

Технология переработки  
редкоземельного сырья

Макасеев Ю.Н.  
доцент, к.х.н.

## Обогащение редкоземельного сырья

Дробление

Измельчение

Классификация (крупные – мелкие частицы)

Гравитац. обогащение (лопарит- $4,8\text{г/см}^3$ , прим.  $<3\text{г/см}^3$ )

Коллективный концентрат (30-40% минералов РЗЭ)

Обезвоживание

Сушка

Электростатическая сепарация (пров-ки - диэл-рики)

Эл.магнитная сепарация

Концентрат (93-96% лопарита)

Извлечение 75-80%.

# Обогащение руды



- **крупное дробление:**

$$d_{\text{исх}} = 300 - 1500 \text{ мм}$$
$$d_{\text{кон}} = 100 - 300 \text{ мм}$$

- **среднее:**

$$100 - 300$$
$$10 - 50$$

- **мелкое:**

$$10 - 50$$
$$2 - 10$$

- **тонкое:**

$$2 - 10$$
$$0,3 - 0,07$$

## Измельчение руды

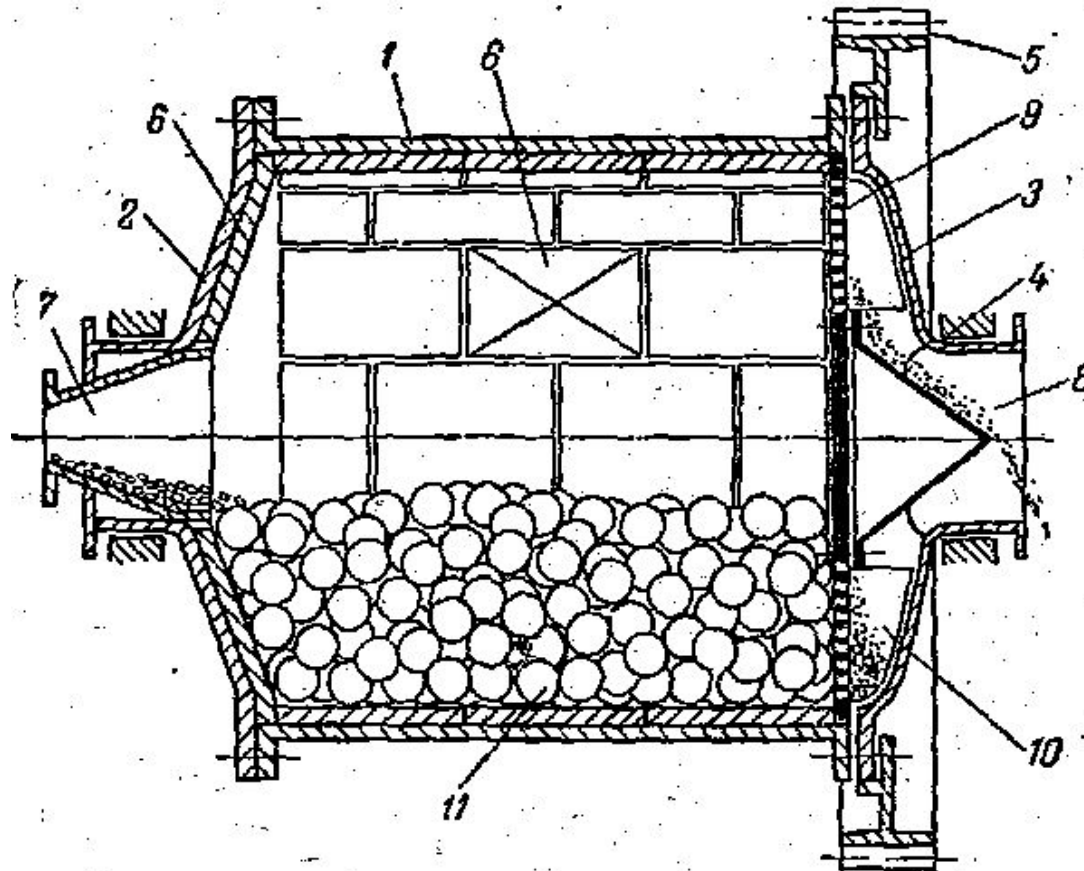


Рисунок 1 – Шаровая диафрагмовая мельница:

- 1 – корпус (барабан); 2 – 3 – торцевые крышки; 4 – подшипники;  
5 – зубчатый венец; 6 – плиты; 7 – загрузочная цапфа; 8 – разгрузочная цапфа;  
9 – диафрагма; 10 – лифтёры; 11 – шары

## Сгущение пульпы на гидроциклоне

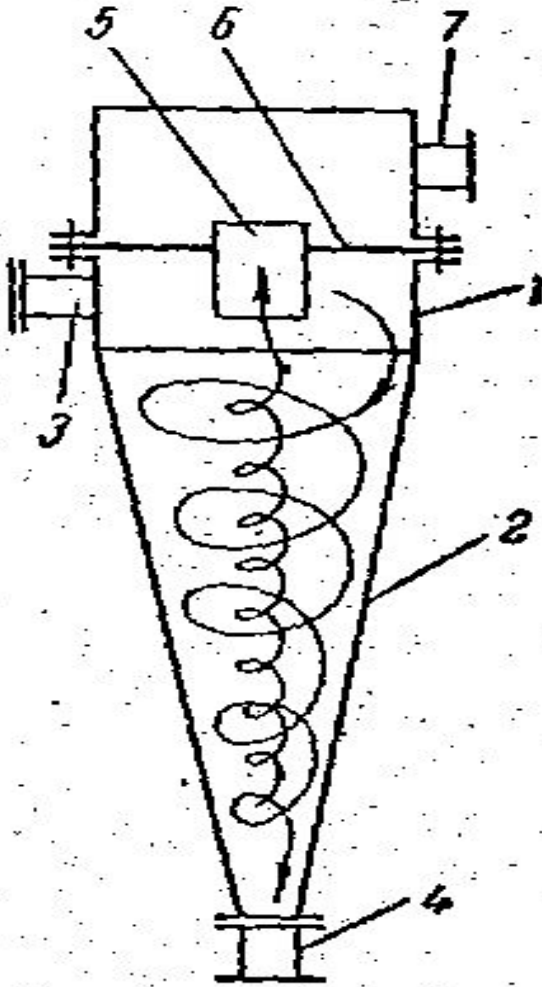


Рисунок 2 – Гидроциклон:

1 – цилиндрическая часть корпуса; 2 – коническое днище; 3 – штуцер для подачи суспензии; 4 – штуцер для вывода шлама; 5 – патрубков; 6 – перегородка; 7 – штуцер для вывода слива

# Спиральный классификатор

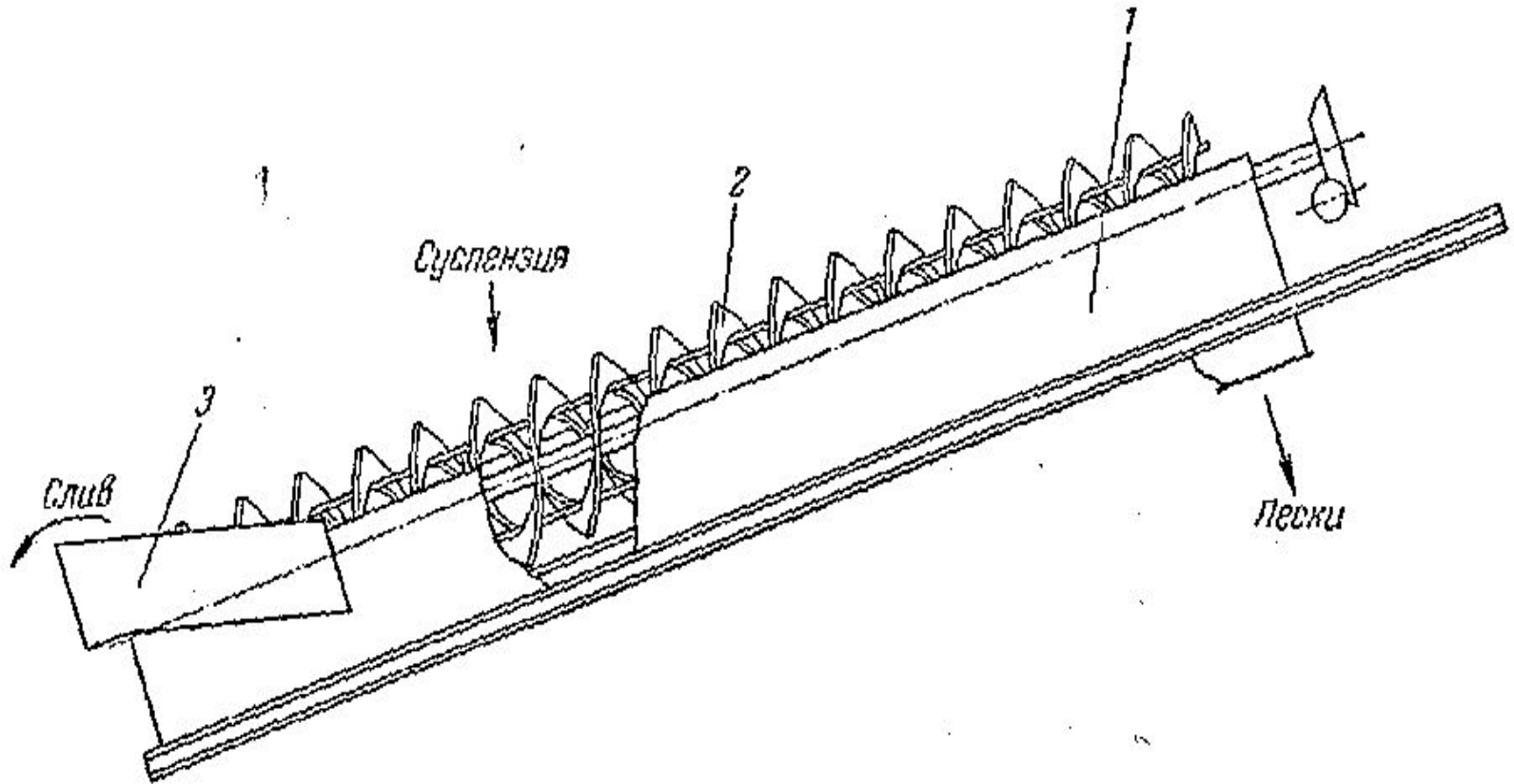


Рисунок 3 – Схема спирального классификатора:  
1 – корыто; 2 – спираль; 3 – сливной порог

## Отстойник Дорра – сгуститель пульпы

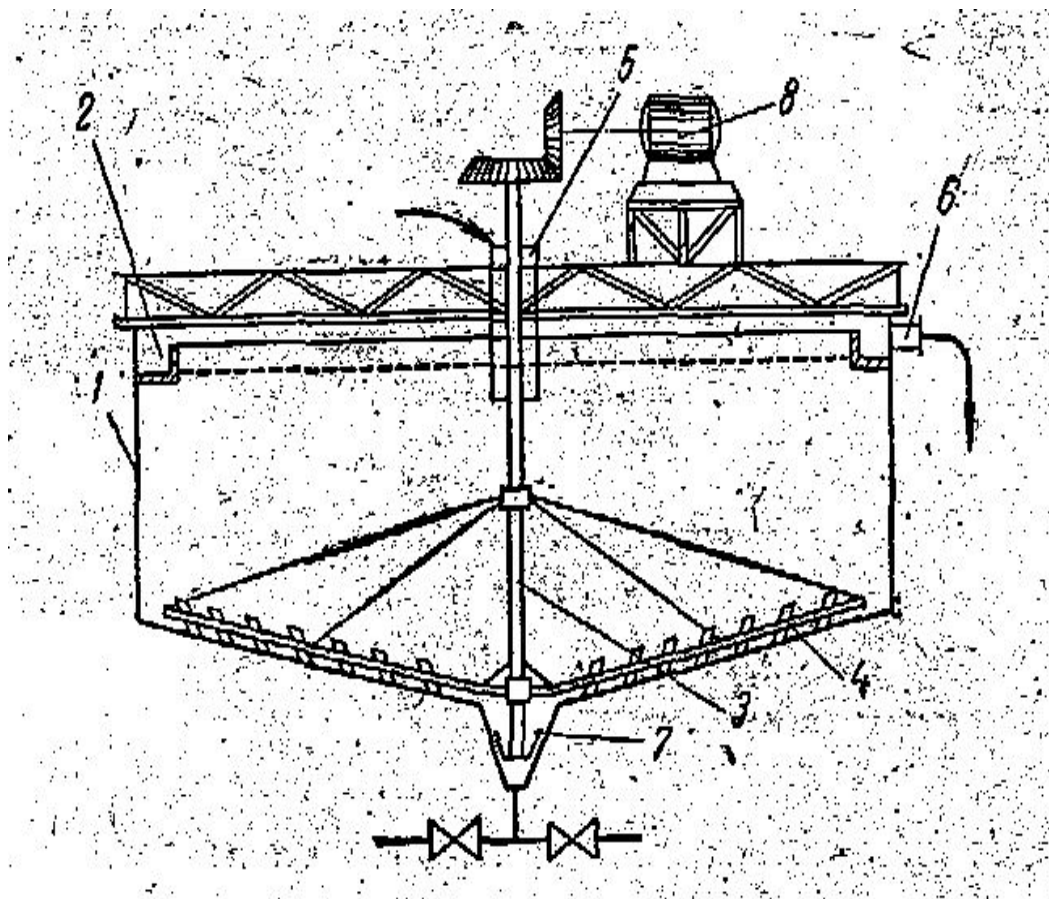


Рисунок 4 – Отстойник непрерывного действия с гребковой мешалкой:

- 1 – корпус;
- 2 – кольцевой желоб;
- 3 – мешалка;
- 4 – лопасти с гребёнками;
- 5 – труба для подачи исходной суспензии;
- 6 – штуцер для вывода осветлённой жидкости;
- 7 – разгрузочное устройство для осадка;
- 8 – электродвигатель

# Грохоты

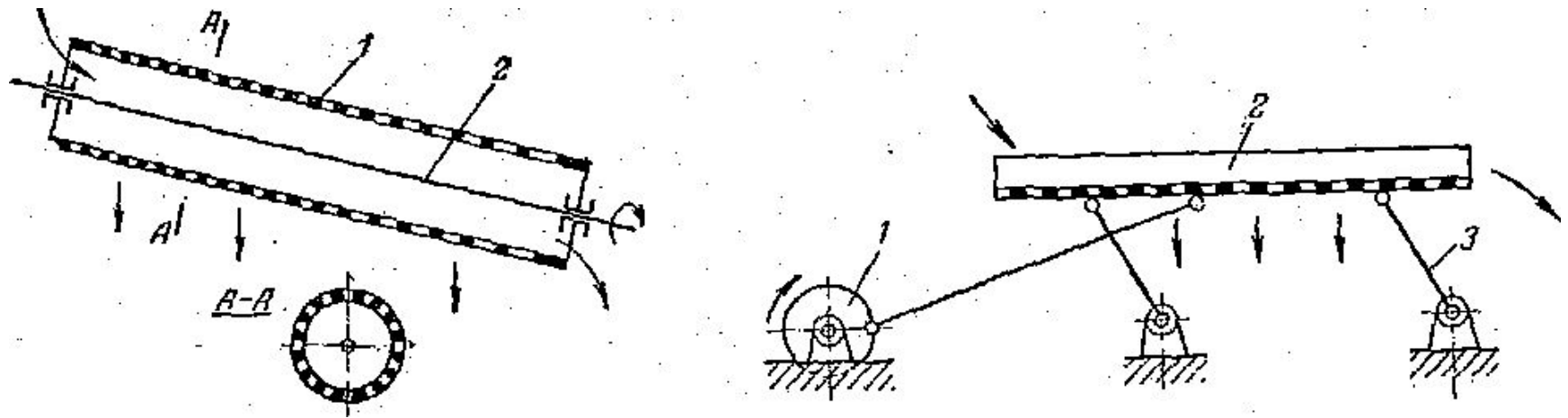


Рисунок 5 – Барабанный и качающийся грохот

1 – барабан

2 – центральный вал

1 – эксцентрик

2 – корпус

3 – опорная стойка



## Химический состав основных рудных минералов

Монацит  $(La, Ce\dots)PO_4$

50-68%  $Ln_2O_3$ , 22-31%  $P_2O_5$ , 5%  $Y_2O_3$ , 7%  $ZrO_2$ , 6%  $SiO_2$ ,  
до 35%  $ThO_2$ , 0,1-0,3% U.

Бастнезит  $(La, Ce, Pr)CO_3F$

37-40%  $Ce_2O_3$ , 36%  $(La, Nd, Pr)_2O_3$ , 20%  $CO_2$ , 2-8% F.

Лопарит  $(Na, Ca, Ce)(Ti, Nb, Ta)O_3$

39-40%  $TiO_2$ , 32-34%  $Ce_2O_3 + La_2O_3$ ,  
8-10%  $Nb_2O_5 + Ta_2O_5$ , 4-5% CaO, 7-9%  $Na_2O$ , 0,5-0,6%  $ThO_2$ .

## Способы переработки редкоземельных концентратов

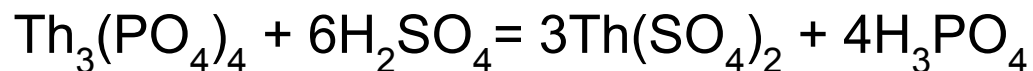
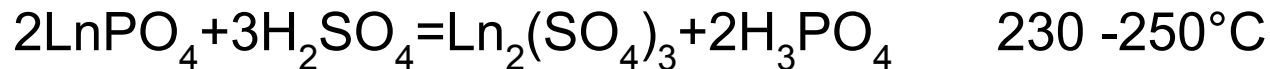
**Сернокислотный (монацит).** Основан на разложении конц-та  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и разделении ценных компонентов с использованием различия в растворимости простых и двойных сульфатов.

**Щелочной (монацит).** Основан на разложении конц-та  $\text{NaOH}$  с выделением  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  в виде товарной продукции и разделением Th и РЗЭ на ранней стадии.

**Хлорный (лопарит).** Основан на хлорировании конц-та хлором при  $800\text{-}1000^\circ\text{C}$  в присутствии древесного угля и кокса в расплаве солей хлоридов  $\text{NaCl-KCl}$  с отделением летучих хлоридов Ti, Nb, Ta. Хлориды РЗЭ остаются в расплаве и перерабатываются отдельно.

## Сернокислотный способ переработки монацита

1 Сульфатизация



2 Выщелачивание спека водой. Т:Ж=1:5

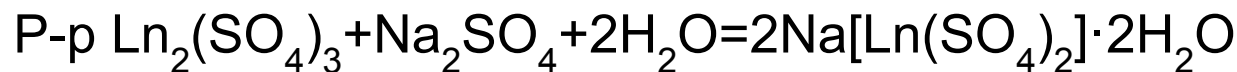
В растворе РЗЭ, Th,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$

3 Удаление мезотория

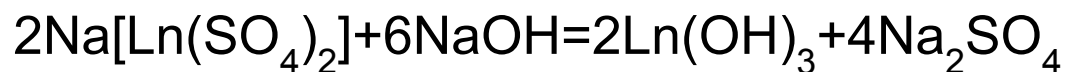


Н.О.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{ZrSiO}_4$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{FeTiO}_3$

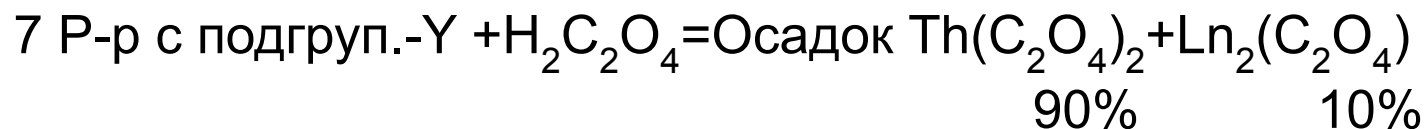
4 Выделение РЗЭ в виде двойных сульфатов легкой группы РЗЭ



5 Осадок двойных сульфатов разлагают щелочью

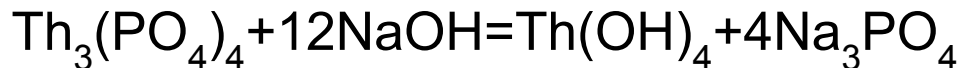
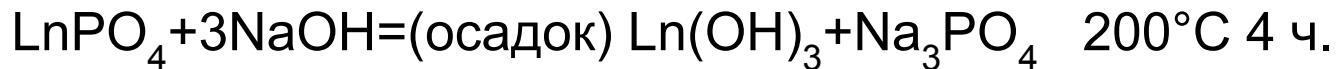


6 Прокалка гидроксидов до оксидов



## Щелочной способ переработки монацита

1 Разложение концентрата



В растворе  $(\text{PO}_4)^{3-}$

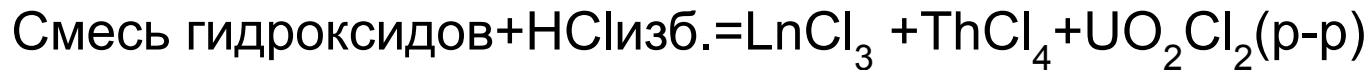
В осадке Th+PЗЭ-гидроксиды

2 Очистка PЗЭ от Th и U.

Вариант I

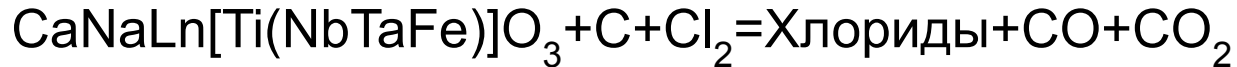


Вариант II



## Хлорный способ переработки лопарита

### 1 Хлорирование



Плав KCL-NaCl содержит хлориды Ln, Ca, Sr, Mg, Fe, Th, U.

### 2 Очистка РЗЭ от Th, U и Fe.

- растворение плава в воде (60-70°C);
- осаждение гидроксидов Th, U и Fe при pH 3,5-4,5. (РЗЭ pH 6,2-8,2);
- нейтрализация 5% NH<sub>4</sub>OH до pH 4,0-4,5 при 70-80°C;
- осаждение мезотория (<sup>228</sup>Ra) с BaSO<sub>4</sub>
- осаждение суммы карбонатов РЗЭ (на разделение);

3 Разделительная конденсация парогазовой смеси летучих хлоридов Ti, Nb, Ta, Fe, Si, а также CO<sub>2</sub>

## Разделение суммы РЗЭ экстракцией

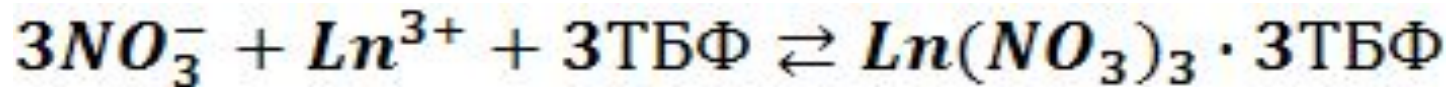
- «+»:
- получение высококачественных соединений
- большая производительность процесса

В качестве экстракторов для разделения РЗЭ чаще всего применяют смесители-отстойники ящичного типа

В большинстве известных экстракционных систем коэффициенты разделения (3 соседних РЗЭ, как правило, невелики (1,06—2,5), и для разделения необходимо применять многоступенчатые каскады. В качестве экстрагентов используют кислые алкилфосфаты (Д2ЭГФК) и нейтральные экстрагенты (100%ТБФ)

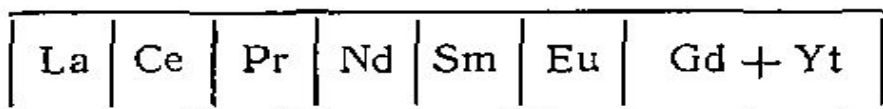
## Экстракция нейтральным экстрагентом

Образуются комплексные соединения состава:

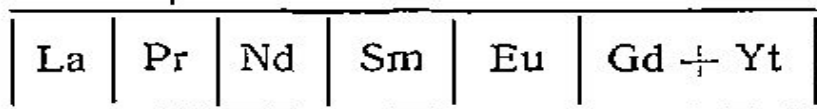
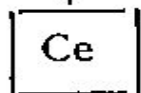


Состав комплексов зависит от рН раствора.

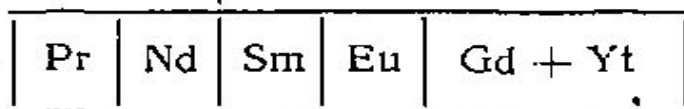
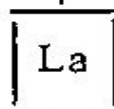
Ниже приводятся схемы экстракционного разделения редкоземельных элементов на индивидуальные.



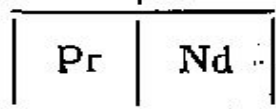
Отделение  $Ce^{4+}$



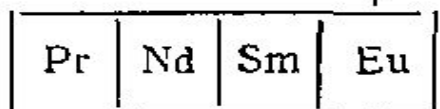
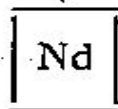
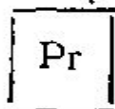
Осаждение (или экстракция)



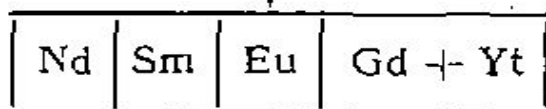
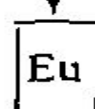
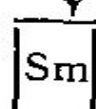
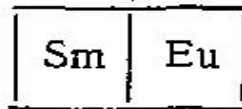
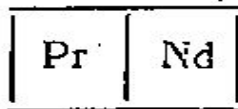
Экстракция



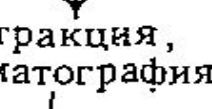
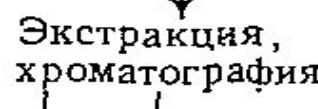
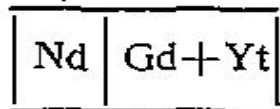
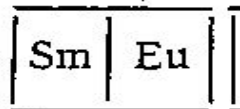
Экстракция,  
хроматография



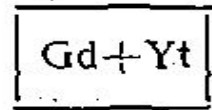
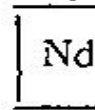
Электролиз



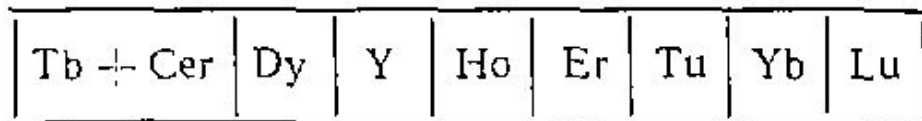
Электролиз



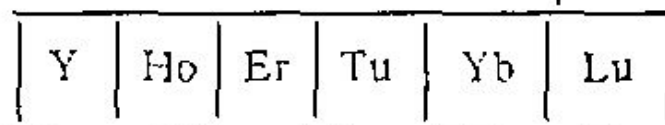
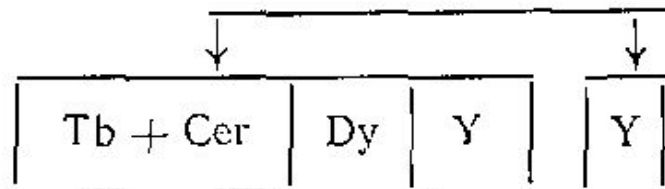
Экстракция,  
хроматография





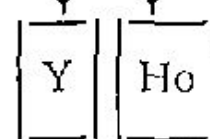
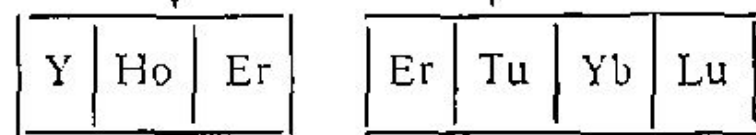
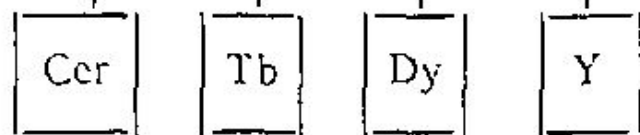


↓  
Экстракция

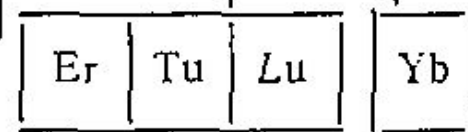


↓  
Экстракция, хроматография

↓  
Экстракция, хроматография



↓  
Электролиз



↓  
Экстракция, хроматография

