РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Кафедра ХиТМСЭ

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Термин "редкоземельные металлы" объединяет 17 химических элементов, включая лантаноиды, располагаются в таблице Менделеева под номерами с 57 по 71, а также скандий и иттрий. Все они обладают схожими химическими свойствами и широко применяются в самых различных отраслях промышленности, в том числе, для производства наиболее высокотехнологичной продукции.

РЗМ В ИСТОРИИ

- Название «редкоземельные элементы»
  - исторически сложилось в конце XVIII, когда **ошибочно** считали, что минералы, содержащие элементы **редко** встречаются в земной коре;
  - по запасам сырья редкоземельные элементы **не являются редкими**, по суммарной распространенности они превосходят свинец в 10 раз, молибден — в 50 раз, вольфрам — в 165 раз;
  - образуют тугоплавкие, практически не растворимые в воде оксиды, такие **оксиды** в начале XIX в. **назывались «землями»**.

РЗМ В ИСТОРИИ

- 1794г. – **И.Я. Гадолин** из нового минерала, названного иттербитом, выделил окись нового элемента, новую «землю», которую он назвал иттриевой;
- К 1907 году химики обнаружили **14** таких **элементов**. На основе изучения рентгеновских свойств всем элементам были присвоены атомные номера от 57 (лантан) до 71 (лютеций), кроме 61.
- редкоземельный элемент с порядковым номером 61, известный теперь как **прометий (Pm)**, - единственный лантаноид, не обнаруженный в природных минералах и рудах. Он **был получен искусственно** благодаря успехам ядерной физики в 1947 г.

РАСПРОСТРАНЁННОСТЬ РЗЭ И ИХ МИНЕРАЛЫ

Монацит (Ce, La...) PO_4

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

Бастнезит (Ce, La, Pr) CO_3F

36,9—40% Ce_2O_3 , 36,3% $(La,Nd, Pr)_2O_3$, 19,8—20,2% CO_2 , 2,2—8,5% F

Эвксенит* (Y, Er, Ce, U, PЬ,Ca) $(Nb, Ta, Ti)_2$ $(O, OH)_6$

18,3—33% Nb_2O_5 , 1,0—25,0% Ta_2O_5 , 17—26,4%TiO_2, 2,6—16,0 % UO_2 , 12,0%UO_3, 1,5 - 4,7 % ThO_2,16,3 - 28,8 %$(Y,Fr)_2O_3$,0,4—9,5% Ce_2O_3, 0,1—2,3 CaO, 1,4—4,0%H_2O

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

39,2—40% TiO_2 , 32—34% Ce_2O_3 и La_2O_3, 8-10% Nb_2O_6 + Ta_2O_5 , 4,2—5,2% CaO, 7—9% Na_2O, примеси Sr, K, Si, 0,5—0,6% Th.

Элемент	Эл-ая конфигурация			Степень окисления		
	4f	***5d***	***6s***	**II**	**III**	**IV**
Лантан ^{57}**La**$_{138,9}$		1	2		+	
Церий **Ce**	2		2		+	+
Празеодим **Pr**	3		2		+	+
Неодим **Nd**	4		2		+	
Прометий **Pm**	5		2		+	
Самарий **Sm**	6		2	+	+	
Европий **Eu**	7		2	+	+	
Гадолиний **Gd**	7	1	2		+	
Тербий **Tb**	9		2		+	+
Диспрозий **Dy**	10		2		+	
Гольмий **Ho**	11		2		+	
Эрбий **Er**	12		2		+	
Тулий **Tm**	13		2		+	
Иттербий **Yb**	14		2	+	+	
Лютеций ^{71}**Lu**$_{174,9}$	14	1	2		+	

ФИЗИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ

Название металла	Плотность, г/см³	Температура, °C		Твёрдость, *кг/мм³*	Структура при 298 K
		Плавления	Кипения		
Лантан	6,162	920	4315	40	гексагональная
Церий	6,768	804	3600	25	гранецентрированная
Празеодим	6,769	935	3450	40	гексагональная
Неодим	7,007	1024	3300	35	гексагональная
Самарий	7,540	1052	1900	45	ромбоэдрическая
Европий	5,166	908	1700	20	объемоцентрированная кубическая решётка
Гадолиний	7,868	1312	3000	55	гексагональная плотнейшей упаковки
Тербий	8,272	1356	2800	60	гексагональная плотнейшей упаковки

Название металла	Плотность, г/см³	Температура, °C		Твёрдость, *кг/мм³*	Структура при 298 K
		Плавления	Кипения		
Диспрозий	8,536	1407	2600	55	гексагональная плотнейшей упаковки
Гольмий	8,803	1461	2600	60	гексагональная плотнейшей упаковки
Эрбий	9,051	1497	2900	70	гексагональная плотнейшей упаковки
Тулий	9,332	1545	1727	65	гексагональная плотнейшей упаковки
Иттербий	6,977	824	1427	25	гранецентрированная
					гексагональная

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Оксиды**
- Высшие оксиды

CeO_2 $\quad Ce(OH)_3 + O_2 \xrightarrow{t} CeO_2 + H_2O$ (800 – 1200 °C)

Pr_6O_{11} | $\quad Pr_2(CO_3)_2 \xrightarrow{t} Pr_6O_{11}$

Tb_4O_7 $\quad Tb_2(C_2O_4)_3 \xrightarrow{t} Tb_4O_7$

- Полуторные

Ce_2O_3 $\quad CeO_2 + H_2 \xrightarrow{t=600°C} Ce_2O_3 + H_2O \uparrow$

Pr_2O_3 | $Pr_6O_{11} + H_2 \xrightarrow{t=600°C} Pr_2O_3 + H_2O \uparrow$

Tb_2O_3 $\quad Tb_4O_7 + H_2 \xrightarrow{t=600°C} Tb_2O_3 + H_2O \uparrow$

- Низшие:

SmO $\quad Sm_2O_3 + Sm(C) \xrightarrow[\text{вакуум}]{1100-1800°C} SmO$

EuO | $Eu_2O_3 + C \xrightarrow[\text{вакуум}]{1300-1400°C} EuO + CO$

YbO $\quad Yb_2O_3 + C \xrightarrow[\text{вакуум}]{1300-1400°C} YbO + CO$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Гидроксиды**

$$Ln(NO_3)_2 + 3NH_4OH \rightarrow Ln(OH)_3 \downarrow + 3NH_4NO_3,$$

$$Ce(NO_3)_4 + NH_4OH \rightarrow Ce(OH)_4 \downarrow + 4NH_4NO_3 \quad (pH = 0,7 \ldots 1,0)$$

Металлические свойства РЗЭ возрастают в следующем порядке Lu, Yb, Tu, Er, Ho, Dy, Tb, Sm, Gd, Eu, Y, Nd, Pr, Ce, La.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Сульфаты**

$$Ln_2O_3 + 6H_2SO_4 \rightarrow 2Ln(HSO_4)_3 + 3H_2O$$

$$2Ln(HSO_4)_3 \rightarrow Ln_2(SO_4)_3 + 3S0_3 + 3H_2O$$

Сульфаты иттрия, лантана и лантаноидов с сульфатами щелочных металлов и аммония образуют двойные соединения типа $Ln_2(SO_4)_3 \cdot Me_2SO_4 \cdot nH_2O$.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Тиосульфаты**

В воде, подкисленной соляной кислотой, разлагаются:

$$Ln_2(S_2O_3)_3 = Ln_2(SO_3)_3 + 3S$$

Двойные тиосульфаты состава $Ka_3[Ln(S_2O_3)_3]$, $Na_5[Ln(S_2O_3)_4]$ и $(NH_4)_3[Ln(S_2O_3)_3]$ образуются взаимодействием тиосульфатов цериевой подгруппы рзэ с тиосульфатами калия, натрия и аммония. рзэ иттриевой подгруппы двойных тиосульфатов не образуют.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Селенаты**

Селенаты иттрия и лантаноидов и цериселенат $Ln_2(SeO_4)_3 \cdot nH_2O$; $Y_2(SeO_4)_3 \cdot nH_2O$; $Ce(SeO_4)_2$

$$Ln_2O_3 + 3H_2SeO_4 \rightarrow Ln_2(SeO_4)_3 + 3H_2O$$

Селенаты редкоземельных элементов с селенатами щелочных металлов и аммония образуют двойные соединения $Me[Ln(SeO_4)_2] \cdot nH_2O$.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Селениты**

  $Ln_2(SeO_3)_3 \cdot nH_2O$ получают, действуя на растворы солей рзэ селенитом натрия или селенистой кислотой. Мало растворимы в воде и минеральных кислотах. Цериселенит $Ce(SeO_3)_2$ получают кипячением раствора нитрата церия с селенистой и азотной кислотами. Не растворяется в воде. Растворяется в минеральных кислотах в присутствии H_2O_2.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Нитраты**

$$Ln_2O_3 + 6N_2O_4 \rightarrow 2Ln(NO_3)_3 + 3N_2O_3.$$

$$Ln_2O_3 + 6HNO_3 \rightarrow 2Ln(NO_3)_3 + 3H_20,$$

$$Ln_2(CO_3)_3 + 6HNO_3 \rightarrow 2Ln(NO_3)_3 + 3CO_2 + 3H_2O.$$

Основные нитраты примерного состава

$$Ln[Ln(NO_3)(OH)_5]\cdot nH_2O,\ 3Y_2O_3\cdot 4N_2O_5\cdot 20H_2O$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Нитриты**

$Ln(NO_2)_3$ образуются в виде кристаллических осадков при прибавлении к нитрату или хлориду рзэ нитрита натрия или бария. Нитриты рзэ способны образовывать с нитритами щелочных и других металлов двойные нитриты состава $Me_3Ln(NO_2)_6 \cdot H_2O$ и тройные нитриты $Me_2MeLn(NO_2)_6$, имеющие ценные свойства, которые могут быть использованы как для аналитических, так и для технологических целей при разделении рзэ на подгруппы.

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Ортофосфаты**

$$Ce_3(PO_4)_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{110^\circ} Ce_3(PO_4)_4 \cdot 11H_2O \xrightarrow{200^\circ} Ce_3(PO_4)_4 \cdot 5H_2O \xrightarrow{500^\circ} Ce_3(PO_4)_4$$

$$2Ce_3(PO_4)_4 + 3H_2O_2 \rightarrow 6CePO_4 + 2H_3PO_4 + 3O_2$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Пирофосфаты**

$$Ln_4(P_2O_7)_3 \cdot nH_2O$$

Церипирофосфат

$$CeP_2O_7 \cdot 12H_2O$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Карбонаты**

$$Ln_2(CO_3)_3 + 2H_2O \rightarrow 2Ln(OH)CO_3 + H_2CO_3.$$

$$La_2O_3 \cdot 3CO_2 \xrightarrow{500^\circ} La_2O_3 \cdot CO_2 \xrightarrow{905^\circ} La_2O_3$$

$$Ce_2O_3 \cdot 3CO_2 \xrightarrow{300^\circ} Ce_2O_4 \cdot 2CO_2 \xrightarrow{380^\circ} Ce_2O_4 \cdot CO_2 \xrightarrow{480^\circ} [Ce_2O_4 \cdot CO_2]Ce_2O_4$$

$$\xrightarrow{900^\circ} CeO_2$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Оксалаты**

$$Ln_2(SO_4)_3 + 3H_2C_2O_4 = Ln_2(C_2O_4)_3 + 3H_2SO_4.$$

Редкоземельные элементы с оксалатами щелочных металлов и аммония образуют двойные соединения вида:

$$Me[Ln(C_2O_4)_2]$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Фториды**

$$Ln_2O_3 + 6HF = 2LnF_3 + 3H_2O$$

$$Ln_2O_3 + 6NH_4HF_2 = 2LnF_3 + 3H_2O + 6NH_4F$$

$$LnF_3 + H_2O = LnOF + 2HF$$

$$LnF_3 + Ln_2O_3 = 3LnOF$$

двойные фториды типа

Me_3LnF_6 (где Me — Na, K, NH_4).

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Гидриды**

Максимальное содержание водорода в гидридах соответствует формуле LnH_3.

$$LnH_3 + 3HC1 = LnCl_3 + 3H_2,$$

$$LnH_3 + 3H_2O = Ln(OH)_3 + 3H_2.$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Комплексные соединения**

1. ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота $C_{14}H_{16}O_8N_2$:

$$\begin{array}{lcr} HOOCH_2C\backslash & & /CH_2COOH \\ & N-CH_2-CH_2-N & \\ HOOCH_2C/ & & \backslash CH_2COOH \end{array}$$

$$H_4Y + Ln^{3+} \rightleftarrows LnHY + 3H^+ \text{ (очень прочный комплекс)}$$

2. Кислые алкилфосфаты:

$$\begin{array}{l} RO\backslash \\ RO-P=O \\ HO/ \end{array} + Ln^{3+} \rightleftarrows Ln\begin{array}{l} RO\backslash \\ (RO-P=O) \\ -O/ \end{array} + 3H^+$$

СОЕДИНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

- **Комплексные соединения**

3. Нейтральные экстрагенты:

$$3NO_3^- + Ln^{3+} + 3\text{ТБФ} \rightleftarrows Ln(NO_3)_3 \cdot 3\text{ТБФ}$$

Состав комплексов зависит от pH раствора и изменяется с его повышением:

$$[HLn\text{ЭДТА}]^\circ \xrightarrow{OH^-} [Ln\text{ЭДТА}]^- \xrightarrow{OH^-} [Ln\text{ЭДТА}]^{2-}$$

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

- **крупное дробление**:
  $d_{исх}$ = 300 – 1500 мм
  $d_{кон}$ = 100 – 300 мм
- **среднее**:
  100 – 300
  10 – 50
- **мелкое:**
  10 – 50
  2 – 10
- **тонкое:**
  2 – 10
  0,3 – 0,07

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

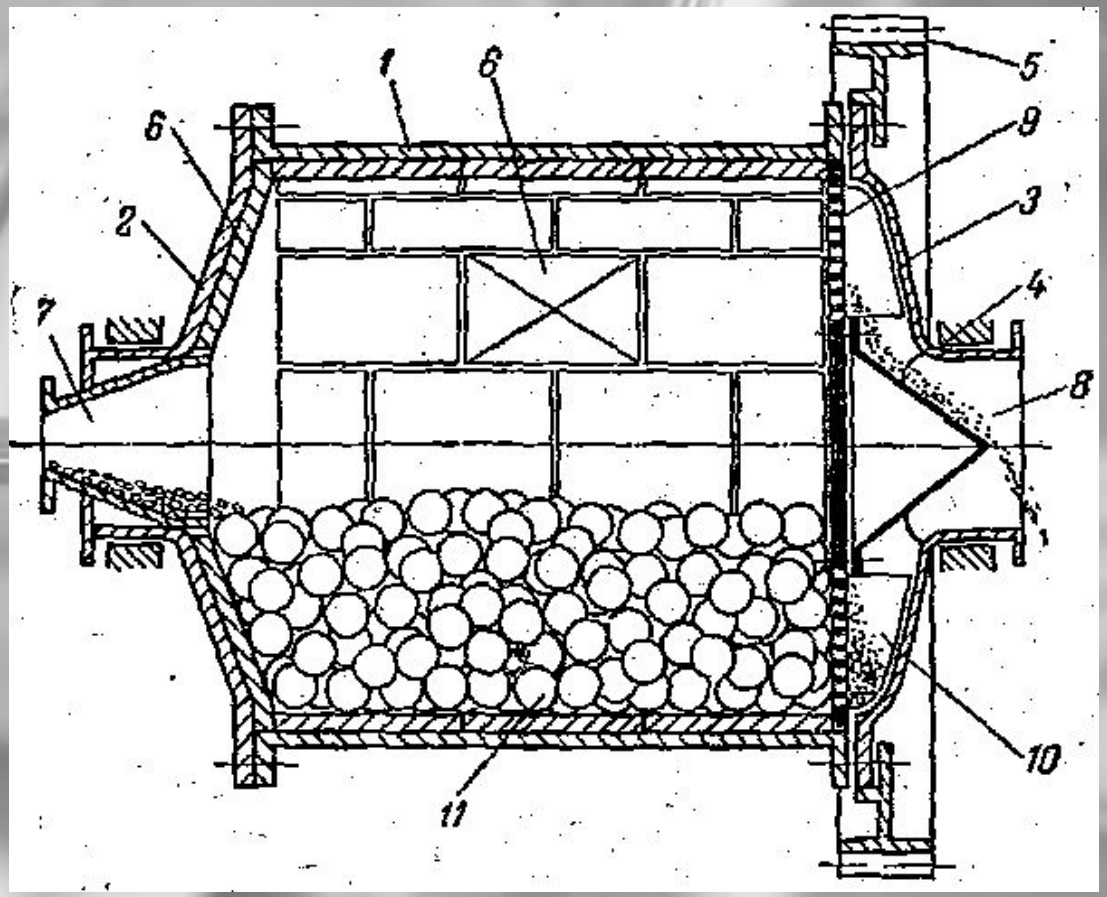


Рисунок 1 – Шаровая диафрагмовая мельница:
1 – корпус (барабан); 2 – 3 – торцевые крышки; 4 – подшипники;
5 – зубчатый венец; 6 – плиты; 7 – загрузочная цапфа; 8 – разгрузочная цапфа;
9 – диафрагма; 10 – лифтёры; 11 – шары

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

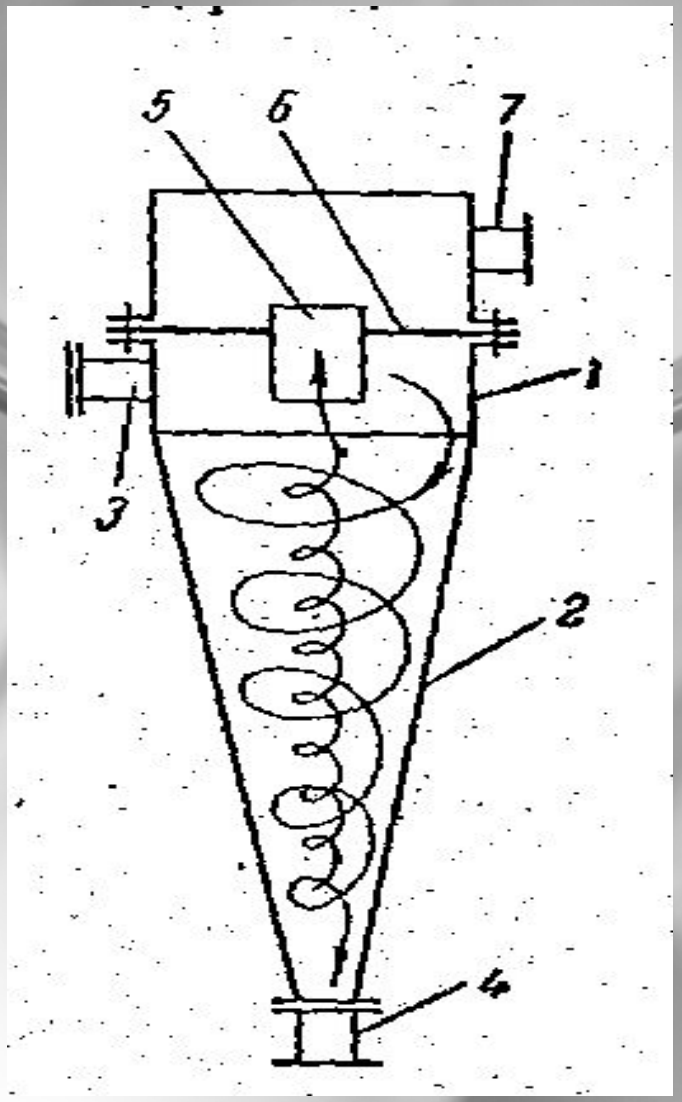


Рисунок 2 – Гидроциклон:

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

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

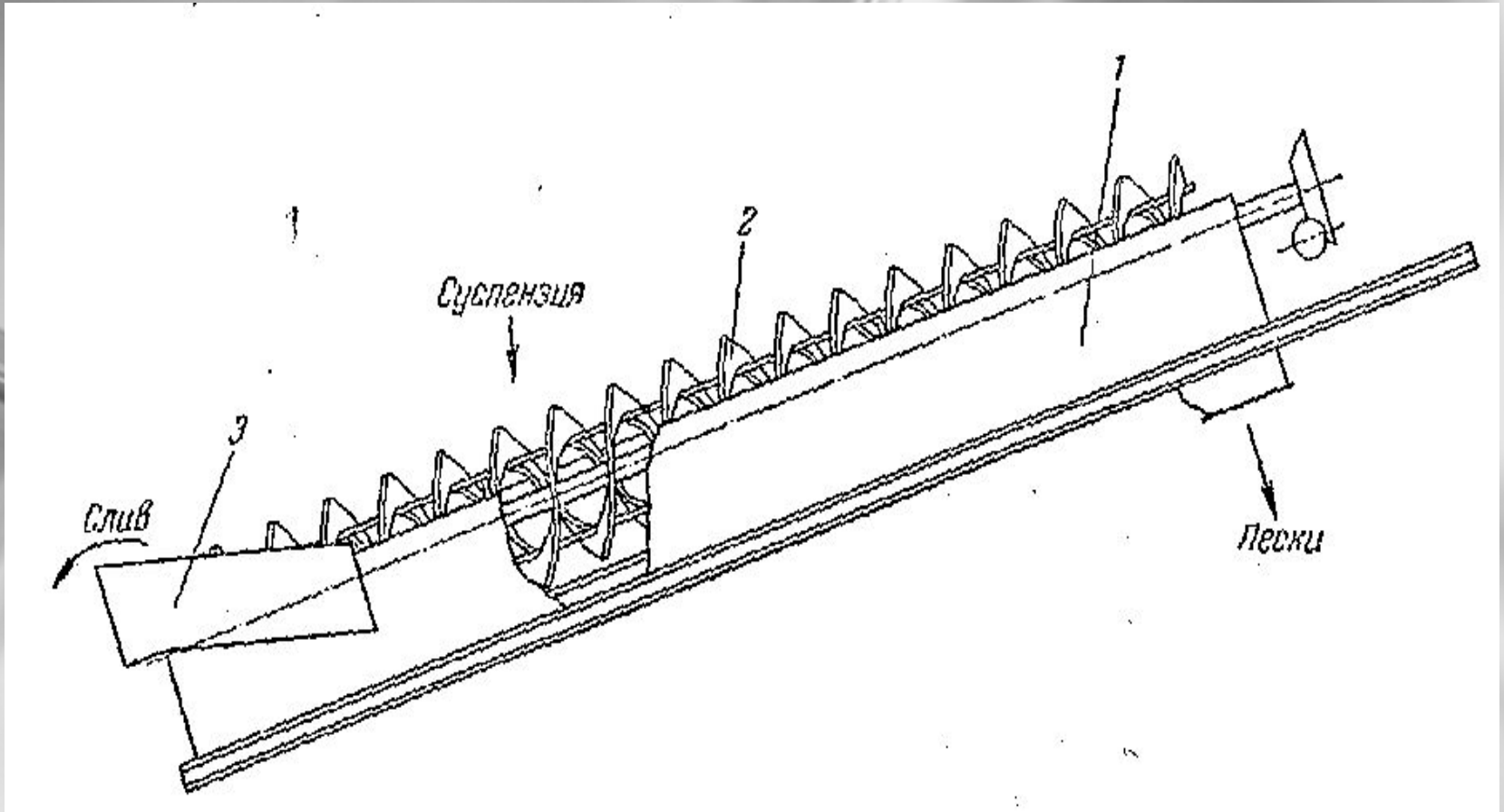


Рисунок 3 – Схема спирального классификаторы:

1 – корыто; 2 – спираль; 3 – сливной порог

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

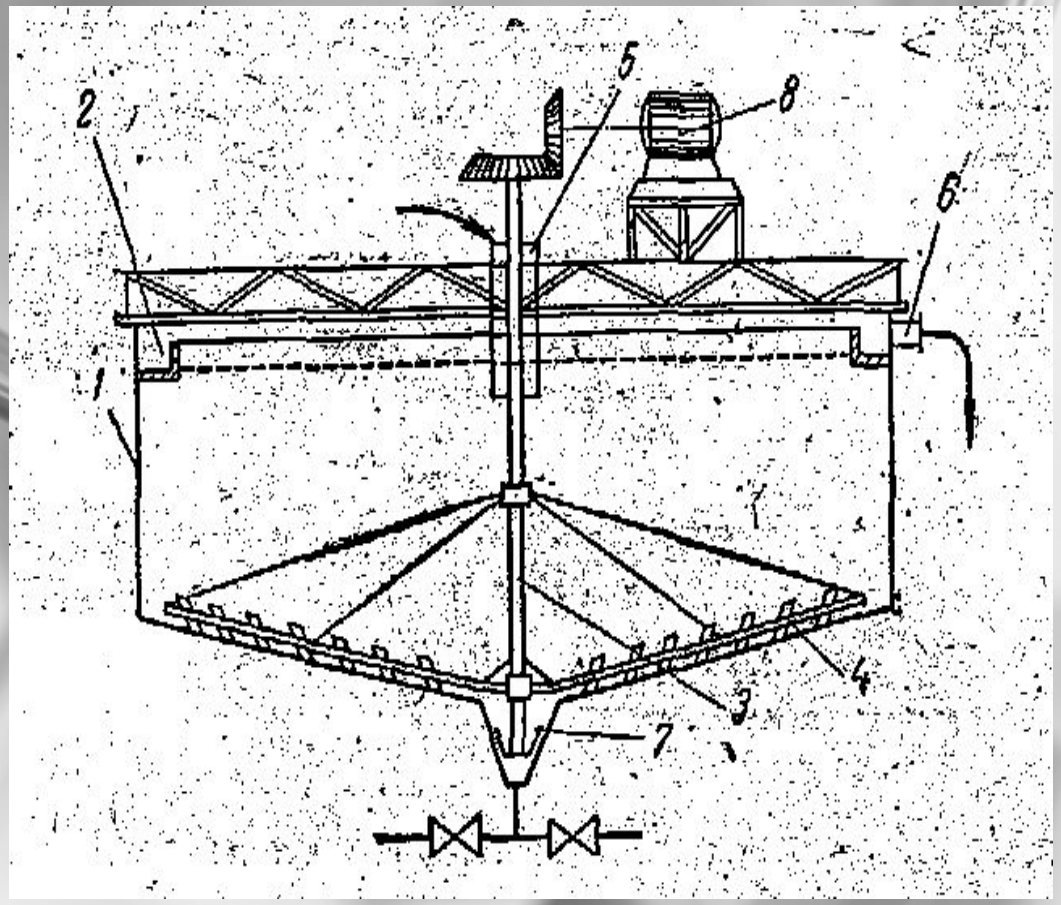


Рисунок 4 – Отстойник непрерывного действия с гребковой мешалкой:
1 – корпус; 2 – кольцевой желоб; 3 – мешалка; 4 – лопасти с гребёнками; 5 – труба для подачи исходной суспензии; 6 – штуцер для вывода осветлённой жидкости; 7 – разгрузочное устройство для осадка; 8 - электродвигатель

ОБОГАЩЕНИЕ РУДЫ

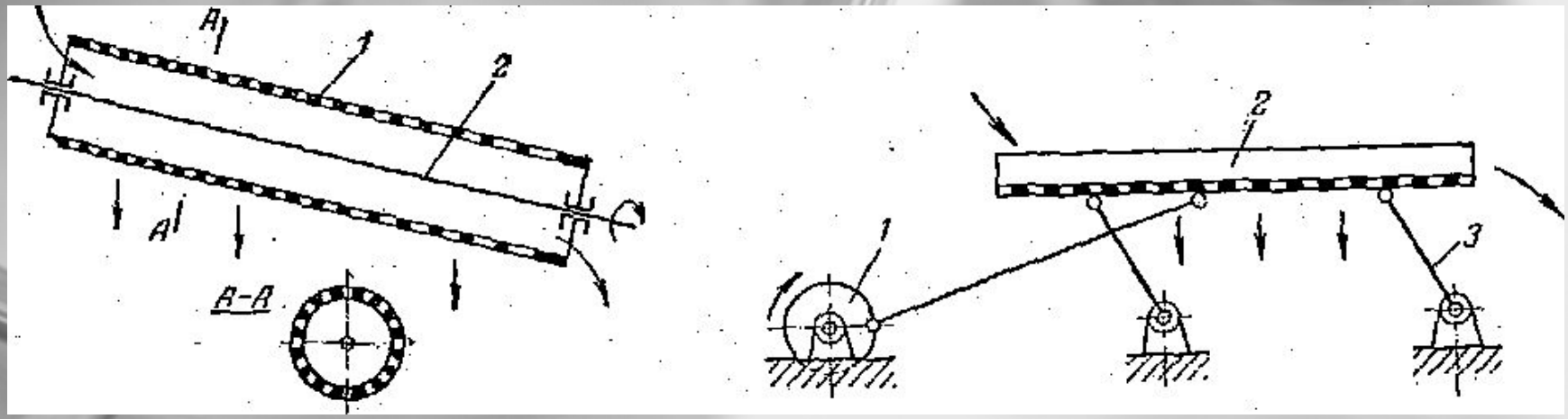


Рисунок 5 – Барабанный и качающийся грохот

1 – барабан
2 – центральный вал

1 – эксцентрик
2 – корпус
3 – опорная стойка

МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ РЗЭ

Для разделения рзэ применимы следующие методы:

1) дробная кристаллизация и дробное осаждение;

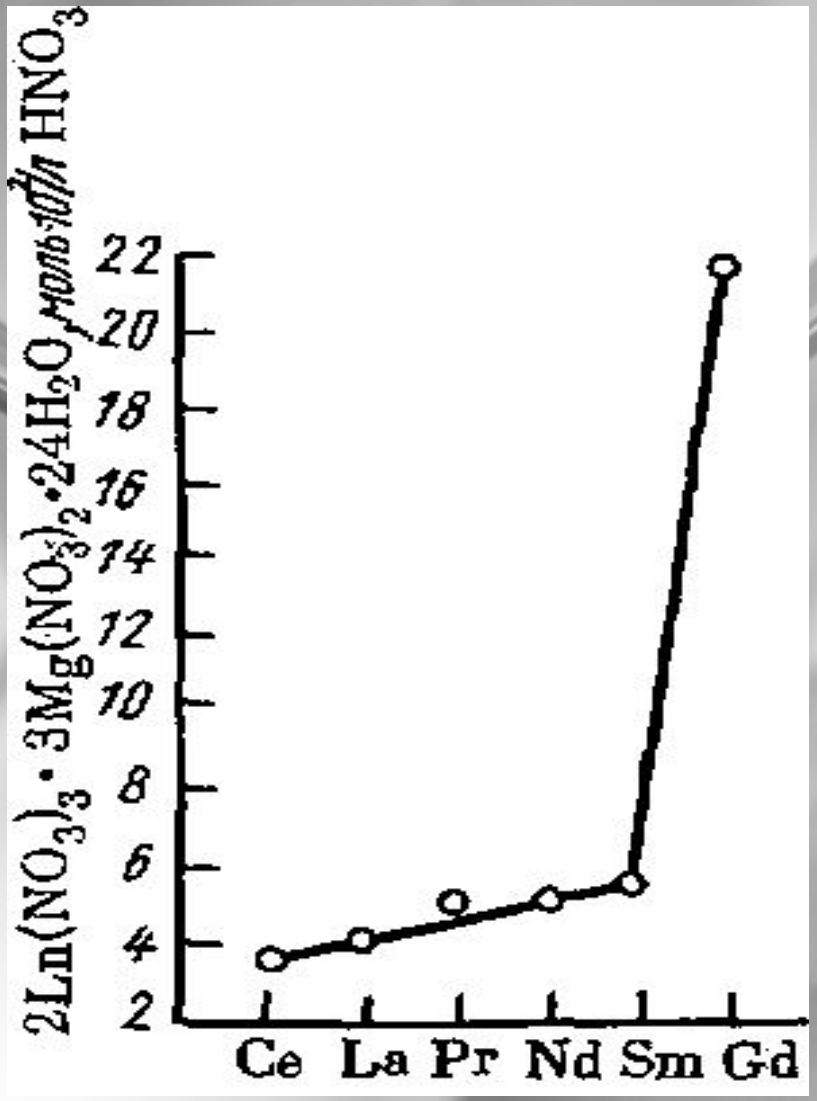
2) избирательное окисление — восстановление;

3) термическое разложение солей;

4) ионный обмен;

5) экстракция

ДРОБНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ И ДРОБНОЕ ОСАЖДЕНИЕ



Этим методом получали богатые концентраты отдельных элементов, используя уменьшение растворимости соединений в ряду от La к Lu.

Рисунок 8 – Растворимость некоторых двойных нитратов рзэ и Mg при 16° в HNO_3

ОСАЖДЕНИЕ ОКСАЛАТОВ

- pH выделения оксалатов некоторых РЗЭ в присутствии трилона А:

La— 6,0, Pr —5,5, Nd —5,5, Sm — 5,0, Gd — 4,5, Er — 4,0.

- $2Ln(NO_3)_3 + 3(NH_4)_2C_2O_4 = Ln_2(C_2O_4)_{3\downarrow} + 6NH_4NO_3$.

ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ОКИСЛЕНИЕ — ВОССТАНОВЛЕНИЕ

- Электродные потенциалы РЗЭ с изменением степени окисления следующие:

$Ce^{3+} \rightarrow Ce^{4+}$ 1,74; $Pr^{3+} \rightarrow Pr^{4+}$ 2,86; $Sm^{2+} \rightarrow Sm^{3+}$ -2,0; $Eu^{2+} \rightarrow Eu^{3+}$ -0,47; $Yb^{2+} \rightarrow Yb^{3+}$ -1,15

ИОННЫЙ ОБМЕН

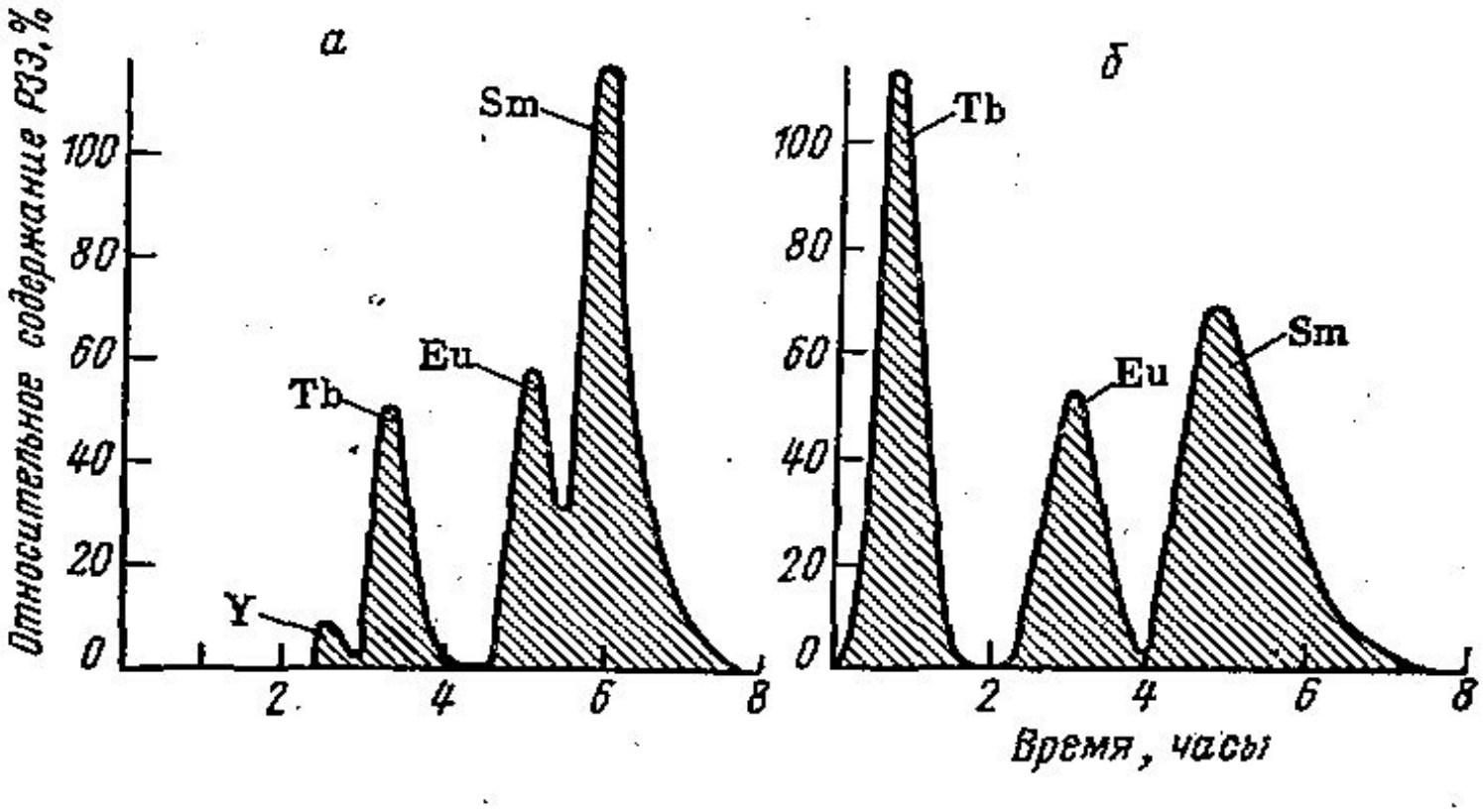


Рис. 30. Кривые вымывания РЗЭ:

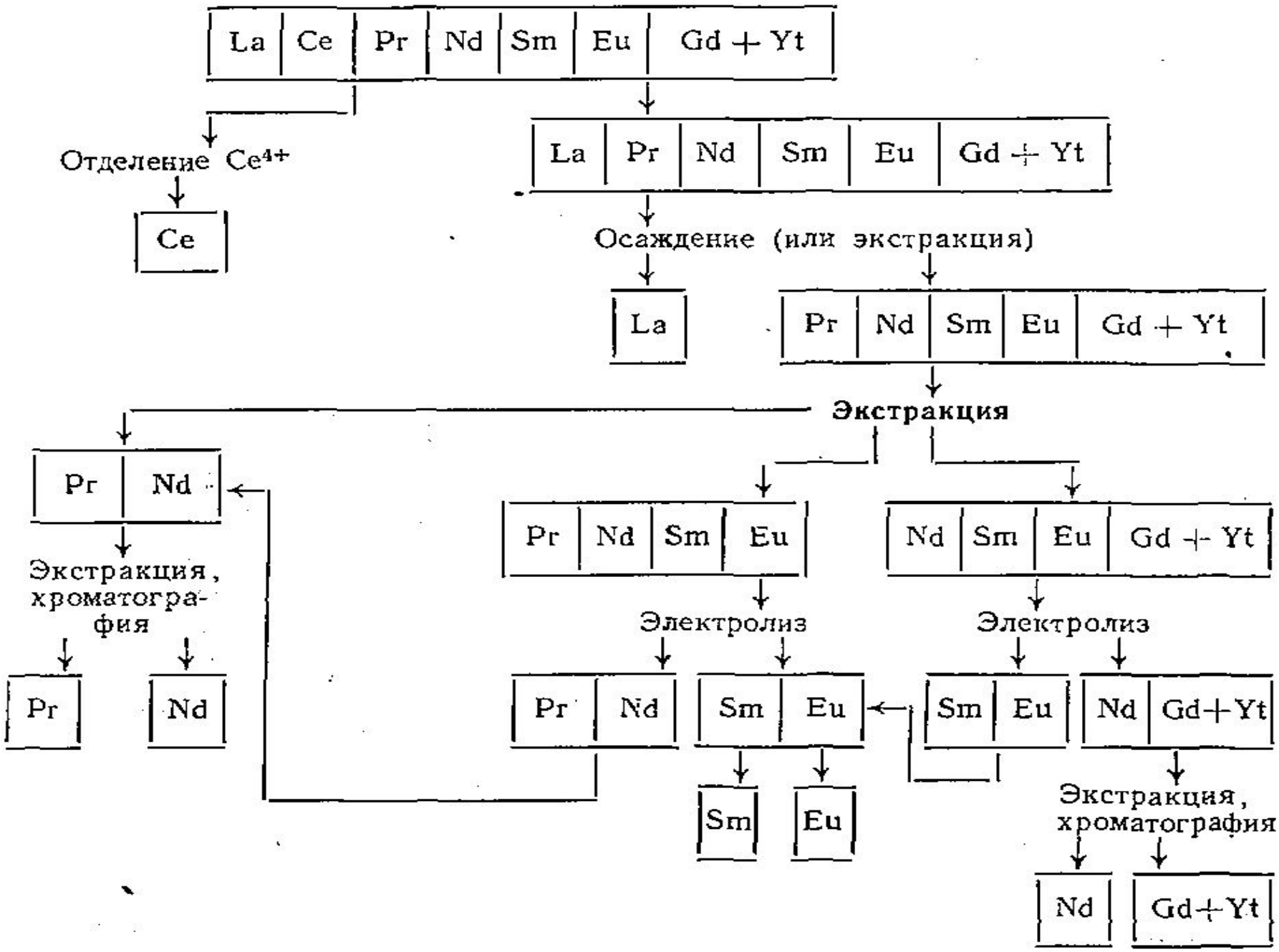
Рисунок 9 – Кривые вымывания РЗЭ:
a – 0, 5 М раствором лимонной кислоты (pH 3,04); b – раствором ЭДТА (pH 3,62)

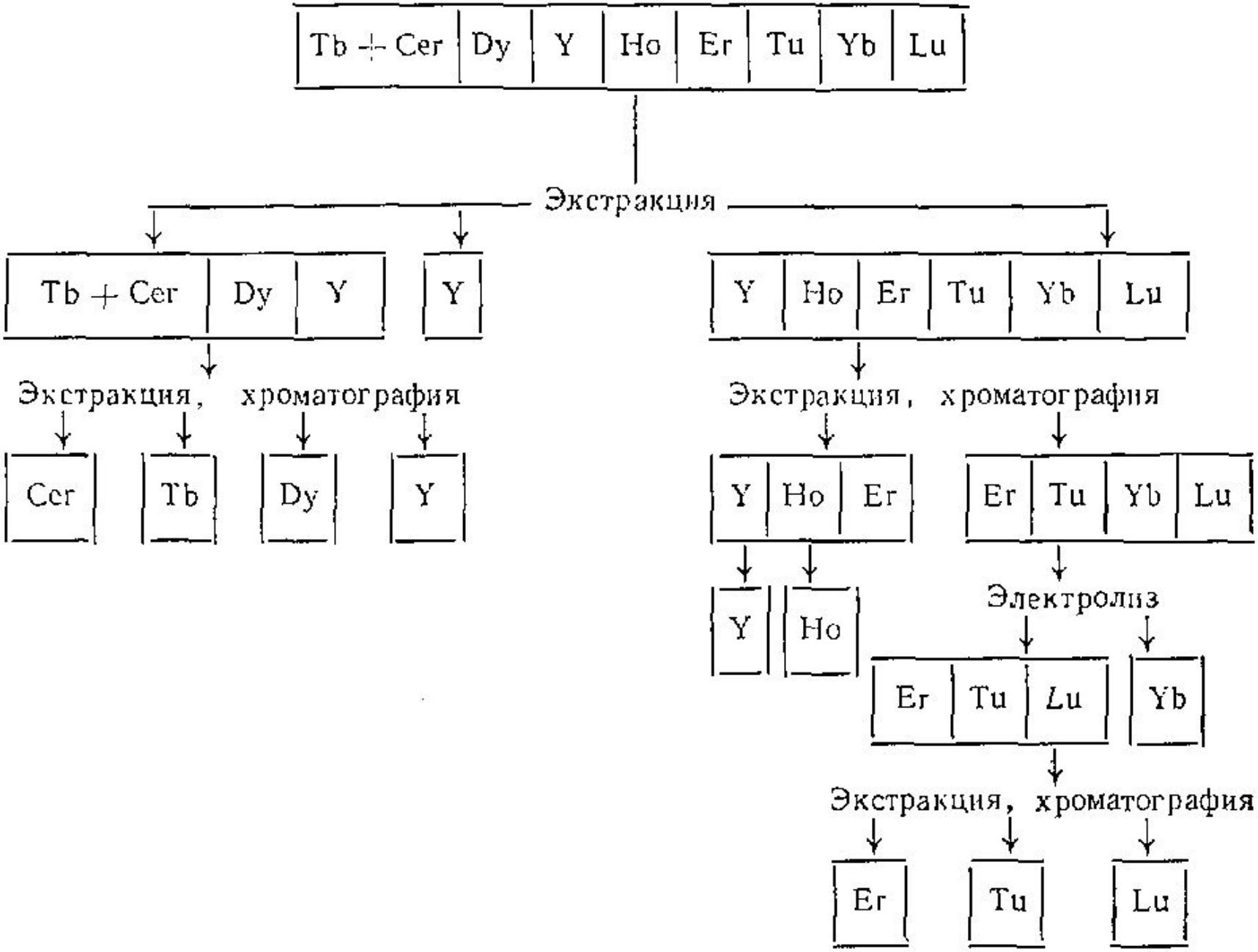
ЭКСТРАКЦИЯ

- «+»:
- 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.


La Ce Pr Nd Sm Eu Gd + Yt
Отделение Ce^{4+}
Ce
La Pr Nd Sm Eu Gd + Yt
Осаждение (или экстракция)
La
Pr Nd Sm Eu Gd + Yt
Экстракция
Pr Nd
Экстракция, хроматография
Pr
Nd
Pr Nd Sm Eu
Электролиз
Pr Nd
Sm Eu
Sm
Eu
Nd Sm Eu Gd + Yt
Электролиз
Sm Eu
Nd Gd+Yt
Экстракция, хроматография
Nd
Gd+Yt


Tb + Cer
Dy
Y
Ho
Er
Tu
Yb
Lu
Экстракция
Tb + Cer
Dy
Y
Y
Y
Ho
Er
Tu
Yb
Lu
Экстракция, хроматография
Экстракция, хроматография
Cer
Tb
Dy
Y
Y
Ho
Er
Er
Tu
Yb
Lu
Y
Ho
Электролиз
Er
Tu
Lu
Yb
Экстракция, хроматография
Er
Tu
Lu

ПОЛУЧЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ

- $Ln_2O_3 + 6NH_4Cl = 2LnCl_3 + 3H_20 + 6NH_3$.
- $Ln_2O_3 + 6HF = 2LnF_3 + 3H_2O$.
- $Ln_2O_3 + 6NH_4HF_2 = 2LnF_3 + 6NH_4F + 3H_2O$.

МЕТАЛОТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ

- **I группа:** La, Ce, Pr, Nd, мишметалл с $t_{плав.}$ ~ 1100ºС.

  У хлоридов повышенная температура кипения и температура плавления и для них более подходящим является электролиз.
- **II группа:** Sm, Eu, Yb, Tm – низкие температуры плавления имеют и образовывают устойчивые двухвалентные соединения. Для них используют методы лантантермические и карботермический метод восстановления из оксидов.
- **III группа:** тяжелые РЗМ кроме Yb, Tm. Высокие температуры плавления (~1400 ºС), голоидные соединения плавятся и кипят при низких температурах, поэтому получают металлы различными методами металлотермии.

КАРБОТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ

- $Ln_2O_3 + C_{тв.} = 2LnO + CO\uparrow$
- $Ln_2O + 3C = 2Ln\uparrow_{газ} + 3CO\uparrow$ (недостаток)
- $Ln_2O_3 + 7C \quad 2LnC_{2\ тв} + 3CO\uparrow$ (избыток)
- $LnC_2\ Ln_{газ} + 2C$

АЛЮМОТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ

- Термодинамика:

$$Ln_2O_3 + Al = 2Ln + Al_2O_3 + G,$$

если в шихту ввести Si :

$$Ln_2O_3 + 2Al + 4Si = 2LnSi_2 + Al_2O_3 - G.$$

ПОЛУЧЕНИЕ РЗМ ЛИТИЙ ТЕРМИЧЕСКИМ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ИЗ ХЛОРИДА

$$LnCl3 + Li \xleftrightarrow{1400^{\circ}C(\text{губка,тв.})} Ln + 3\,LiCl.$$

Выход металла в слиток при использовании Na и K на 10% ниже чем Li.

ЛАНТАН ТЕРМИЧЕСКИЙ СПОСОБ

- Sm, Eu, Yb $+2La \rightarrow 2Eu\uparrow + Ln_2O_3$ при температуре 1400°C
- $t_{плав.}$ La - 920ºC; Eu - 822ºC
- $t_{.кип.}$ La - 3469ºC; Eu - 1597ºC

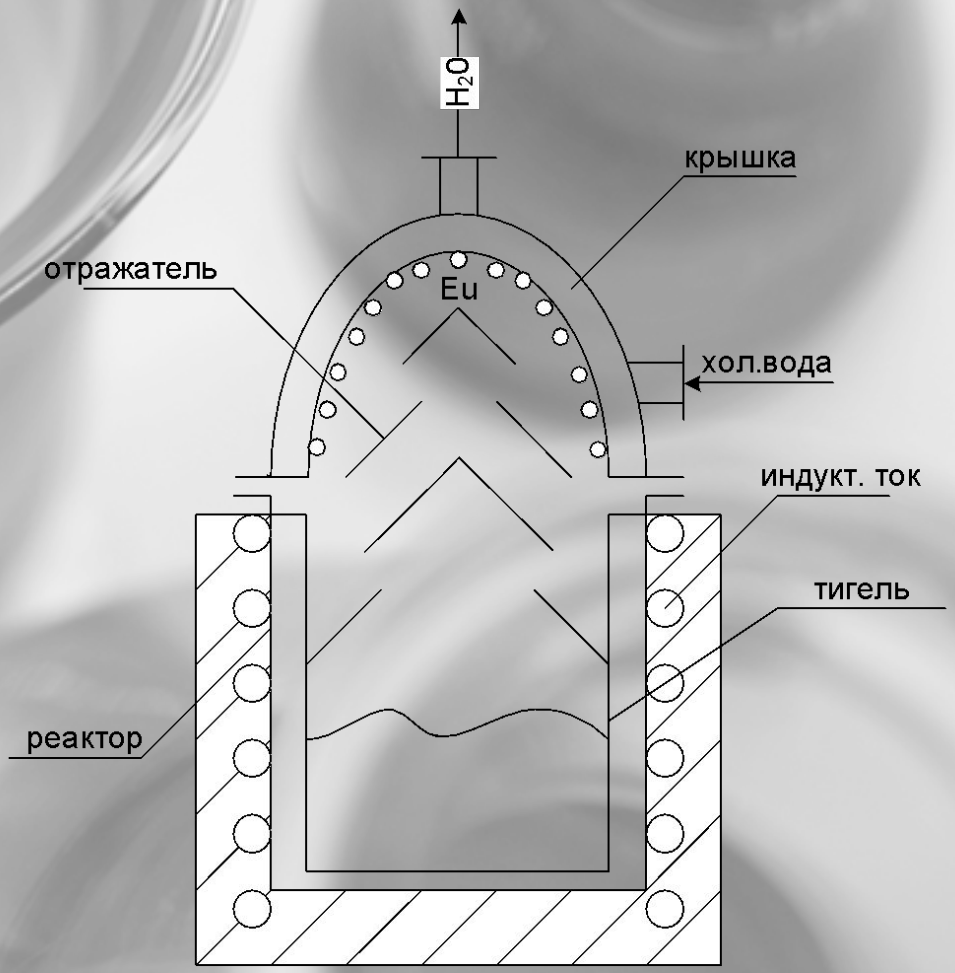


Рисунок 10 – Индукционная печь

КАЛЬЦИЙТЕРМИЧЕЙСКИЙ СПОСОБ

- $2LnF_{3\ тв.} + 3Ca_{тв.} = 2Ln_{ж} + 3CaF_{2\ ж} - \Delta G$
- T = 1700-1800ºC

ПРИМЕНЕНИЕ

Скандий – высокопрочные AlSc сплавы, элетроннолучевые трубки;

Иттрий – люминофоры, стекло, сенсоры, радары, лазеры, сверхпроводники;

Лантан – керамика, люминофоры, пигменты аккумулятора;

Церий – поляризующие порошки, катализаторы, мишметаллы;

Празеодим - керамика, стекло, пигменты;

Неодим – постоянные магниты, ик фильтры, лазеры;

Прометий – ядерные батареи;

ПРИМЕНЕНИЕ

Самарий – постоянные магниты, микроволновые фильтры, ядерная промышленность;

Европий – люминофоры;

Тербий – люминофоры;

Диспрозий – керамика, атомная промышленность;

Гольмий – керамика, лазеры;

Эрбий – керамика, стёкла, оптоволоконные лазеры;

Итербий – химическая промышленность, металлургия;

Лютеций – монокристаллические сцинтилляторы;

Тулий – электроннолучевые трубки, визуализация изображения в медиа;

Гадолиний – визуализация изображения в медиа, оптические и магнитные регистраторы, керамика, стёкла, лазеры.

Спасибо за внимание!