

Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –  
**ФИЗИКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**  
имени А.И. Лейпунского  
ИНСТИТУТ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

## Применение экстракционной хроматографии в радиохимических технологиях выделения стронция-89, стронция-90, иттрия-90, ниобия-95 и стронция-82

*Шаповалов В.В., Подсобляев Д.А.*



# Выделение стронция-89

- Исходное сырьё: Таблетки оксида природного иттрия (100% иттрий-89).
- Стронций-89 образуется при облучении мишени в быстром реакторе по реакции:
- $^{89}\text{Y}(n,p)^{89}\text{Sr}$
- Использовались колонки заполненные смолой Sr Resin, размер частиц 100-150 мкм.
- 1-я колонка: объём 100 см<sup>3</sup>,
- 2-я колонка: объём 6 см<sup>3</sup>.

# Выделение стронция-89

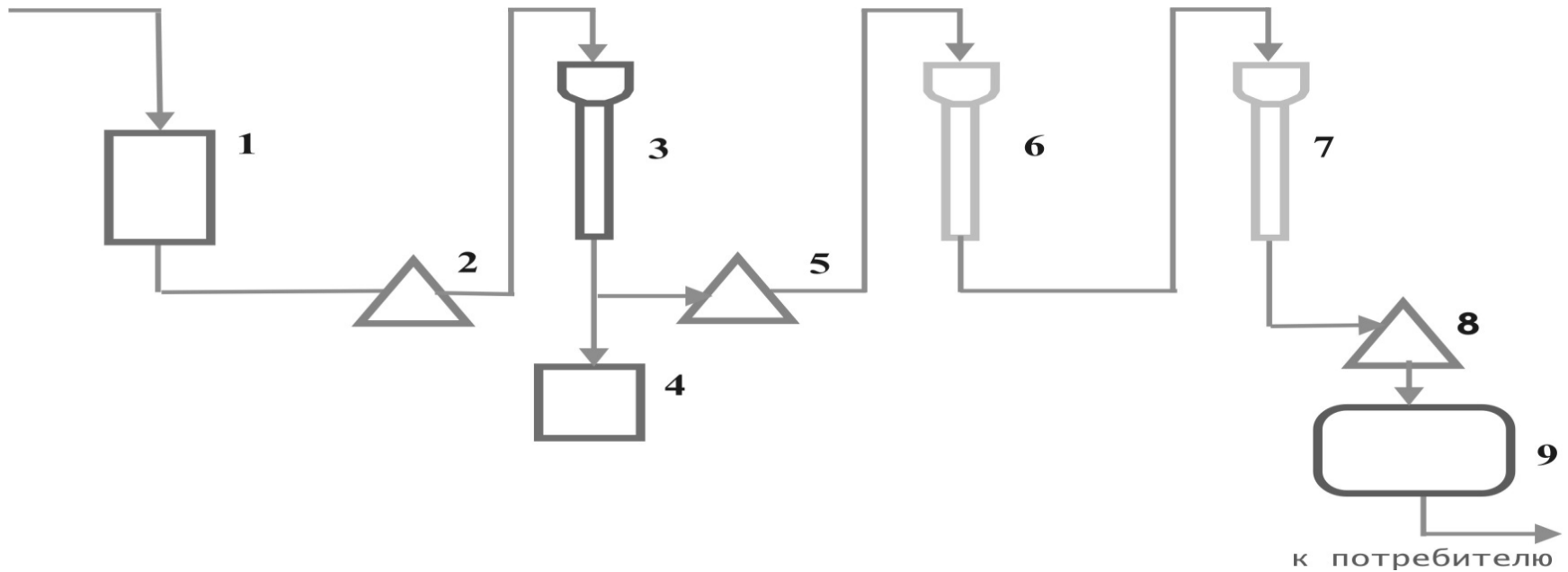


Схема процесса выделения Sr-89: 1 – растворение таблеток оксида иттрия; 2, 5, 8 – корректировка объема и кислотности раствора; 3 – первичная очистка Sr-89 на колонке со Sr Resin; 4 – емкость для хранения раствора иттрия; 6 – вторичная очистка Sr-89 на второй колонке со Sr Resin; 7 – очистка раствора Sr-89 от следов органики на колонке с катионитом; 9 – фасовка и упаковка готового продукта.

# Выделение стронция-89

- Содержание основных радионуклидов в исходных растворах, мКи

Радионуклиды	1-я ампула	2-я ампула	3-я ампула
$^{89}\text{Sr}$	332,0	385,5	349,5
$^{54}\text{Mn}$	4,8	6,6	4,0
$^{58}\text{Co}$	53,1	77,6	48,5
$^{88}\text{Y}$	68,1	145,3	110,9
$^{86}\text{Rb}$	21,7	46,5	35,2

# Выделение стронция-89

- Содержание активных примесей в растворе стронция-89 после первичной очистки, Бк

Радионуклиды	1-я ампула	2-я ампула	3-я ампула
$^{54}\text{Mn}$	$3,6 \cdot 10^2$	$6,0 \cdot 10^2$	$4,7 \cdot 10^2$
$^{58}\text{Co}$	$3,4 \cdot 10^4$	$5,1 \cdot 10^4$	$4,2 \cdot 10^4$
$^{88}\text{Y}$	$4,9 \cdot 10^4$	$9,5 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^4$

# Выделение стронция-89

- Содержание неактивных примесных катионов в готовом продукте, мкг/мл

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Fe	2,8	Ba	< 0,1
Pb	0,5	Cr	<0,1
Al	1,4	Sb	<0,1
Ni	<1,0	Sn	< 0,1
Cu	<0,3	Mo	<0,1
Zn	<10,0	Hg	<0,1
Mn	<0,1	Te	< 0,1
Cd	<0,1	Mo	<0,1
Be	<0,1	Y	<0,1
As	<0,1		

# Выделение стронция-90

- Исходное сырьё: ТВЭЛы реактора АМ, имеющие выгорание 3% и выдержку 1 год.
- Использовались колонки заполненные смолой Sr Resin, размер частиц 100-150 мкм.
- 1-я колонка: объём 30 см<sup>3</sup>,
- 2-я колонка: объём 30 см<sup>3</sup>.

# Выделение стронция-90

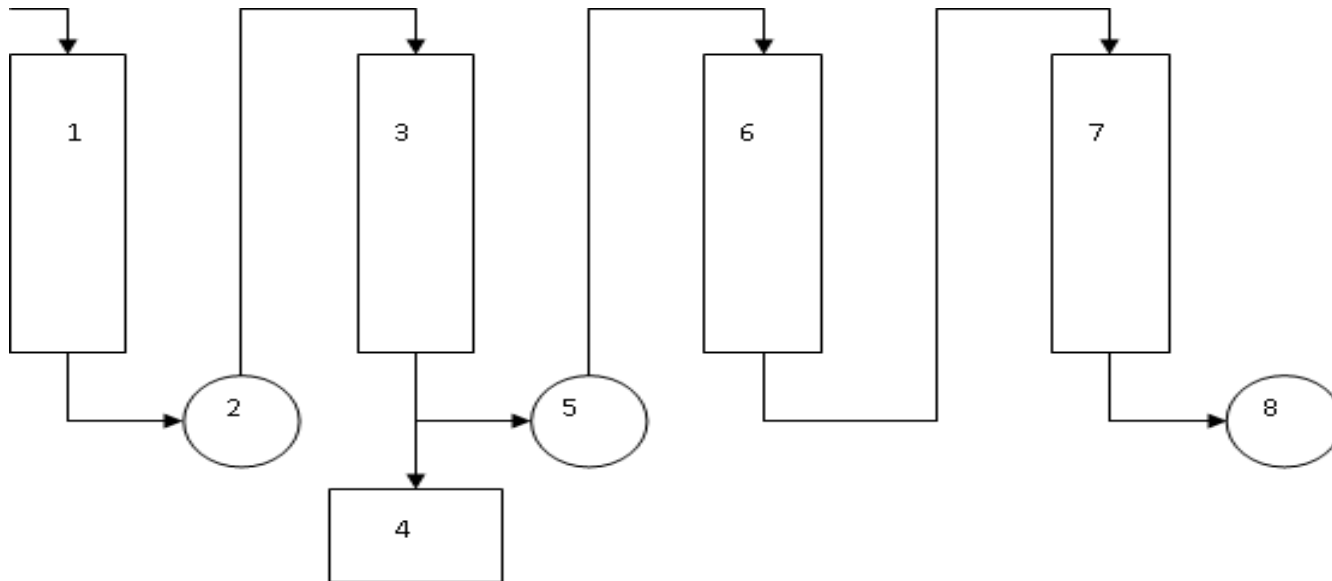


Схема процесса выделения стронция-90: 1 – растворение облученного топлива; 2;5 – корректировка кислотности раствора; 3 – первичное выделение стронция-90 на колонке со Sr Resin; 4 – емкость для хранения хвостового раствора; 6 – вторичная очистка стронция-90 на колонке со Sr Resin; 7 – очистка раствора стронция-90 от следов органики на колонке с катионитом; 8 – корректировка объема и кислотности раствора.



# Выделение стронция-90

- Раствор содержал (100÷150)г/л урана и продукты деления, в том числе (5÷10)Ки/л стронция-90.
- Объём раствора: 350÷400мл

# Выделение стронция-90

- Количество основных радионуклидных примесей в растворе
  - стронция-90 после первой колонки со Sr Resin

Радионуклид	Содержание, мКи/Ки Sr-90
Ce <sup>144</sup> +Pr <sup>144</sup>	14,0
Sb <sup>125</sup>	0,4
Rh <sup>106</sup> +Ru <sup>106</sup>	7,5
Cs <sup>137</sup>	3,9
Cs <sup>134</sup>	0,8
Zr <sup>95</sup> +Nb <sup>95</sup>	1,2

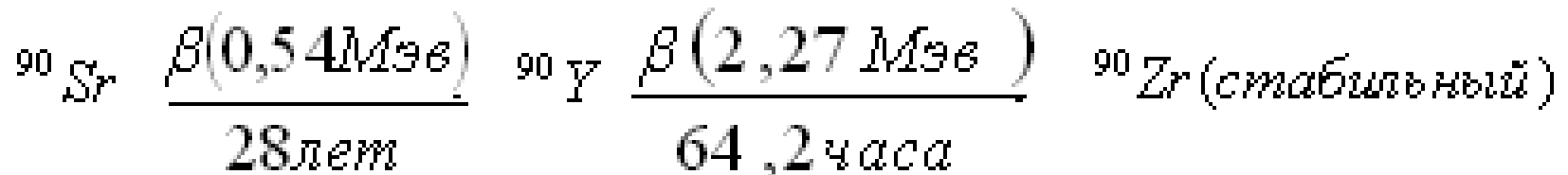
# Выделение стронция-90

- **Содержание неактивных примесей в готовом продукте**

<b>Элемент</b>	<b>Содержание, мкг/мл</b>	<b>Элемент</b>	<b>Содержание, мкг/мл</b>
<b>Fe</b>	<b>3.0</b>	<b>Cd</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Mn</b>	<b>1.6</b>	<b>Be</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Pb</b>	<b>0.9</b>	<b>Ba</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Al</b>	<b>0.4</b>	<b>Sb</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Ca</b>	<b>5.0</b>	<b>Sn</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Mg</b>	<b>2.6</b>	<b>Bi</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Cr</b>	<b>6.0</b>	<b>Mo</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Ni</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>Hg</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Cu</b>	<b>&lt;0.3</b>	<b>Te</b>	<b>&lt;0.1</b>
<b>Zn</b>	<b>&lt;10.0</b>	<b>As</b>	<b>&lt;0.1</b>

# Выделение иттрия-90

- Исходное сырьё: раствор стронция-90, выдержанный в течение недели и более.
- Иттрий-90 образуется по реакции:



- Использовалась колонка заполненная смолой RE Resin, размер частиц 100-150 мкм.
- Колонка: объём 20 см<sup>3</sup>.
- Перспектива: для разделения стронция и иттрия использовать смолу Ln Resin

# Выделение иттрия-90

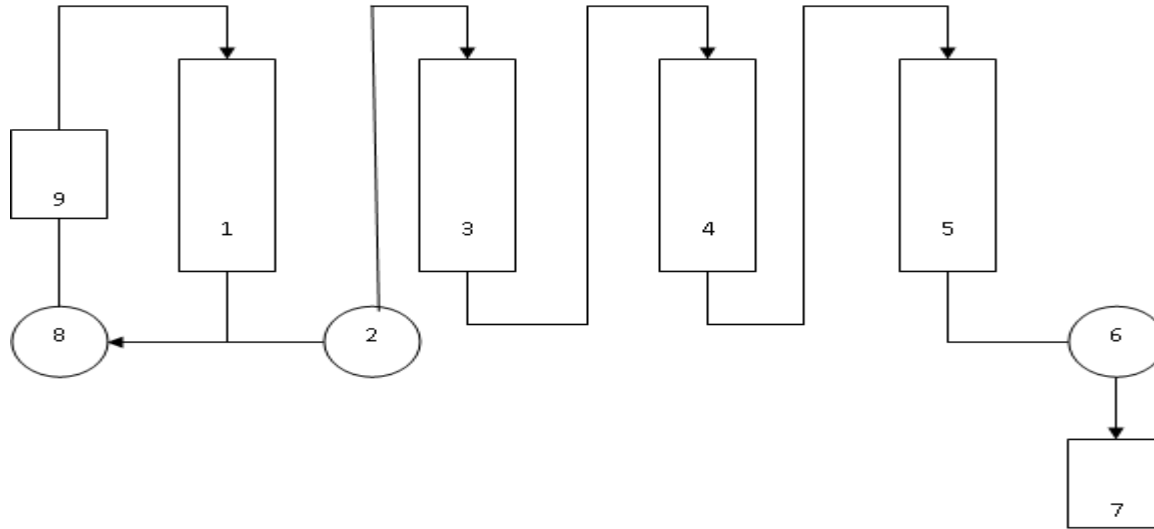


Схема процесса выделения и очистки иттрия-90 : 1 – разделение равновесной смеси стронция-90 и иттрия-90 на экстракционно-хроматографической колонке на основе Д2ЭГФК; 2, 6 – корректировка кислотности и объемной активности раствора иттрия-90; 3 – очистка раствора иттрия-90 от следов стронция-90 на второй экстракционно-хроматографической колонке на основе Д2ЭГФК; 4 – очистка раствора иттрия-90 от неактивных примесных катионов на итрий-специфической колонке с RE Resin; 5 – очистка раствора иттрия-90 от органических примесей и неактивных примесных катионов на колонке с катион-обменной смолой; 7 – фасовка и упаковка готового продукта; 8 – объединение растворов со стронцием-90, корректировка объема и кислотности, разложение следов органических примесей; 9 – выдержка раствора стронция-90 для накопления иттрия-90.

# Выделение иттрия-90

- **Результаты экспериментов по выделению иттрия-90**

№ эксперимента	Активность исходного раствора по $^{90}\text{Sr}$ , Ки	Активность конечного продукта по $^{90}\text{Y}$ , Ки	Чистота продукта по $^{90}\text{Sr}$ , Ки $^{90}\text{Sr}$ /Ки $^{90}\text{Y}$	Выход $^{90}\text{Y}$ , %
1	5	3,2	$2,04 \cdot 10^{-8}$	64
2	5	3,5	$2,28 \cdot 10^{-8}$	70
3	5	3,6	$1,08 \cdot 10^{-8}$	72

# Выделение иттрия-90

- Результаты атомно-эмиссионного анализа иттрия-90

Элемент	Концентрация, мг/мл
Pb	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Mn	$0,02 \cdot 10^{-3}$

Al, As, Ba, Be, Bi, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mo, Ni, Sb, Sn, Te, Zn – не обнаружены.

# Выделение стронция-82

- Исходное сырьё: Мишень из природного металлического рубидия, облучённая в пучке протонов с энергией от 100 до 40 МэВ.
- Стронций-82 образуется при облучении мишени по реакциям:
- $^{85}\text{Rb}(p,4n)^{82}\text{Sr}$  и  $^{87}\text{Rb}(p,6n)^{82}\text{Sr}$ .
- Использовалась колонка заполненная смолой Sr Resin, размер частиц 100-150 мкм.
- Колонка: объём 50 см<sup>3</sup>.



# Выделение стронция-82

- Схема процесса выделения стронция-82



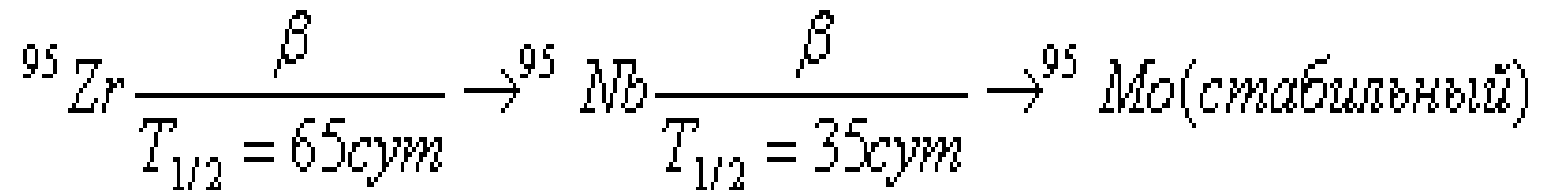
# Выделение стронция-82

- Технические характеристики стронция-82

Наименование показателя	Норма
Удельная активность радионуклида стронция-82, ТБк/г (Ки/г), не менее	0,9 (25)
Объемная активность радионуклида стронция-82, ГБк/мл (мКи/мл), не менее	2,2 (60)
Содержание химических примесей в сумме, мкг/см <sup>3</sup> , не более	20
Содержание радионуклидных примесей, мКи/мКи <sup>82</sup> Sr, не более	
- рубидий-83	0,0015
- рубидий-84	0,0001
- рубидий-86	0,0015
-стронций-85	0,0001

# Выделение ниобия-95

- Исходное сырьё: раствор смеси ниобия-95 и циркония-95
- Ниобий-95 образуется по реакции:



- Использовалась колонка заполненная смолой RE Resin, размер частиц 100-150 мкм.
- Колонка: объём 5 см<sup>3</sup>.

# Выделение ниобия-95

- Элюирование отдельных элементов на колонке с RE Resin

Элемент	Доля элюирования элемента (%) во фракции									
	2M HNO <sub>3</sub>									0,05M HNO <sub>3</sub>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Li	79,3	27,8	—	—	—	—	—	—	—	—
Na	74,7	30,5	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg	78,5	28,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Al	79,4	26,8	—	—	—	—	—	—	—	—
K	81,8	27,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Ca	75,3	33,7	—	—	—	—	—	—	—	—
Mn	45,8	61,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Fe	<0,5	53,4	44,9	2,2	<1,1	—	—	—	—	—
Co	75,0	30,3	—	—	—	—	—	—	—	—
Ni	77,3	28,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Cu	76,4	30,1	—	—	—	—	—	—	—	—
Zn	77,2	30,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Rb	75,9	27,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sr	78,8	28,9	—	—	—	—	—	—	—	—
Zr	1,4	1,1	0,3	—	—	—	—	—	—	76,0
Ag	82,0	17,9	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd	72,6	34,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Cs	74,8	27,0	—	—	—	—	—	—	—	—
Ba	79,9	27,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Hg	47,5	51,2	—	—	—	—	—	—	—	—
Pb	63,0	41,9	—	—	—	—	—	—	—	—
Bi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7,8
Y	—	—	—	3,8	20,8	30,3	28,9	8,3	1,8	<1,0