



РОСАТОМ

**«АТОМЭКО-2015» г. Москва,
9-11 ноября 2015 г.**



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»



РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОЯТ

Ю.С. Федоров

*АО «Радиевый институт им. В.Г. Хлопина»,
Санкт-Петербург, fys@khlopin.ru*

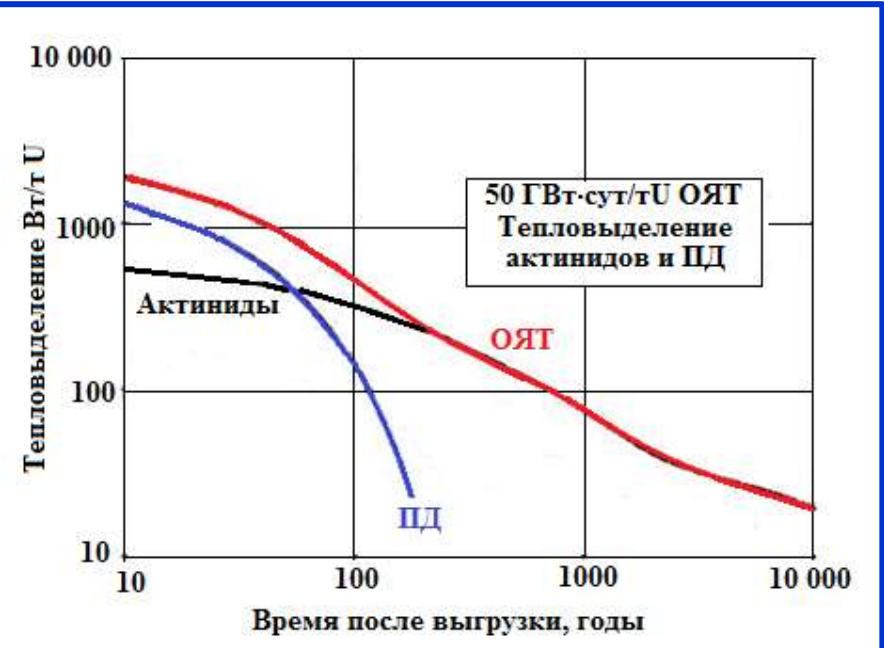
ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается конкуренция подходов к обращению с ОЯТ

- Прямое захоронение ОЯТ в геологические формации.
- Переработка ОЯТ для замыкания ЯТЦ РБН или РТН и сокращения объемов РАО для захоронения.

Проблемы захоронения ОЯТ

Страны США, Финляндия, Канада, Швеция, Германия, Швейцария и др. рассматривают прямое захоронение в геологические формации как основной способ решения проблемы ОЯТ.



Тепловыделение различных нуклидов в ОЯТ при хранении для выгорания 50 ГВт·сут/т ОЯТ



Может ли каждая страна иметь собственный геологический могильник ?

Влияние температуры контейнеров с ОЯТ в хранилище Юкка-Маунтин

Переработка ОЯТ

- Переработке подвергается ОЯТ реакторов ВВЭР, БН-600, PWR и BWR, т.к. в нем содержится количество остаточного ^{235}U больше чем в природном уране.
- На переработку поступает примерно 20% ОЯТ из выгружаемых 11000 т ТМ/год.
- Слабое развитие переработки ОЯТ связано с не до конца решенными проблемами переработки в экономической и экологической части, однако с каждым новым поколением заводов по переработке ситуация улучшается.

Радиохимические заводы из поколения в поколение



**РТ-1 (ПО «Маяк»)
1-е поколение**



**УР3 (Франция)
2-е поколение**



**ОДЦ (ГХК)
3-е поколение**

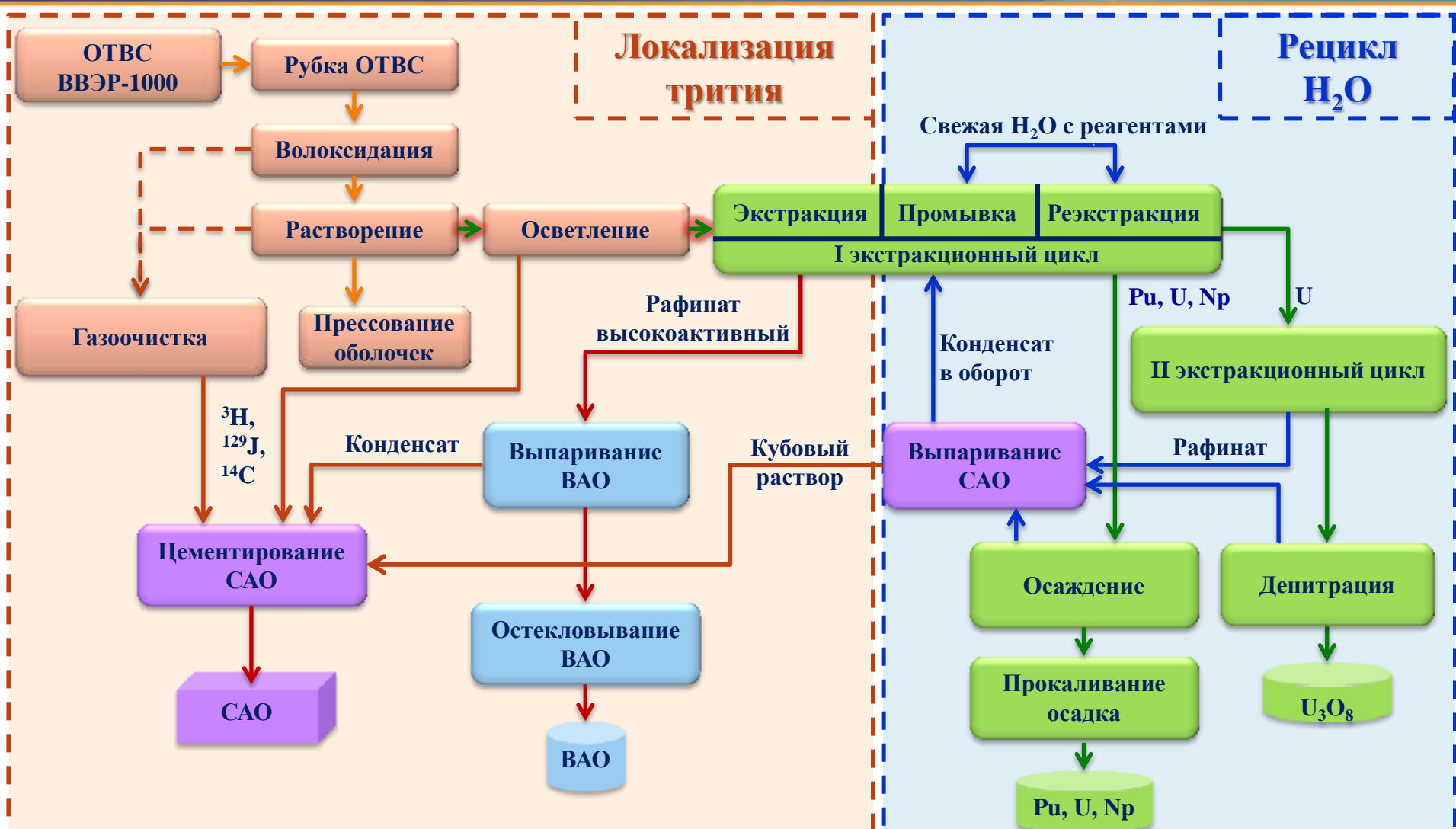


**РТ-2
Вариант 4-го поколения**

Поколение завода	Завод	Мощность, т/год	Продукты переработки
1-е поколение	РТ-1 (ПО «Маяк»)	400	U в РБМК, Pu на склад. Жидкие САО и НАО, ВАО хранение и глубинное захоронение
2-е поколение	УР2,3 (Франция), Rokkasho (Япония)	1600 800	Pu в МОКС, U на обогащение. Жидкие НАО, ВАО глубинное захоронение
3-е поколение	ОДЦ (ГХК)	250	U, Pu в МОКС или РЕМИКС. ЖРО нет, ВАО глубинное захоронение
4-е поколение	РТ-2 (ГХК)	1000-1500	U, Pu в МОКС или РЕМИКС. ЖРО нет, трансмутация ТПЭ, ВАО хранение до САО и приповерхностное захоронение

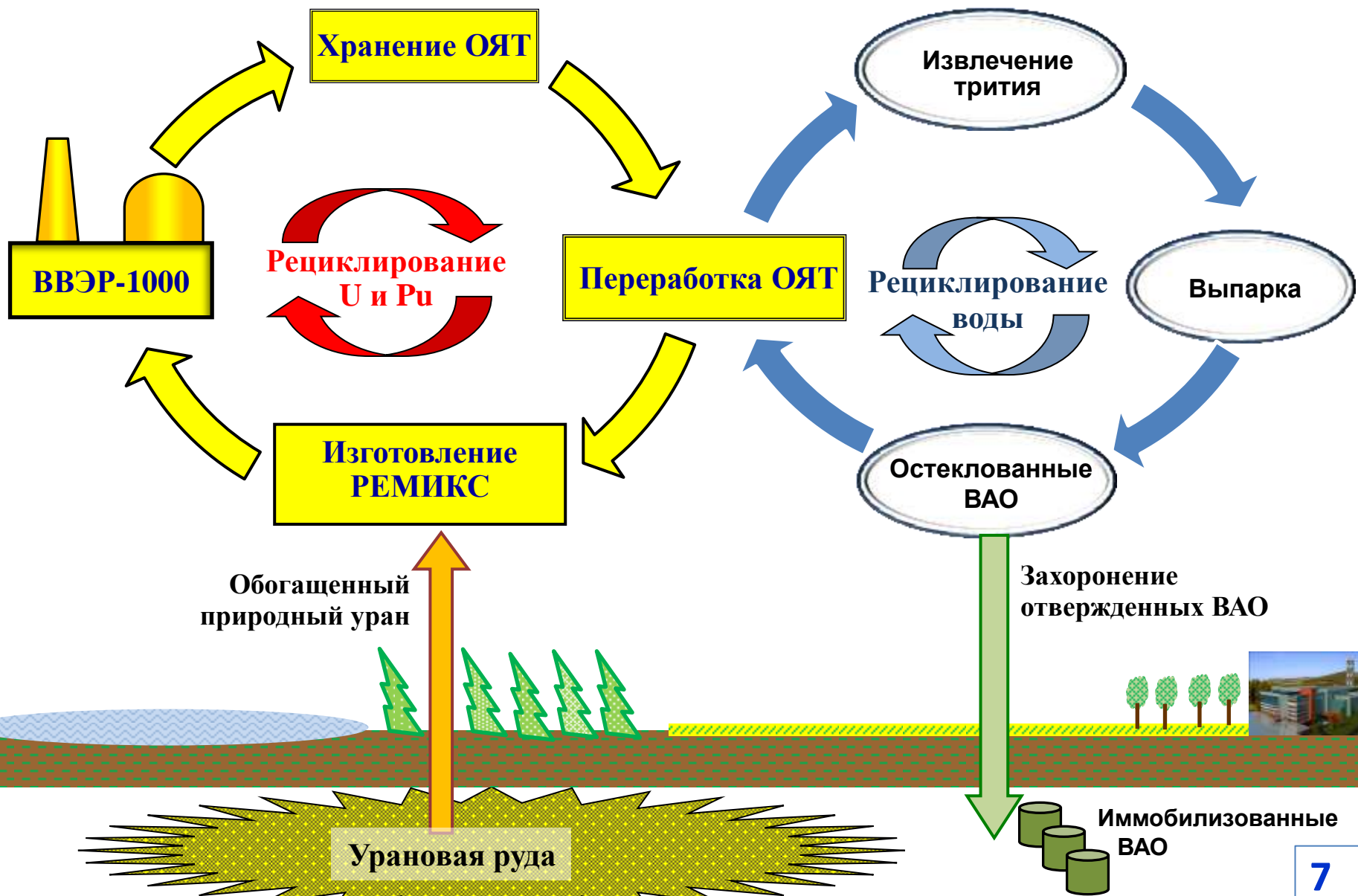


Базовая технология ОДЦ





Оптимальный ЯТЦ ВВЭР для завода 3-го поколения



Технология переработки ОЯТ 4-го поколения

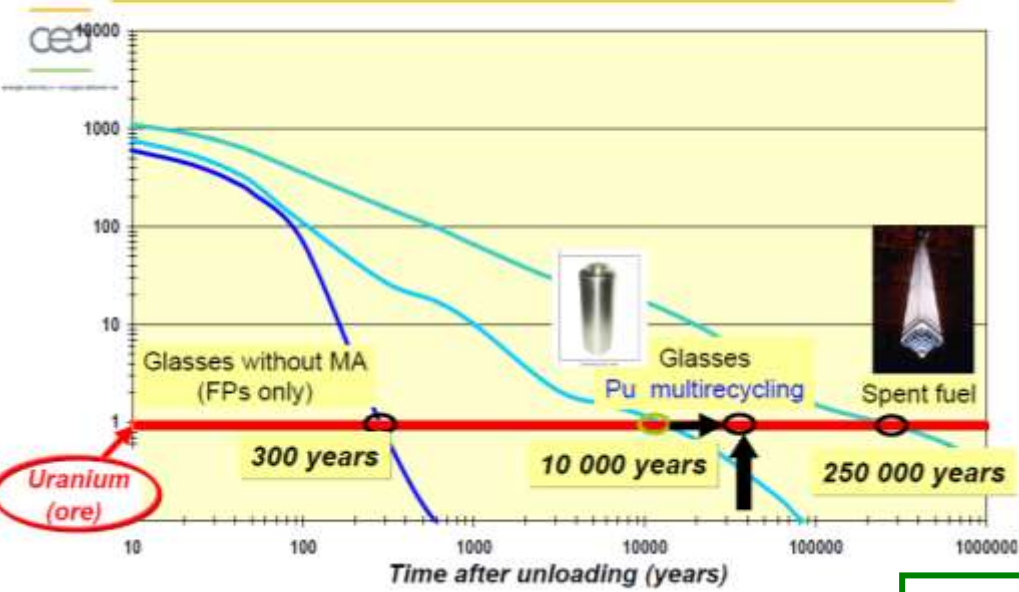
Основные задачи переработки ОЯТ:

1. Прекращение сбросов жидких РАО в окружающую среду. → Решено в проекте ОДЦ, завода 3-го поколения.
2. Повторное использование ценных продуктов переработки. → Решение связано с реализацией концепции использования РЕМИКС-топлива.
3. Обращение с ВАО без дорогостоящего захоронения в геологические формации. → Решение возможно в рамках создания технологии 4-го поколения.

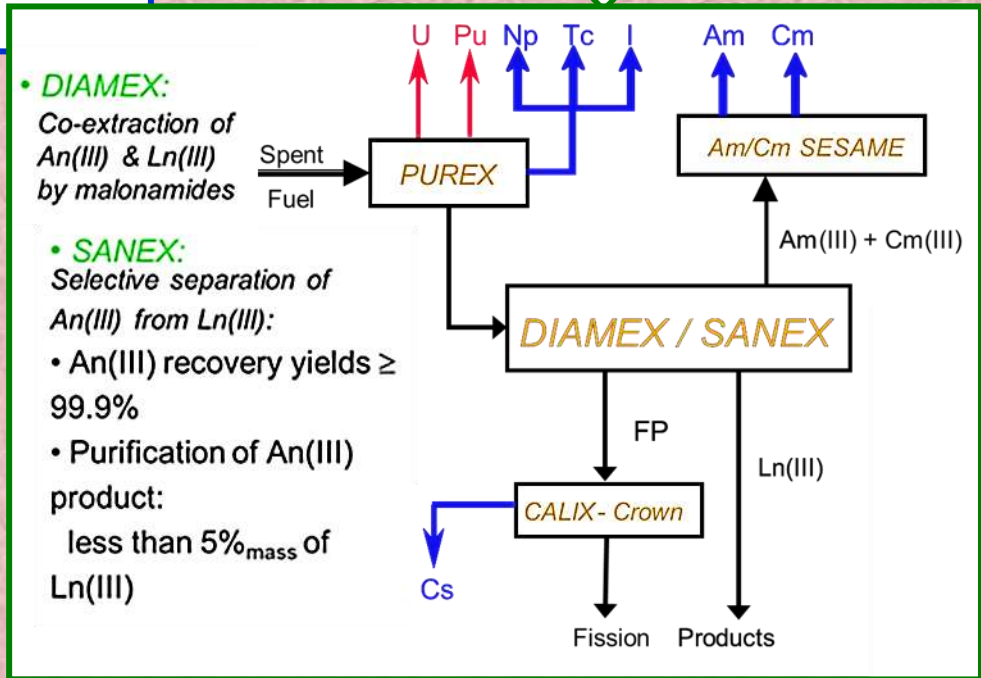
Подход Франции к обращению с ВАО

Фракционирование ВАО с выделением Am и Cm позволит упростить обращение с ПД

Radiotoxicity of waste, to be disposed



Остеклованные ПД, после отделения ТПЭ через 300 лет достигнут уровня радиотоксичности урановой руды

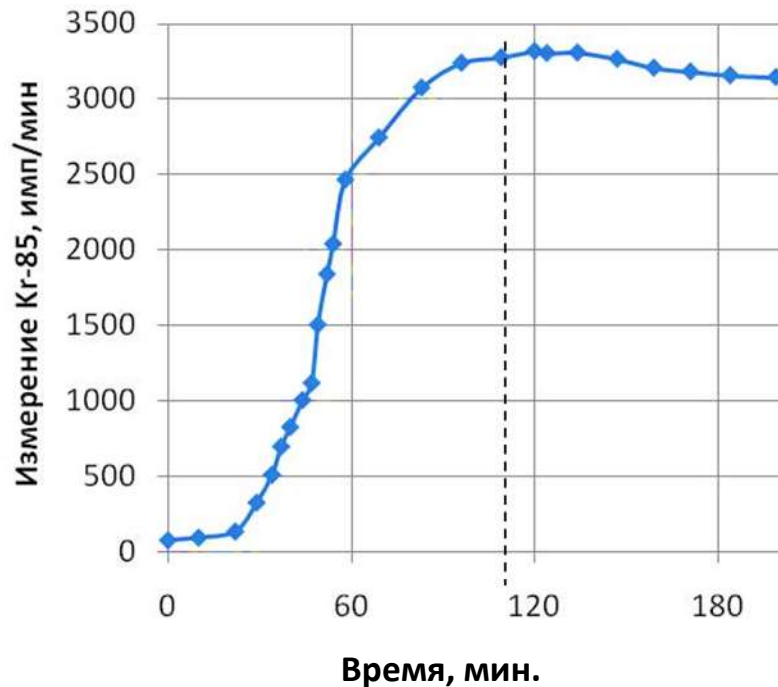


Варианты технологии UREX (США)

Таблица. Возможные варианты технологии UREX+ (США)

<i>Process</i>	<i>1st Product</i>	<i>2nd Product</i>	<i>3rd Product</i>	<i>4th Product</i>	<i>5th Product</i>	<i>6th Product</i>	<i>7th Product</i>
UREX+1	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	Other FPs	TRU+Ln (temporary storage)		
UREX+1a	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	TRU (group extraction)		
UREX+1b	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	U+TRU (group extraction)		
UREX+2	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	Other FPs	Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am+Cm+Ln (temporary Storage)	
UREX+2a	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	Other FPs	U+Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am+Cm+Ln (temporary Storage)	
UREX+3	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am+Cm (heterogeneous targets)	
UREX+3a	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	U+Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am+Cm (heterogeneous targets)	
UREX+4	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am (heterogeneous targets)	Cm (decay storage)
UREX+4a	U (highly purified)	Tc, I (LLFP, dose issue)	Cs, Sr (short-term heat mgmt.)	FPs (including lanthanides)	U+Pu+Np (for FR recycle fuel)	Am (heterogeneous targets)	Cm (decay storage)

Растворение ОЯТ с использованием трехвалентного железа (ГЕОХИ)



После растворения
ОЯТ



Раствор после
фильтрации

Использовали просыпи ОЯТ ВВЭР-1000 с выгоранием 60 ГВт·сут/т U с выдержкой 7-8 лет массой 1,45 г. Мольное отношение ОЯТ: Fe = 1:2,2. Время полного растворения 1 час.

Температура растворения 90 – 100 °С без перемешивания.

Влияние высаливателя на экстракцию ТПЭ с помощью ТБФ

Присутствие высаливателя увеличивает экстракцию ТПЭ, с ростом концентрации азотной кислоты эффект высаливания подавляется.

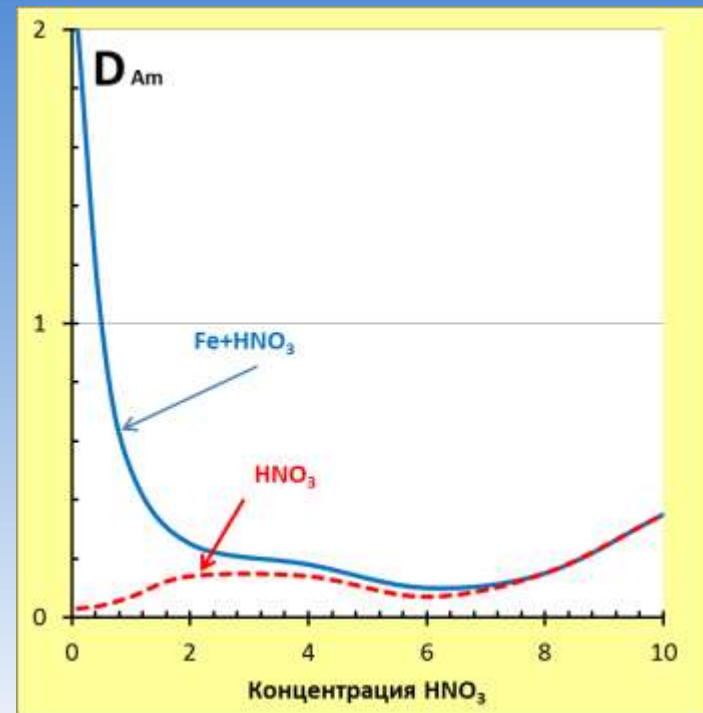
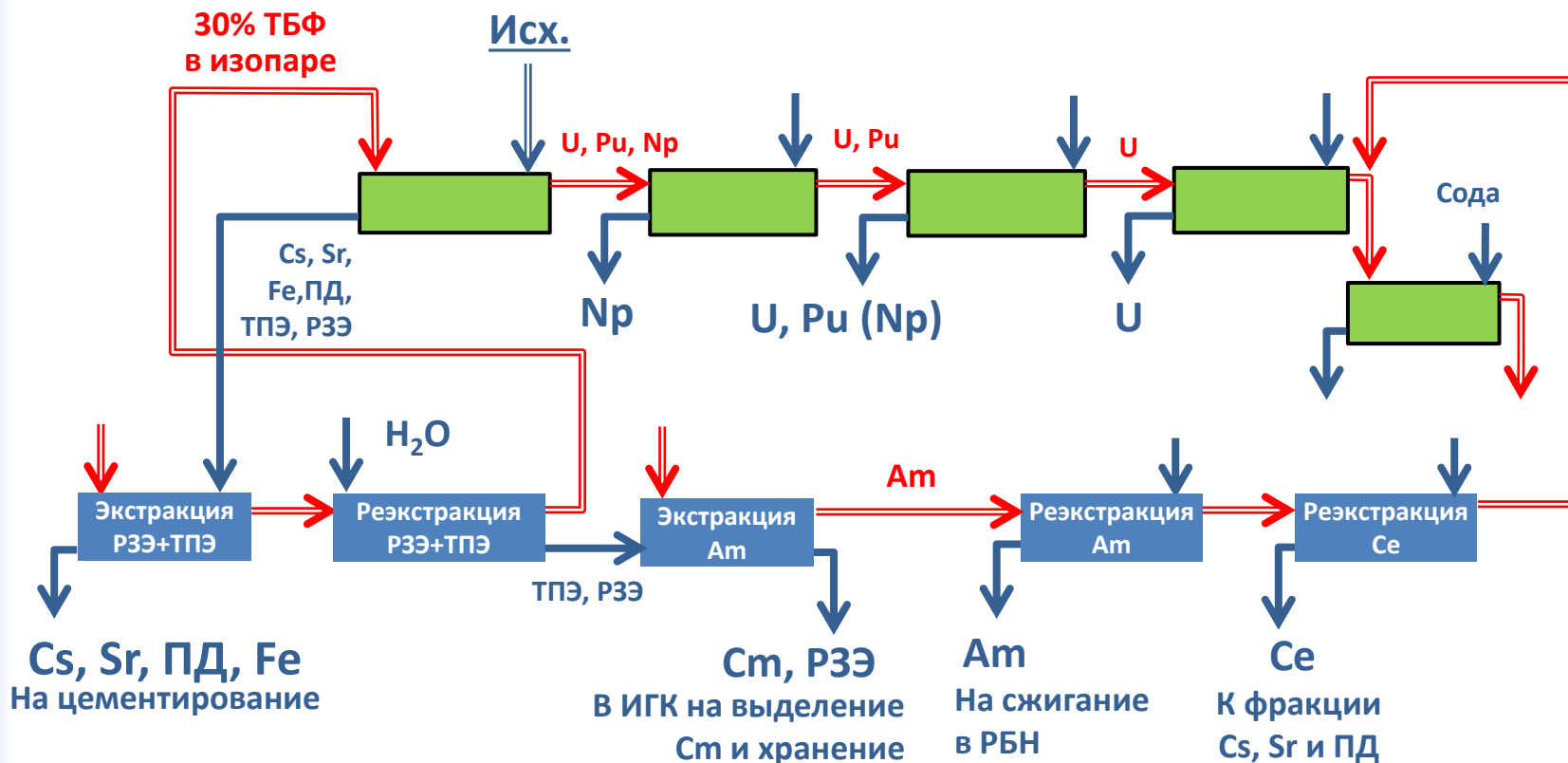


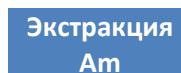
Таблица. Экстракция Am и Eu 30% ТБФ из разбавленных растворов азотной кислоты, содержание Eu в исходном растворе 3 г/л

Концентрация HNO ₃ , моль/л	Высаливатель	D _{Am}	D _{Eu}	Коэф. разделения
0,05	-	<0,001	<0,001	
0,2		0,004	<0,001	
0,5		0,01	0,026	
1		0,02	0,03	
0,05	1 моль/л Fe(NO ₃) ₃	1,07	2,1	2,0
0,1		1,04	2,06	2,0
0,2		0,82	1,2	1,5

Универсальный Пурекс-процесс – технология для завода 4-го поколения



← Оборудование Базовой технологии



← Новое оборудование

Активность изотопов из ОЯТ

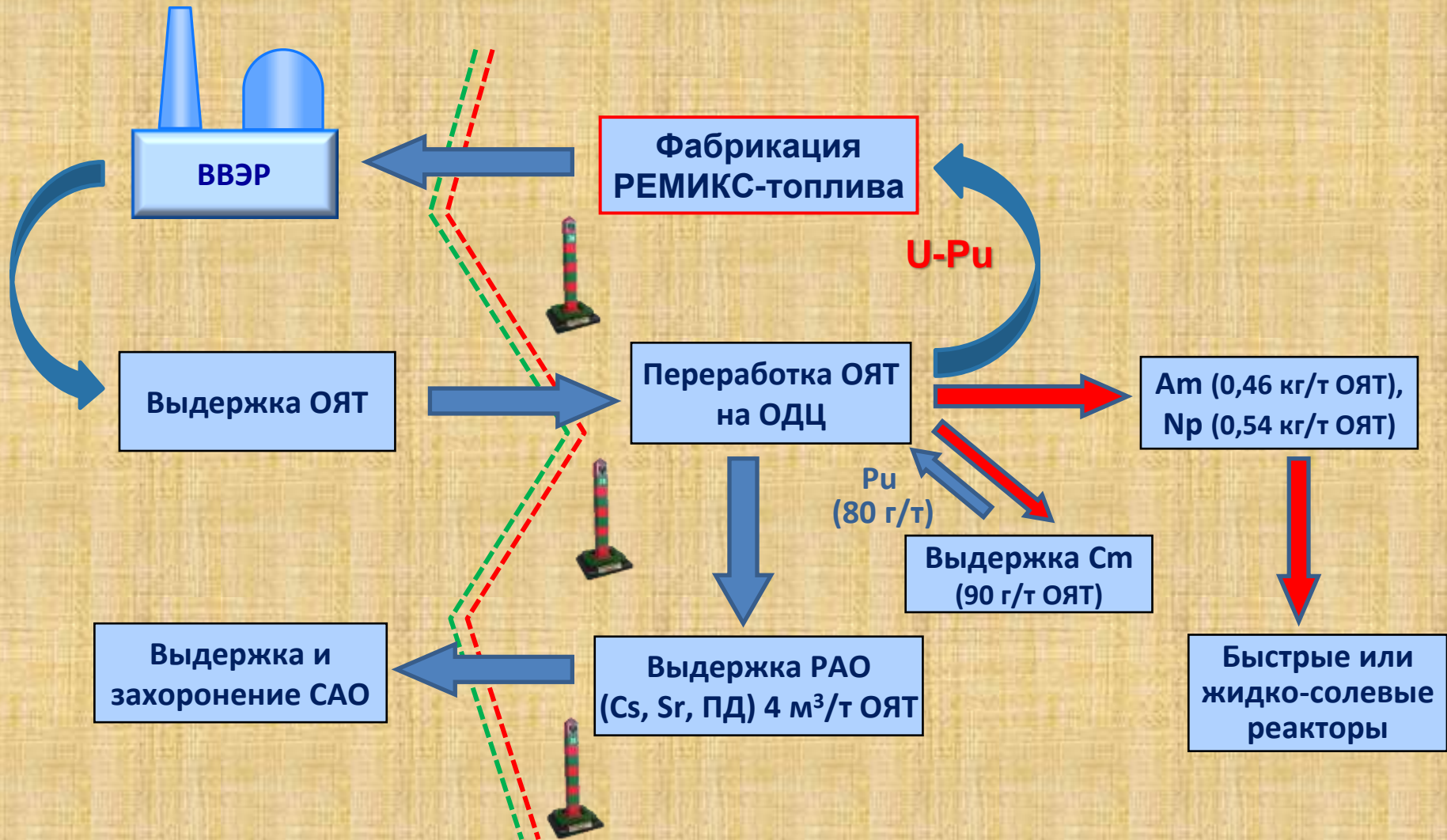
Таблица. Активности ключевых изотопов, содержащихся в ВАО после выдержки.

Выгорание ОЯТ – 50 ГВт·сут/т U. Объемы: боросиликатного стекла 0,15 м³/т ОЯТ, цементированных РАО – 4 м³/т ОЯТ

Изотоп	T _{1/2}	Бк/г ОЯТ	Активность через 100 лет, Бк/г	
			Стекло	Цемент
Sr-90	29	3,7·10 ⁹	1·10 ⁹	3,8·10 ⁷
Cs-137	30	5,2·10 ⁹	1,6·10 ⁹	5,9·10 ⁷
Eu-155	5,0	4,1·10 ⁸	1,2·10 ²	4,7·10 ¹
Cm-243	29	6,7·10 ³	1,8·10 ³	6,9·10 ¹
Cm-244	18	2,4·10 ⁸	1,5·10 ⁷	5,8·10 ⁵
<i>Pu-240</i>	<i>6560</i>	-	<i>2,0·10⁶</i>	<i>6,8·10⁴</i>
Cm-245	8500	3,1·10 ⁴	9,3·10 ⁴	3,5·10 ³
Cm-246	4760	4,4·10 ³	1,3·10 ⁴	5,0·10 ²
Am-241	432	3,4·10 ⁷	1·10 ⁸	3,9·10 ⁶
Am-243	7 370	1,4·10 ⁶	4,2·10 ⁶	1,6·10 ⁵

Черным цветом выделены параметры активности по порядку величин попадающие в 3-й класс РАО, подлежащих приповерхностному захоронению до 100 м.

Идея переработки зарубежного ОЯТ на заводе 4-го поколения



ВЫВОДЫ

- 1. Продолжается конкуренция технологий прямого захоронения ОЯТ в геологические формации и технологиями переработки ОЯТ с возможностью рециклирования регенерированных урана и плутония.**
- 2. За рубежом развитие технологий переработки направлено на упрощение захоронение или разработку специализированной технологии под конкретный тип ОЯТ.**
- 3. Создающийся на ОДЦ на ФГУП ГХК, как первый в мире прототип завода 3-го поколения, в соответствии с проектом позволит ликвидировать жидкие РАО при сокращении общего объема ВАО.**
- 4. На основе разработок ГЕОХИ РАН, АО РИ и ФГП ГХК созданы условия для создания технологии 4-го поколения, позволяющей за счет извлечения ТПЭ, выделения и трансмутации Am, а также длительной выдержки ПД получить САО, относящиеся к 3 классу и удаляемые в приповерхностных ПЗРО до 100 метров.**