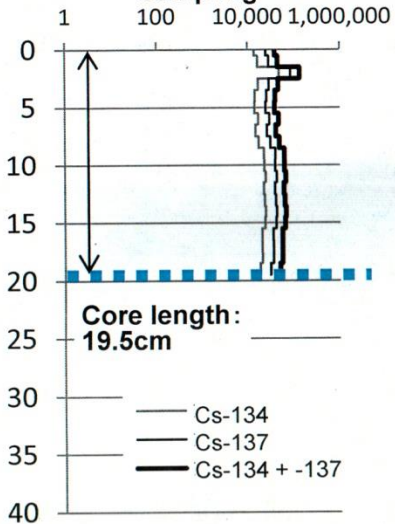
Core logging  
(undisturbed sampling)



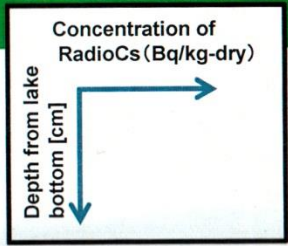
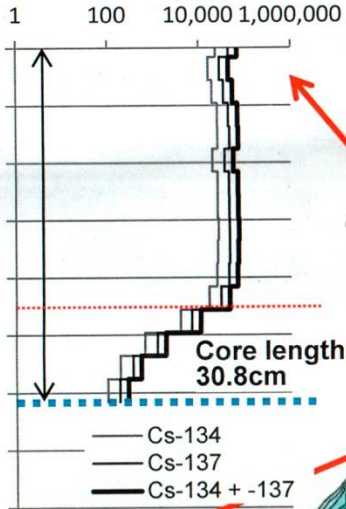
Core logging (Gravity core sampler)

# Dam lake investigation: depth distribution of radiocaesium in the bottom deposits

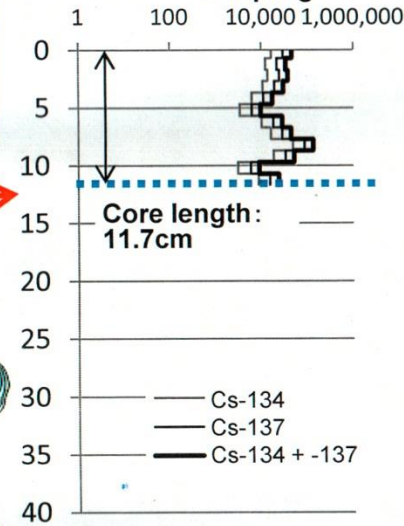
Point 4-1: Undisturbed sampling



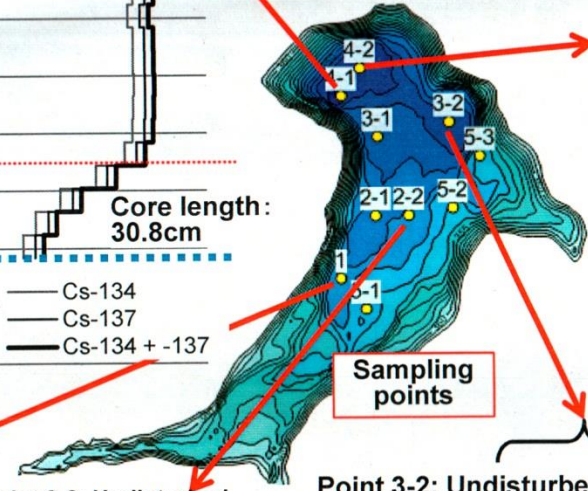
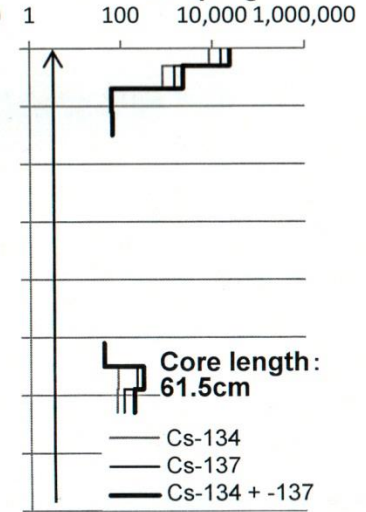
Point 4-1: Gravity core sampling



Point 4-2: Undisturbed sampling

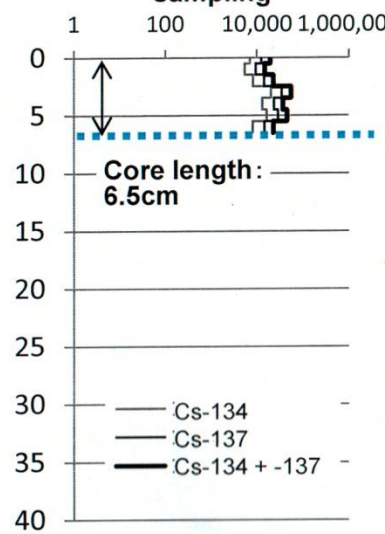


Point 4-2: Gravity core sampling

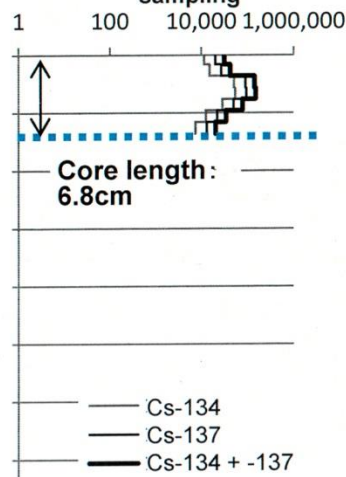


Sampling points

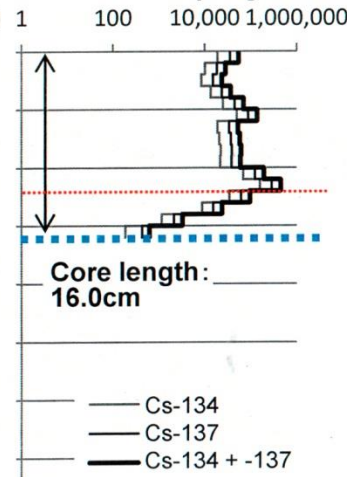
Point 1: Undisturbed sampling



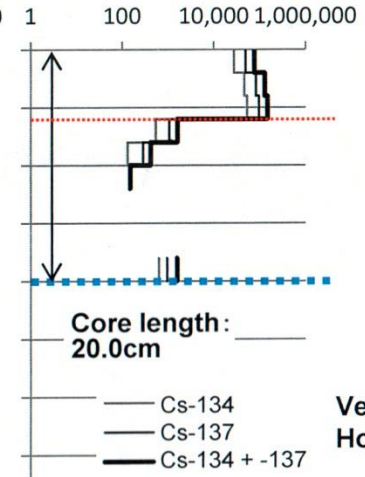
Point 2-2: Undisturbed sampling



Point 3-2: Undisturbed sampling



Point 3-2: Gravity core sampling

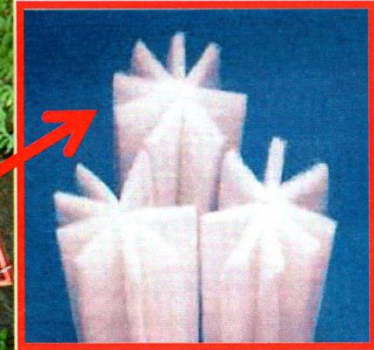


Thick fine-grained sediment at deeper part of the dam (22 cm in thickness with constant concentration of radiocaesium)

Thin fine-grained sediment at shallower part of the dam (ca. 7 cm in thickness)

Vertical axis: depth (m)  
Horizontal axis: concentration of radiocaesium (Bq/kg-dry)

# Testing of migration control: suspended solid in the stream



Traps of suspended solid in the river water by non-woven fabric

Water level gauge: outflow

Turbidity gauge: outflow

Turbidity gauge: inflow

Flow direction of river

Flow direction

Traps of suspended solid in the river water by non-woven fabric





**遊泳禁止**  
川内村  
川教研

**きけん**  
このため池で  
あそびないで  
ください  
昭和十一年設置

**ごみ捨て禁止**  
ごみを捨てると  
罰せられます。

**空間線量及び  
気象データ測定中**  
独立行政法人日本原子力研究開発機構  
環境技術本部 環境健康学センター  
連絡先 TEL024-529-5560

環境健康学センター  
放射線測定器設置場所  
設置日 2014年10月





