

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС**

*Антонова А.М., доцент  
Томский политехнический университет  
кафедра Атомных и тепловых электростанций*



---

**"У нас нет времени экспериментировать с призрачными источниками энергии, цивилизация в опасности, и нам нужно сейчас использовать ядерную энергию – единственный безопасный и доступный источник энергии, или страдать от боли, которую уже в скором времени нам причинит оскорбленная планета".**

**Профессор Джеймс Лавлок,  
основатель международного «зеленого» движения,  
2004 г.**

# Экологические проблемы энергетики

---



- не существует способов получения электроэнергии, не сопряженных с риском возможного вреда



**Какая электростанция характеризуется большим удельным выбросом *радиоактивных веществ* в окружающую среду – *атомная* или *угольная*?»**

---

- на единицу произведенной электроэнергии больший в 5–10 раз выброс радиоактивных веществ в окружающую среду дает угольная станция
  - В 1 т золы ТЭС содержится до 100 г радиоактивных веществ - **торий**, два долгоживущих изотопа **урана**, продукты их распада (**радий, радон и полоний**), а также долгоживущий радиоактивный **изотоп калия** – калий-40
- 
-



## Дымовые выбросы ТЭС в атмосферу содержат

---

При зольности угля **10 %** за год **ТЭС** мощностью **1 ГВт** с коэффициентом очистки выбросов 0,975:

- $^{40}\text{K}$  – **4,0 ГБк**,  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  – по **1,5 ГБк**,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  – по **5,0 ГБк**,  $^{232}\text{Th}$  – **1,5 ГБк**;
- в действительности зольность угля колеблется от 10 до 45 % (в зависимости от месторождения), поэтому **ТЭС** дают более высокое значение выбросов ЕРН



- 
- Угли Кузбасса имеют, как правило, небольшие концентрации урана при относительно высоких концентрациях тория
  - на отдельных предприятиях Кемеровской области, например на Итатском угольном разрезе, содержание ЕРН достигает **1000 Бк/кг угля** и более

**Индивидуальная максимальная ожидаемая доза, мЗв/год  
от выбросов в атмосферу электростанций мощностью  
1000 МВт (эл)**



<b>Орган</b>	<b>ТЭС</b>	<b>АЭС с ВВЭР</b>	<b>Контрольные уровни</b>
<b>Все тело</b>	<b>0,019</b>	<b>0,018</b>	<b>0,05</b>
<b>Кости</b>	<b>0,182</b>	<b>0,027</b>	<b>0,15</b>
<b>Легкие</b>	<b>0,019</b>	<b>0,012</b>	<b>0,15</b>
<b>Щитовидная железа</b>	<b>0,019</b>	<b>0,038</b>	<b>0,15</b>
<b>Почки</b>	<b>0,034</b>	<b>0,013</b>	<b>0,15</b>
<b>Печень</b>	<b>0,024</b>	<b>0,013</b>	<b>0,15</b>
<b>Селезенка</b>	<b>0,027</b>	<b>0,011</b>	<b>0,15</b>

## Радиация как источник производственного травматизма и смертности в промышленности

---



- По данным Института биофизики за **43** года (1950-1992 г.) зарегистрировано **132** случая нештатных радиационных ситуаций, в которые было вовлечено **875** человек
- За **43** года (с 1958 по 2000 г.) на угольных шахтах бывшего СССР пострадали **2117 475** человек, из которых **31 988** стали инвалидами труда и **28 792** — погибли





- 
- От прочих несчастных случаев в быту и на производстве , не говоря о транспортных авариях, за тот же период погибли миллионы людей
  - За **12** месяцев 2006 года в стране зарегистрировано 229 140 **ДТП**, в которых погибли **32 724** и получили ранения **285 362** человека

# НЕРАДИАЦИОННЫЕ ТОКСИЧНЫЕ ВЫБРОСЫ ТЭС



- двуокись углерода;
- токсичные газы (оксиды углерода, серы, азота и ванадия);
- канцерогены (бензапирен и формальдегид);
- пары соляной и плавиковой кислот;
- токсичные металлы (мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, таллий, хром, натрий, никель, ванадий, бор, медь, железо, марганец, молибден, селен, цинк, сурьма, кобальт, бериллий)

# Годовые выбросы от угольной ТЭС мощностью 1000 МВт



- 7 млн.т в год **углекислого газа** (19 тыс. т в сутки);
- 50 -100 тыс. т в год **окислов серы;**
- 25 тыс. т в год **окислов азота;**
- 20 тыс. т в год **твердых частиц;**
- 400 т в год **токсичных металлов:**
- **суточный** выброс **золы** в атмосферу составляет 35 - 55 т, и при высоте трубы 150–200 м радиус загрязненной территории равен примерно 50 км

# Проблема парниковых газов и дефицита кислорода

---



## Выброс углекислого газа

- При сжигании 1 тонны угля (условного топлива) - **2,76 т** углекислого газа.
- При сжигании 1 тонны природного газа - **1,62 т** углекислого газа.
- Всего **7 млн. т** в год углекислого газа на 1 ГВт в год (19 тыс. т в сутки)

# Проблема парниковых газов и дефицита кислорода

---



## *Потребление кислорода*

- При сжигании 1 тонны угля (условного топлива) - **2,3 т** кислорода
  - при сжигании 1 тонны природного газа - **2,35 т** кислорода
  - Ежегодное потребление кислорода ТЭС России составляет более **500 млн.т**
- 
-



---

*Флора может еще справляться с поглощением  
CO<sub>2</sub> антропогенного происхождения, но уже  
не может обеспечивать необходимого  
воспроизводства атмосферного кислорода*

# Сравнительная оценка общего ущерба здоровью от ЯТЦ и УТЦ на 1 ГВт·год



Вид ущерба	ЯТЦ	УТЦ
Число случаев преждевременной смерти	1	300 (20 – 600)
Общее сокращение продолжительности жизни, чел·год	20	10000
Общие потери трудоспособности, чел·год	10	7000

# По шкале потерь здоровья, разработанной учёными Канады, на 1 ГВт в год



## Сопоставление способов получения электроэнергии

Уголь и нефть	100
Ветер и тепл. энергия	20
Гидроэнергия	10
АЭС	1

(относительные единицы)





- 
- АЭС при их нормальной эксплуатации в экологическом отношении безопаснее тепловых электростанций на угле и других источников электроэнергии

# СОПОСТАВЛЕНИЕ РИСКА ОТ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭС И ДРУГИХ ФАКТОРОВ



Источники излучения	Доза, мЗв/год	Доля суммарной дозы, %
Естественный фон	1,10	44,7
Медицинская рентгенодиагностическая аппаратура	0,72	29,3
Строительные материалы	0,60	24,4
Глобальные выпадения	0,02	0,8
Часы со светосоставом	0,01	0,4
Авиационный транспорт	0,005	0,2
Телевизоры	0,002	0,1
АЭС	$10^{-5}$	0,05
Итого	≈2,46	100

## Уровни активности некоторых жидкостей



<b>Жидкость</b>	<b>Активность, Бк/л</b>
Типичные сбросные воды АЭС	0,037 – 0,37
Водопроводная вода	0,74
Речная вода	0,37 – 3,7

# Сопоставление риска от радиационного воздействия с другими опасностями

---



- В химических производствах России нередко случаи, когда загрязнение атмосферы вредными веществами **систематически** превышает **ПДК** в десятки раз



---

Сравнение методов и уровней практической реализации защиты здоровья человека и охраны окружающей среды от **радиоактивных** и **химических** загрязнителей показало их серьезные **отличия и несбалансированность**



---

Это касается всех элементов регулирования

- подходов к нормированию;
- методик определения допустимых выбросов и сбросов;
- возможностей мониторинга;
- отношения к соблюдению регламентации



- 
- *Я убежден, что ядерная энергетика необходима человечеству и должна развиваться, но только в условиях **практически полной безопасности.***  
*Академик А.Д.Сахаров*



## Требование безаварийности

---

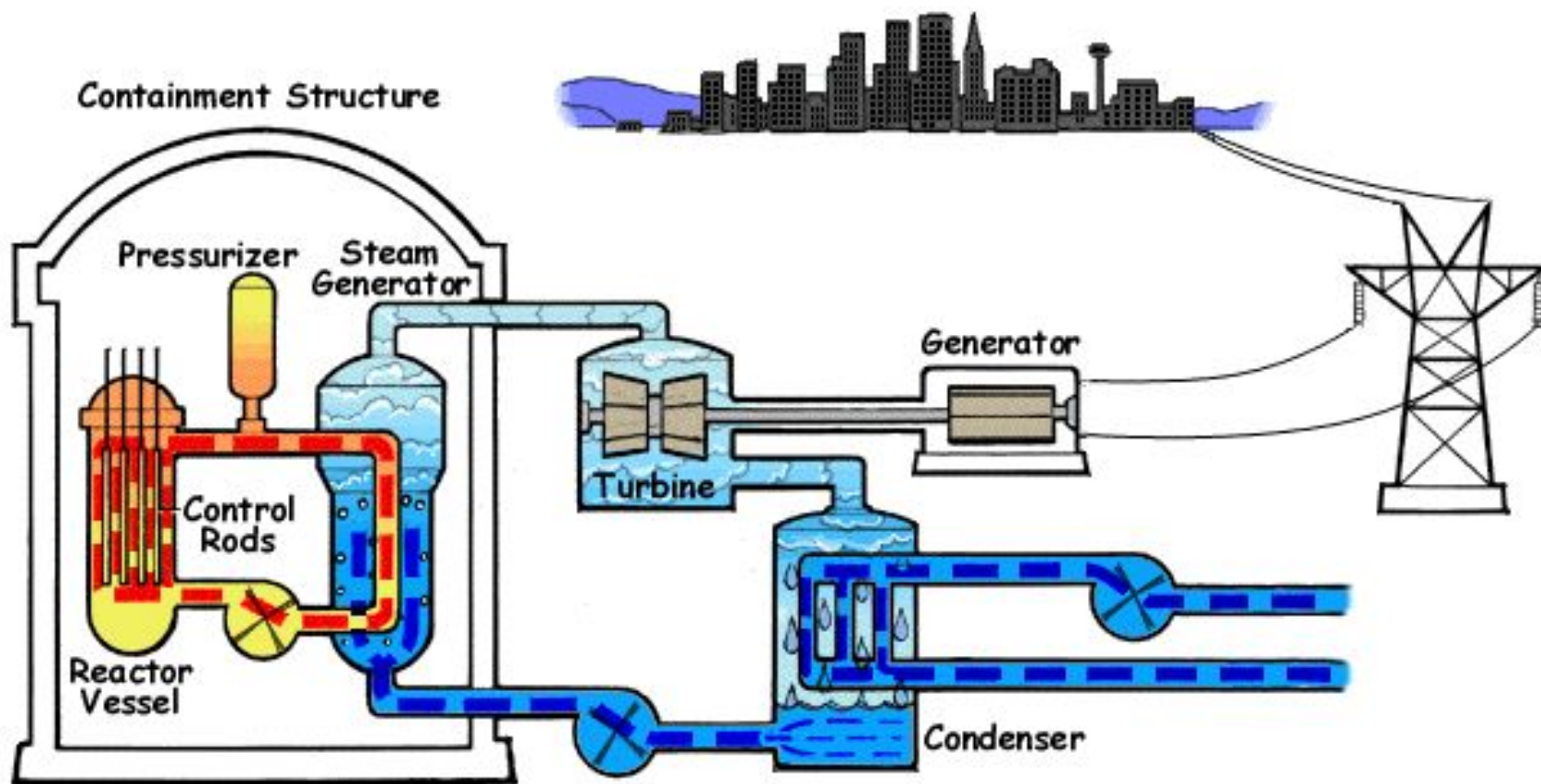
Новые конструкции реакторов имеют:

- Системы аварийной защиты и локализации
- Обеспечение нерасплавления активной зоны за счет использования внутренне присущих физических свойств конструкции активной зоны и материалов

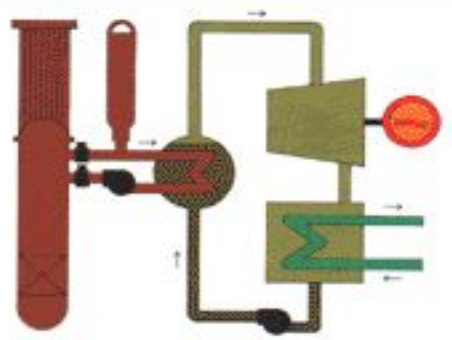
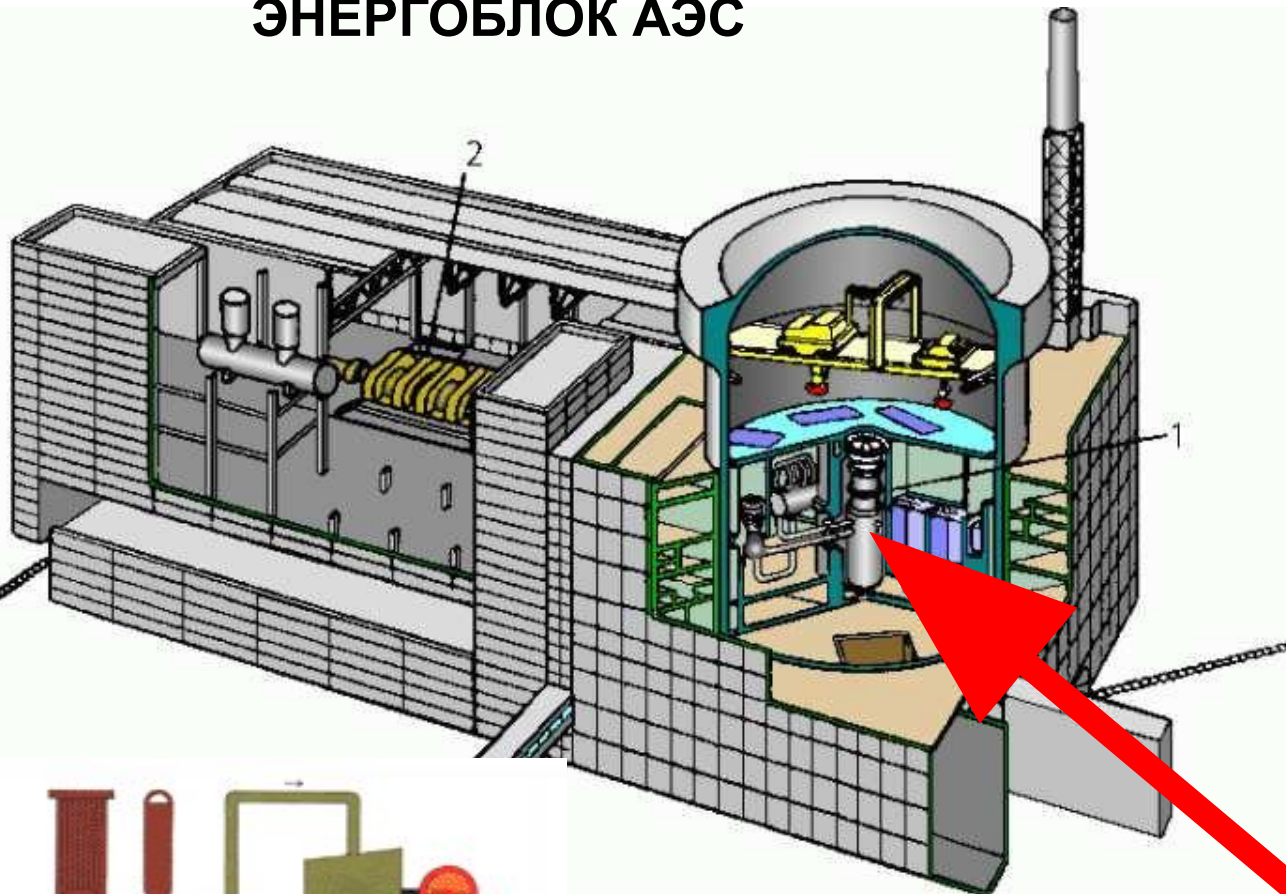




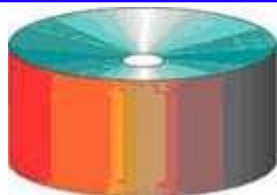
# Принципиальное устройство двухконтурной АЭС



# ЭНЕРГОБЛОК АЭС



# Барьеры, предотвращающие выход продуктов деления в окружающую среду

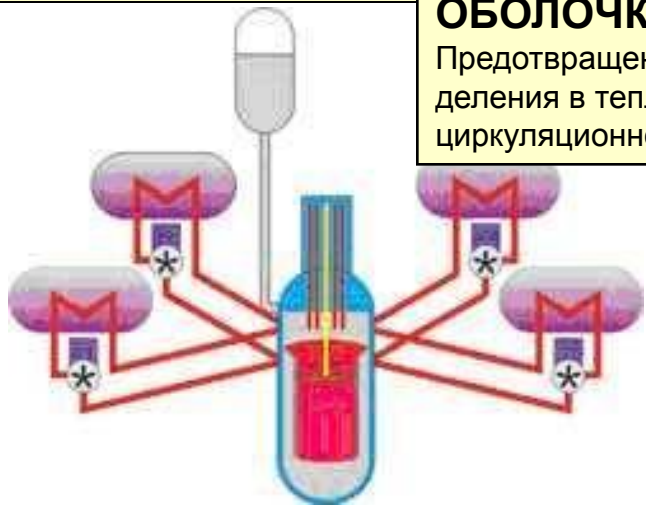


## ТОПЛИВНАЯ МАТРИЦА

Предотвращение выхода продуктов деления под оболочку твэла

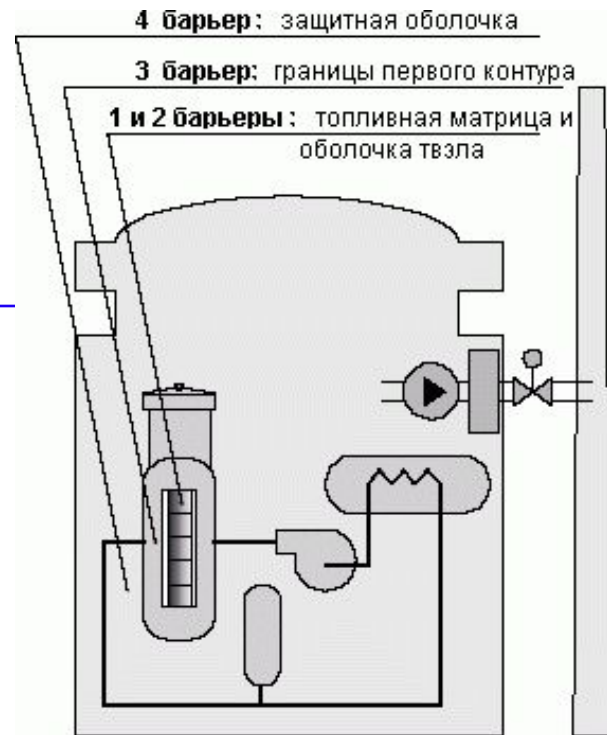
## ОБОЛОЧКА ТВЭЛА

Предотвращение выхода продуктов деления в теплоноситель главного циркуляционного контура



## ГЛАВНЫЙ ЦИРКУЛЯЦИОННЫЙ КОНТУР

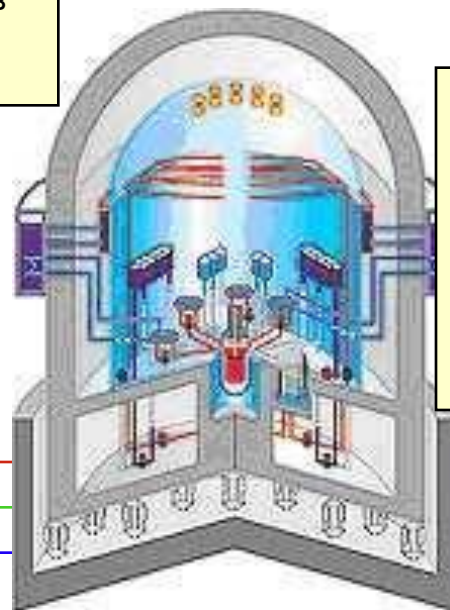
Предотвращение выхода продуктов деления под защитную герметичную оболочку



4 барьер: защитная оболочка

3 барьер: границы первого контура

1 и 2 барьеры: топливная матрица и оболочка твэла

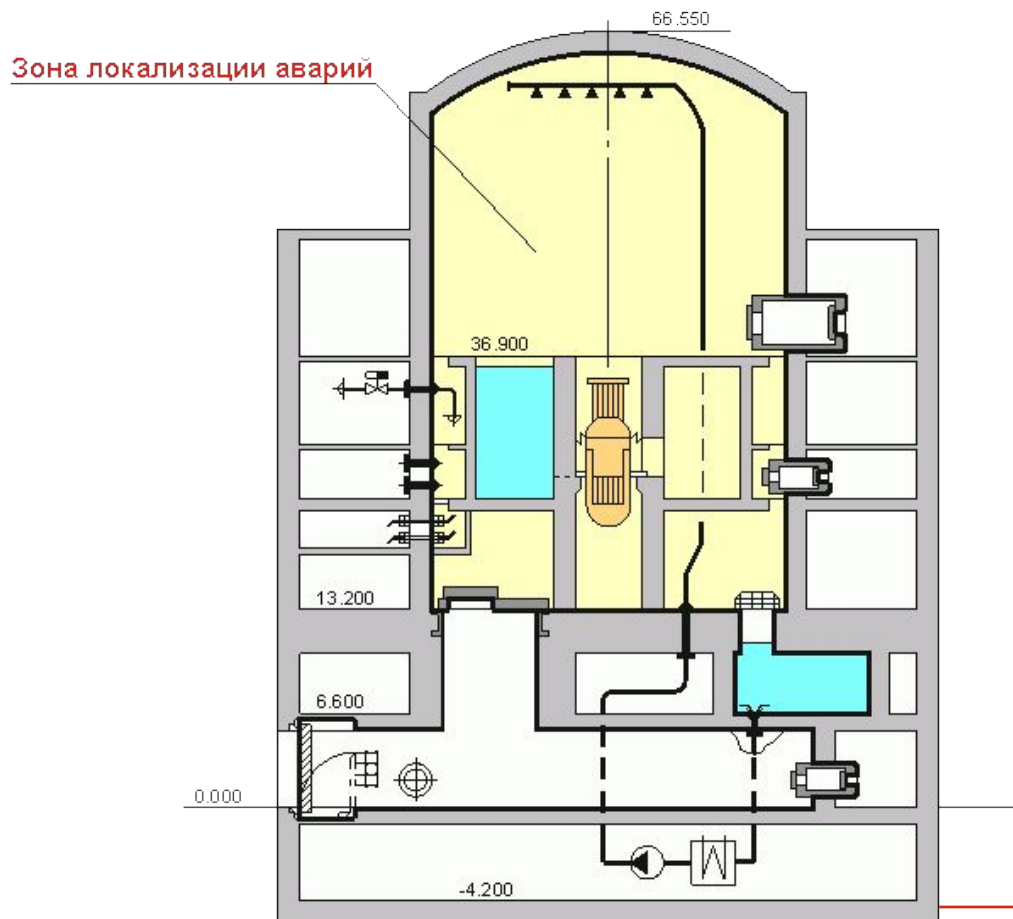


## СИСТЕМА ЗАЩИТНЫХ ГЕРМЕТИЧНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Предотвращение выхода продуктов деления в окружающую среду



# Локализация аварий



# Концепция экологической безопасности АЭС



разрабатывается до реального проектирования АЭС

- оценка состояния окружающей среды в районе предполагаемого строительства АЭС
- уровень допустимых воздействий на природное окружение
- в рамках Технико-экономического обоснования (ТЭО) - *Оценка воздействий АЭС на окружающую среду*
- на стадии проекта АЭС - *Обоснование экологической безопасности*
- соответствие технических решений требованиям Концепции охраны окружающей среды в регионе
- Независимая экологическая экспертиза

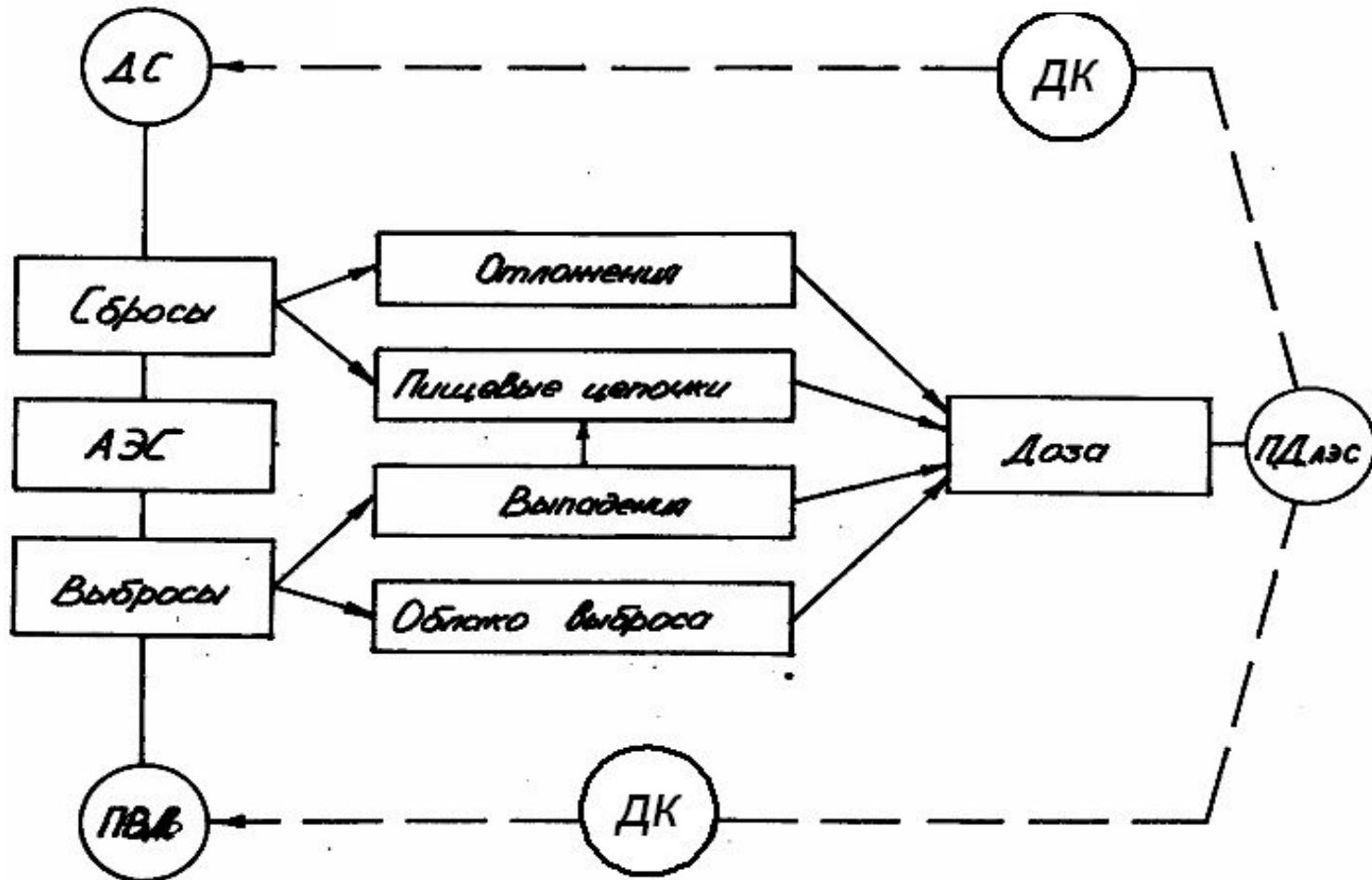
# Малое радиационное воздействие нормально работающей АЭС на окружающую среду

---



- **Дозовую нагрузку** на индивидуума из населения при нормальной работе АЭС **измерить нельзя**
  - это обусловлено тем, что санитарно-гигиеническое законодательство (НРБ и СП АС) установило дозовую квоту АЭС в размере **5 % ПД** – 0,25 мЗв/год, что равно 1/4 - 1/5 естественного фона
  - В проекте станции разрабатываются соответствующие системы и оборудование для выполнения норм
-

# Структурная схема нормирования выбросов и сбросов АЭС



# Схема образования радиоактивных отходов





# Нерадиационные факторы воздействия АЭС на окружающую среду



- тепловое
- химическое
- шумовое
- загрязнения, связанные с жизнедеятельностью комплекса



# ОСНОВНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС

---



- Вывод из эксплуатации после исчерпания ресурса
- Обращение с радиоактивными отходами
- Обращение с отработавшим ядерным топливом

# ДЕМОНТАЖ АЭС по окончании нормальной эксплуатации

---



Демонтаж АЭС является сложным и экологически опасным процессом



## Демонтаж

- В 2006 году был завершен вывод из эксплуатации на площадке АЭС "Биг-Рок Пойнт" в США, и эта площадка вернулась к состоянию **«зеленой лужайки»**
- По состоянию на конец 2006 года 9 АЭС в мире были полностью выведены из эксплуатации, их площадки переданы для использования без ограничений
- 17 АЭС частично демонтированы и подвергнуты безопасной консервации
- 30 АЭС демонтируется перед конечной передачей площадки в пользование
- 30 - находятся в стадии минимального демонтажа перед долгосрочной консервацией

# ОБРАЩЕНИЕ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

---



# Концептуальные основы обращения с РАО



# Обращение с жидкими радиоактивными отходами

---



- хранение в специальных емкостях-хранилищах
- нахождение в открытых водоёмах и специальных бассейнах
- подземное захоронение в пластах-коллекторах
- сброс на специально выделенных участках морей и океанов

# Обращение с твёрдыми радиоактивными отходами

---



- хранение в металлических ёмкостях
  - плавление
  - цементирование
  - битумирование
  - прессование
  - сжигание
  - остекловывание
- 
-





Так выглядят низкоактивные радиоактивные отходы после специальной обработки - остекловывания

Так выглядят низкоактивные радиоактивные отходы после специальной обработки - остекловывания





- 
- Кондиционированные РАО, срок радиационной опасности которых не превышает срока действия инженерных барьеров (оценивается в 300-500 лет), могут захораниваться в приповерхностных или слабозаглубленных могильниках

# ОТРАБОТАВШЕЕ ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО

---



- Это сырьевой ресурс, возможно, ресурс не настоящего, а будущего



# Сложность проблем обращения с ОЯТ

---

- высокая активность (млн. Ки/т)
- значительное тепловыделение после выгрузки из реактора
- наличие в составе ОЯТ значительного количества делящихся веществ



## Мощность дозы от ОЯТ

---

- заметно уменьшается со временем
- через 3 года она составляет примерно  $1/600$  часть от мощности дозы только что выгруженного топлива



## Активность ОЯТ

---

- вначале определяется в основном короткоживущими осколками деления
- после нескольких сотен лет хранения – актинидами



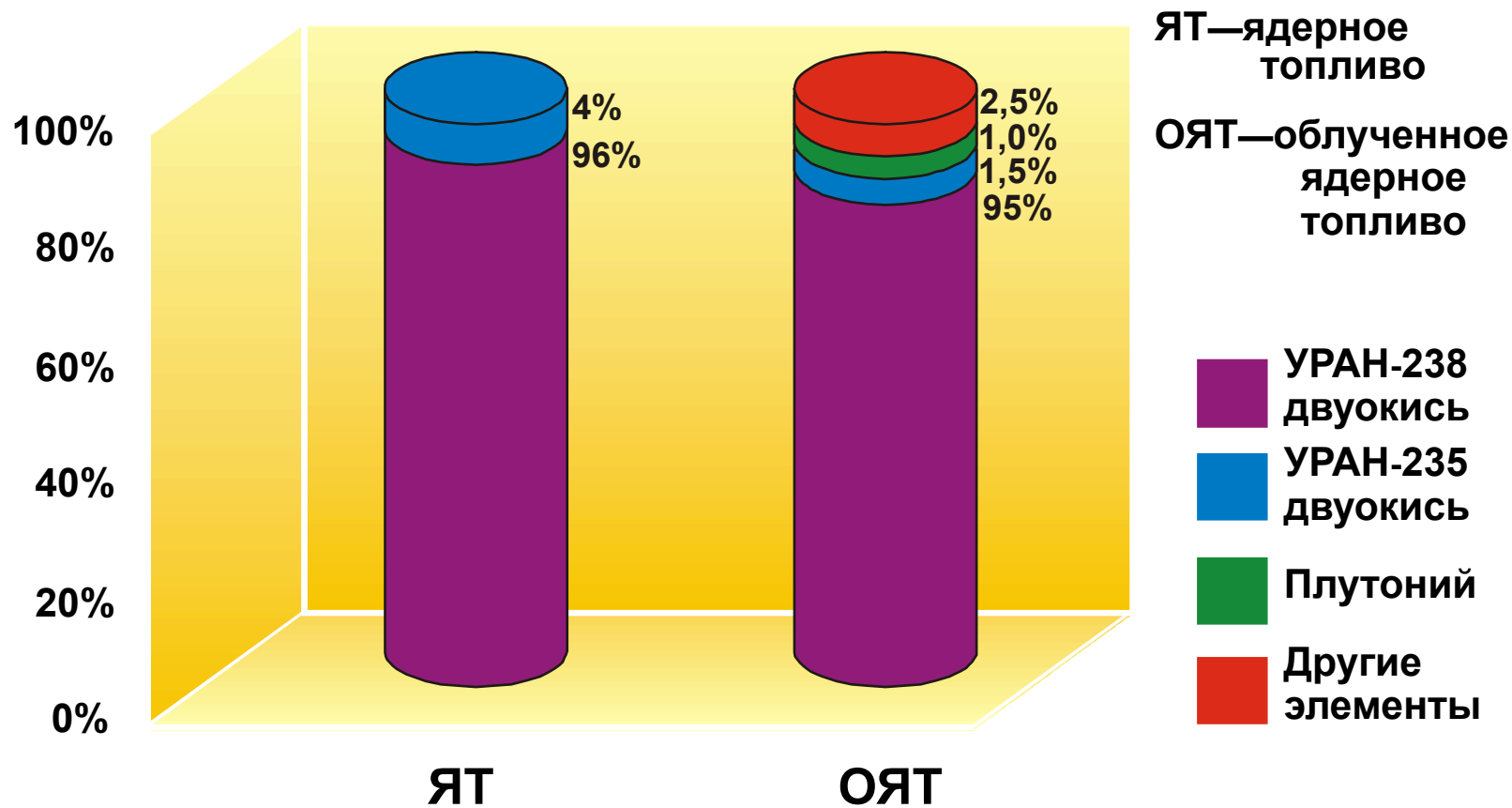
## Количество радионуклидов в ОЯТ

---

Получение 1 ГВт-год электроэнергии на АЭС с реактором ВВЭР сопровождается наработкой

- **150-200 кг Pu**
- **20-30 кг** младших актиноидов (**Np, Am, Cm**)
- за 40 лет работы блока мощностью 1 ГВт их будет произведено 6-8 и 0,8-1,2 т соответственно

# Изменение состава ОЯТ после облучения в реакторе







- 
- Количество отработавшего топлива всех реакторов в мире составляет около 10 500 т в год

# Накопление ОЯТ в мировой атомной энергетике



Год	Количество образовавшегося ОЯТ (	Количество делящихся материалов в ОЯТ	
		Плутоний (	Уран-235 (
2000	200 000	1 500	2 200
2010	300 000	2 300	3 450
2025	550 000	4 000	6 000
2050	800 000	6 000	9 000

# Накопление ОЯТ в Российской Федерации



Год	Количество образовавшегося ОЯТ (тонн)	Количество делящихся материалов в ОЯТ	
		Плутоний (тонн)	Уран-235 (тонн)
2000	15 000	90	140
2010	23 000	140	215
2025	33 000	240	350
2050	50 000	500	650

## Имеется две различные стратегии обращения с отработавшим ядерным топливом



- ОЯТ перерабатывается (или хранится для будущей переработки) с целью извлечения урана и плутония для нового смешанного оксидного (МОХ) топлива
- ОЯТ считается отходами и хранится до захоронения



## Реализация стратегий обращения с ОЯТ

---

- строительство централизованного хранилища
- переход к сухому складированию ОЯТ вблизи АЭС
- развитие технологий переработки и трансмутации ОЯТ



## Стратегия складирования ОЯТ

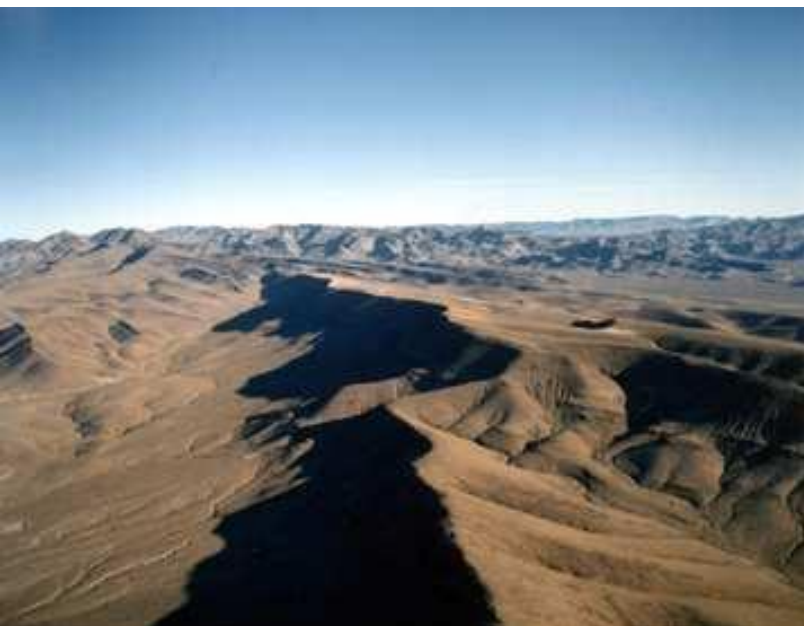
---

- В настоящее время принята в **США**
- непосредственное складирование ОЯТ в металлических контейнерах в глубоких геологических формациях
- Основное национальное хранилище ОЯТ США в Юкка-Маунтин (Yucca-Mountain)

# Проект хранилища РАО и ОЯТ в глубине горы Юкка (США)



пятимильный туннель и серия штреков



Хранилище рассчитано на 10 тысяч лет

**отходы** заложены в стальные цилиндрические кассеты

Емкость хранилища 77 тыс. тонн РАО



- 
- Действующим геологическим хранилищем является экспериментальная установка по изоляции отходов в США
  - С 1999 года она принимает долгоживущие трансурановые отходы, образующиеся в результате проведения научных исследований и производства ядерного оружия
  - не принимает отходы с гражданских АЭС





- 
- Самые развитые программы создания хранилищ - **финская, шведская и американская**
  - однако ни одна из них не обеспечит ввода в эксплуатацию хранилища ранее 2020 года

## Франция



Новое законодательство в отношении обращения с отработавшим топливом и захоронения отходов определяет

- переработку ОЯТ и рециклирование пригодных к использованию материалов
- захоронение в глубинных геологических формациях является эталонным решением для долгоживущих радиоактивных отходов высокого уровня активности



## Великобритания

---

- В 2006 году Комитет по обращению с радиоактивными отходами пришел к выводу, что наилучшим вариантом является
- хранение в глубинных геологических формациях с обеспечением "надежного промежуточного хранения" до выбора площадки для хранилища



## Швеция

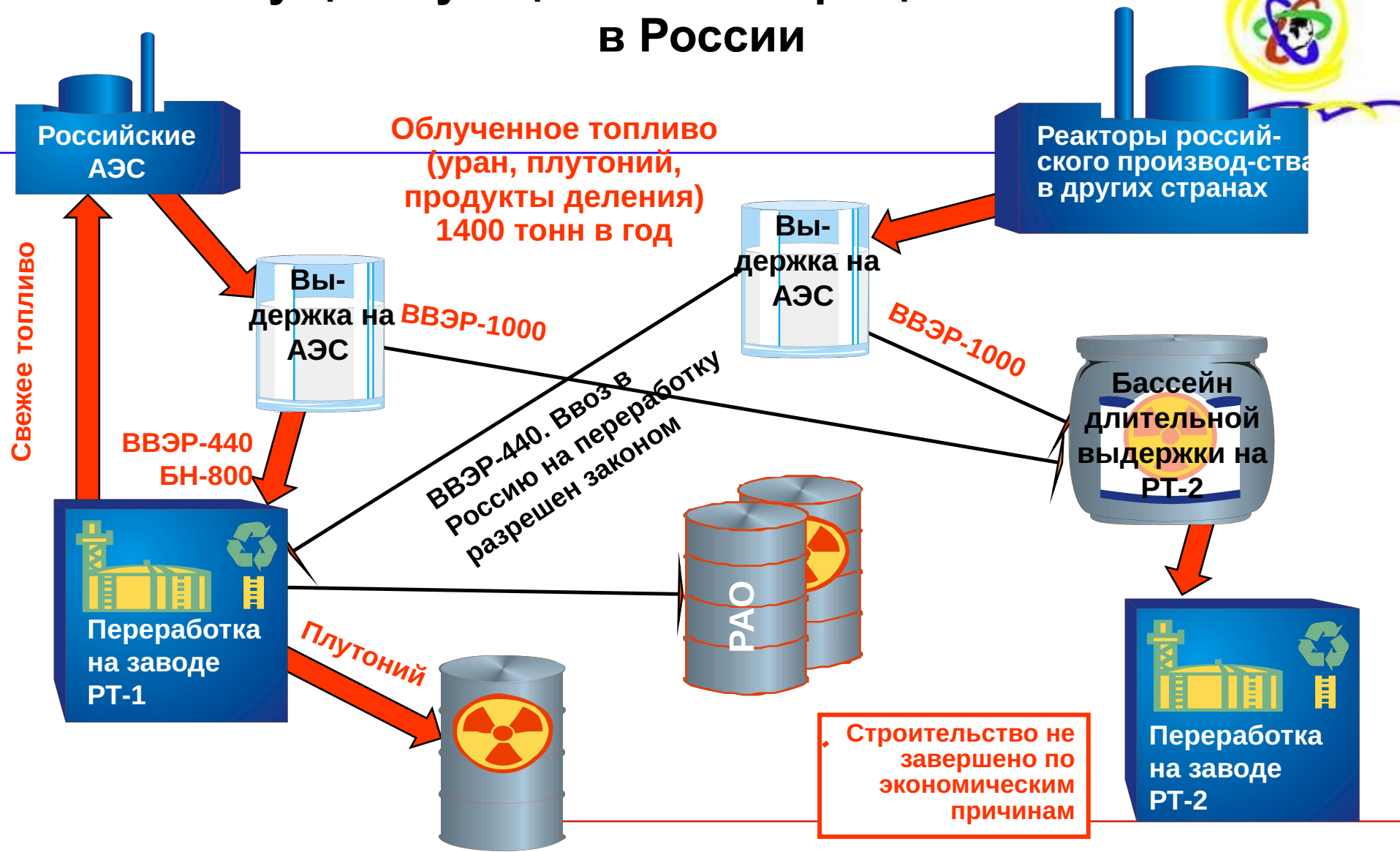
---

- метод окончательного захоронения герметичных медных контейнеров с топливом на глубине приблизительно 500 метров
- Строительство в Оскаршамне завода по герметизации отходов

# Основные этапы обращения с ядерным топливом в РОССИИ



# Существующая схема обращения с ОЯТ в России



Так выглядит  
современное  
хранилище РАО  
и ОЯТ

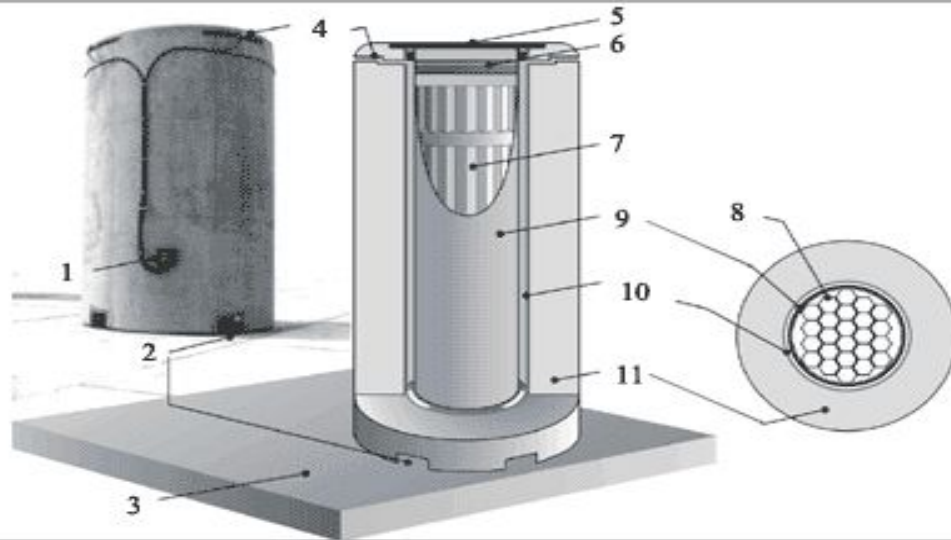




- 
- В России новым направлением обращения с РАО является переход к контейнерному хранению
- используются металлобетонные контейнеры



# Контейнерное хранение ОЯТ



1. датчик температурного контроля	7. блок из 24-х направляющих трубок для ОТВС
2. вход воздуха и направляющие для транспортировки	8. направляющая трубка
3. бетонная площадка хранения	9. корпус <u>многоместной корзины хранения</u>
4. выход воздуха	10. обечайка
5. крышка бетонного контейнера	11. вентилируемый бетонный контейнер
6. силовая и защитная крышки корзины	0

# СТРАТЕГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ



- **Великобритания, Россия, Франция, Япония** в том или ином виде осуществляют переработку ОЯТ
- выделение урана, плутония
- изготовление из переработанных материалов топливных элементов, их повторное использование в легководных реакторах
- Наиболее эффективная структура обращения с ОЯТ и РАО - во Франции (многокомпонентная ядерная энергетика, включающая легководные реакторы, быстрые реакторы - "дожигатели", комплексы переработки ОЯТ и РАО)



## Ядерная трансмутация элементов

---

- Для трансмутации можно использовать практически любое ядерное излучение, однако нейтроны наиболее эффективны
  - На сегодняшний день разработаны несколько вариантов концепции трансмутации ОЯТ
  - во всех концепциях существенная роль отводится быстрым подкритическим системам, т.к. невозможно построить устойчиво работающий критический реактор с топливом, состоящим более чем на 15 – 20 % из младших актиноидов
- 
-



## Реактор-выжигатель

---

- Быстрая подкритическая система для утилизации долгоживущих компонентов ОЯТ, в первую очередь, актиноидов: изотопов америция, кюрия, а также нептуния (доля запаздывающих нейтронов в спектре их деления незначительна)
- управляются сильноточными протонными ускорителями

Кроме актиноидов подкритические системы могут уничтожать продукты деления  $^{99}\text{Tc}$  и  $^{129}\text{I}$

---

# Пульт управления завода радиохимической переработки ОЯТ



# ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

---



## *объекты мониторинга* АЭС:

- окружающая среда в пределах ССЗ и зоны наблюдения (атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почва)
- источники поступления загрязняющих веществ в результате основной деятельности АЭС
- размещение опасных нерадиоактивных отходов



## Задачи мониторинга

---

- получить комплексную информацию о концентрациях вредных веществ в компонентах экосистемы
- сопоставить результаты измерений с нормативными показателями
- оценить состояние экосистемы и возможные последствия техногенных воздействий
- использовать результаты измерений для совершенствования расчетного моделирования процессов в экосистемах и оценок последствий техногенного воздействия
- использовать результаты анализа для разработки «обратных связей» и управления состоянием системы «АЭС + окружающая среда»



## Результаты мониторинга

---

- современные фактические дозы облучения населения от функционирования атомной энергетики находятся **значительно ниже научно подтвержденных порогов обнаружения вредных эффектов**





- 
- для населения радиационные риски от использования ядерной **энергии** в сотни раз ниже рисков от техногенных загрязнений химически вредными веществами



---

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

Антонова Александра Михайловна  
anton@tpu.ru

**СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

$$E = mc^2$$



- **Радиофобия** — нервно-соматические психические расстройства, иногда трудно поддающиеся лечению, выражающиеся в необоснованной боязни различных источников облучения

- В 1961 году, после взрыва сверхбомбы на Новой Земле, загрязнение Северного полушария превосходило Чернобыль, но об этом не оповещали, и для большинства населения все прошло незамеченным

SL-27  
10/19/05

- Не подтверждена гипотеза о том, что воздействие малых доз облучения в течение длительного времени приводит к тем же последствиям, что и больших доз в течение короткого

- Факты свидетельствуют, что миллиард лет жизни при постоянном естественном облучении выработал у живых организмов устойчивость к действию радиации
- Более того, нельзя исключить, что проникающее излучение необходимо для нормального функционирования организмов



- 
- Цены спот на уран, стимулируемые отчасти возобновлением интереса к ядерной энергетике, продолжали расти в 2006 году, достигнув 72 долл. за фунт  $U_3O_8$  (урановый концентрат) – 158 долл. за кг