

Омский Государственный университет им. Ф.М.
Достоевского

Кафедра неорганической химии

**ОБОГАЩЕНИЕ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД.
ОБОГАЩЕНИЕ РУД И РОССЫШЕЙ
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И
ТОРИЯ.**



**Головченко К. К.
2 курс, ХХМ-601-О
Научный руководитель:
Голованова О.А., проф.,
д.Г.-М.Н.**

Омск 2017

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕРИЛЛИЯ

- Металлический бериллий используется для изготовления окон рентгеновских трубок (он в 17 раз более прозрачен, чем алюминиевые трубки), антикатодов в циклотронах, электродов неоновых ламп. В атомной технике бериллий высокой чистоты используется как источник и замедлитель нейтронов и как конструкционный материал для бериллизации изделий (поверхностной цементации) с целью придания им высокой поверхностной твердости.

РУДЫ И МИНЕРАЛЫ БЕРИЛЛИЯ

Минералы бериллия. В природе известно более 30 минералов бериллия, но только 6-8 из них имеют промышленное значение.

Минерал	Химический состав	Содержание, %	Плотность, г/см ³	Твердость по шкале Мооса	Цвет
Берилл	$\text{Al}_2\text{Be}_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})$	11–14,3	2,6–2,9	7,5–8	Голубой, зеленовато-голубой, зеленый, желтый, белый, бесцветный, розовый
Хризоберилл	Al_2BeO_4	19,8	3,5–3,8	8,5	Желтый, желто-зеленый, изумрудно-зеленый (у александрита)
Фенакит	$\text{Be}_2(\text{SiO}_4)$	45,5	3	7,5	Бесцветный, прозрачный, желтоватый, бурый
Гельвин	$\text{Mn}_8(\text{BeSiO}_4)_6 \cdot \text{S}_2$	11–14,2	3,3	6–6,65	Желтый, бурый, красный, зеленый, серый
Гентгельвин	$\text{Zn}_8(\text{BeSiO}_4)_6 \cdot \text{S}_2$	11–14	3,66	—	Розовый, розово-красный
Даналит	$\text{Fe}_8(\text{BeSiO}_4)_6 \cdot \text{S}_2$	12,7–14,7	3,4	5,5–6	Желтый, бурый, красный, зеленый, серый
Бертрандит	$\text{Be}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$	39,6–42,6	2,6	6	Бесцветный, белый, желтоватый
Эвклаз	$\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8(\text{OH})_2$	—	3,1	7,5	Бледно-зеленый, бесцветный, синий

ПРОИЗВОДСТВО БЕРИЛЛИЯ

- Современное состояние бериллиевой промышленности характеризуется непрерывными поисками новых месторождений и ростом добычи руд. Добыча бериллиевых руд ведется также во Франции, Норвегии, Швеции, Финляндии, в Кении, Афганистане, Объединенной Республике Танзания. Основная масса бериллиевого сырья в США перерабатывается преимущественно на гидроксид, из которого получают все необходимую продукцию.

МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД

- Промышленные минералы бериллия по своим физико-химическим свойствам близки к минералам пустой породы. Берилл, фенакит и бертрандит немагнитны, имеют плотность от 2,6 до 3 г/см³, т. е. такую же, как плотность основных минералов пустой породы. Поэтому магнитная сепарация и гравитационные методы обогащения к ним неприменимы.
- В настоящее время применяют или могут быть применены следующие методы переработки бериллиевых руд:
- ручная сортировка, основанная на различии цвета бериллиевых минералов. Применяется в забое, а также после различных стадий дробления при наличии крупнозернистого берилла от 10 мм (иногда от 6) и крупнее;
- избирательное измельчение, основанное на высокой твердости берилла, хризоберилла, фенакита; применяются при наличии в руде мягких пород, например слюдистых сланцев, талька;

- флотация (прямая и обратная) для руд с мелкой вкрапленностью ценных минералов; при этом могут применять собиратели анионного (жирные кислоты) и катионного типов;
- радиометрическое обогащение, представляющее собой автоматическую сортировку по наведенной радиоактивности облучением бериллиевой руды γ -лучами; избирательно наведенная активность фиксируется счетчиком, который связан с исполнительным механизмом, сбрасывающим куски берилла с конвейерной ленты и приемники для концентрата;
- возможно также выделение пустой породы из товарной руды, поступающей на флотацию;
- комбинированные процессы переработки, включающие флотацию бедных руд и химико-металлургическую переработку богатых руд и флотационных концентратов. Процесс предусматривает перемешивание измельченной руды и концентратов с химическими реагентами, окускование их, обжиг при 820-980 °С (в зависимости от типа руды), химическое выщелачивание бериллия с последующим фильтрованием и удалением примесей, добавлением к фильтрату каустической соды для получения гидроксида, а затем и оксида бериллия.

СХЕМА СОРТИРОВКИ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД

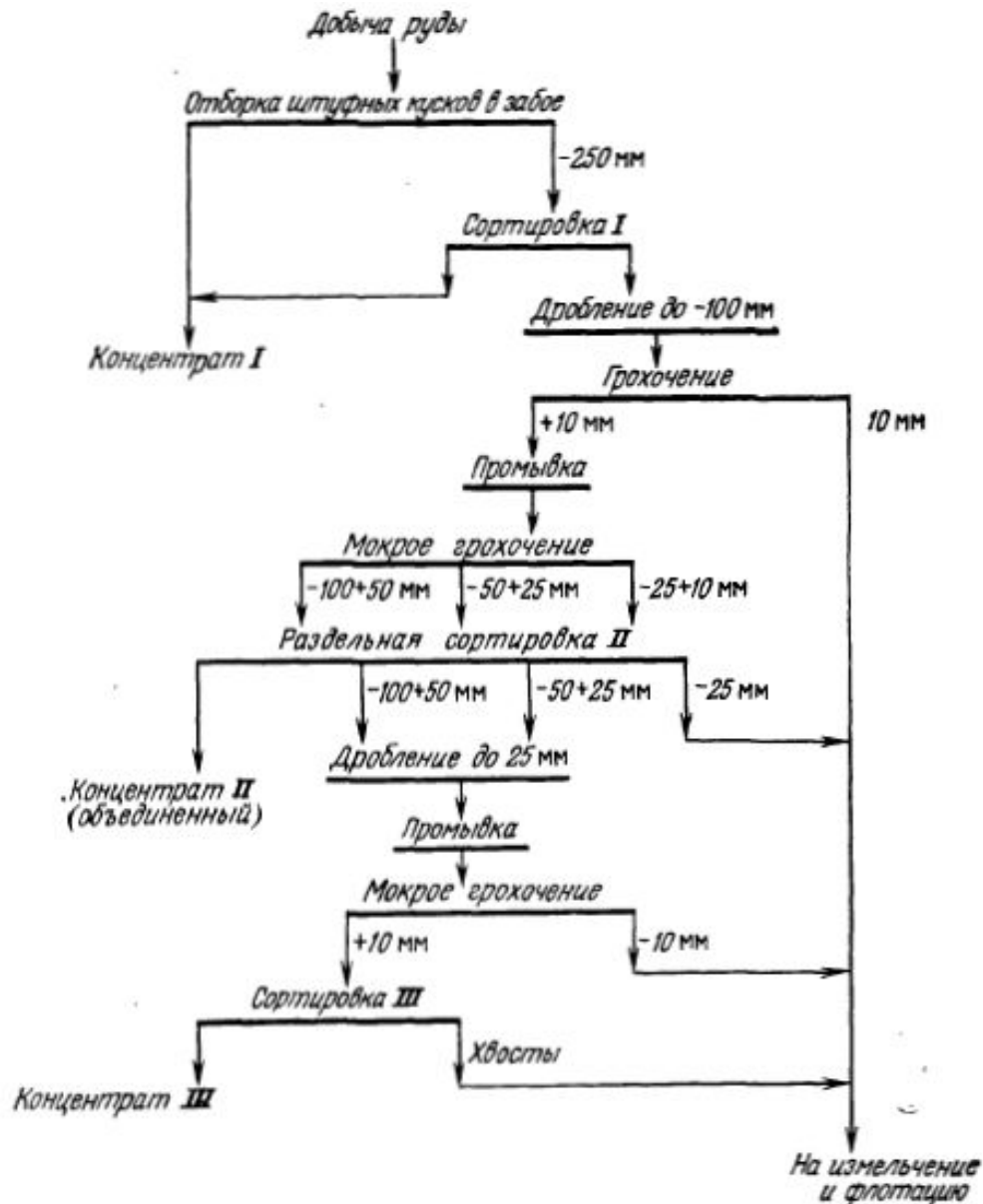


СХЕМА ОБОГАЩЕНИЯ БЕРИЛЛИЕВОЙ РУДЫ МЕТОДОМ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

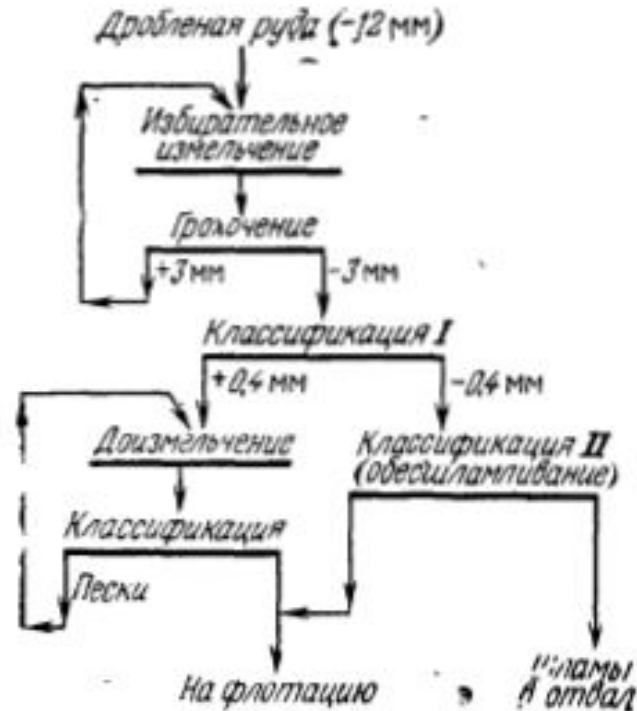
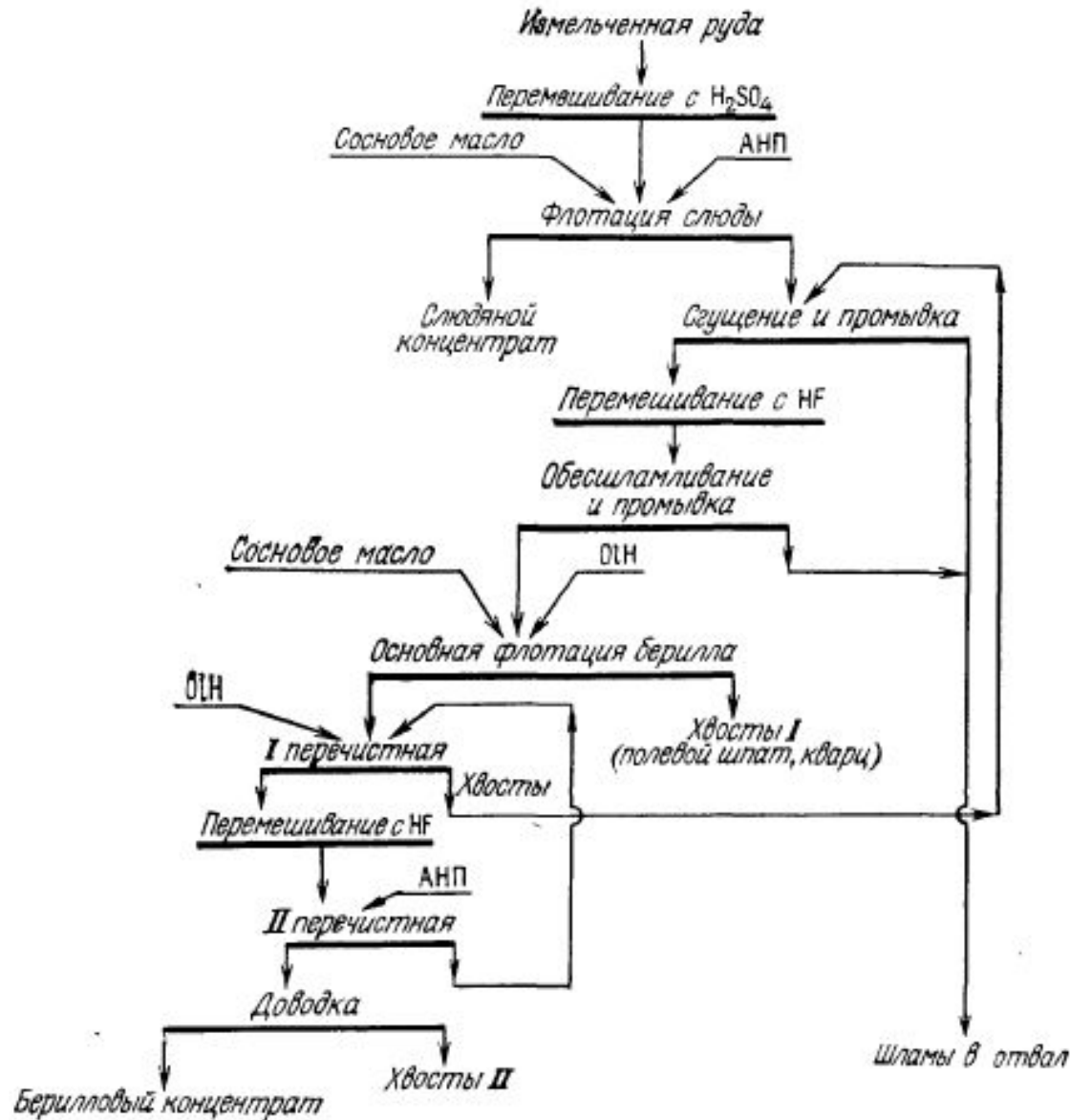


СХЕМА СЕЛЕКТИВНОЙ ФЛОТАЦИИ БЕРИЛЛИЕВЫХ РУД С КИСЛОТНОЙ ОБРАБОТКОЙ



ПОКАЗАТЕЛИ ОБОГАЩЕНИЯ ПЕГМАТИТОВОЙ РУДЫ В ТЕТРАБРОМЭТАНЕ

Фракция	Плотность фракций, г/см ³	Выход, %	Содержание FeO, %	Извлечение, FeO, %
I	+2,915	37	0,2	1,8
II	-2,915 +2,815	22	0,06	0,3
III	-2,815 +2,722	7,2	1,9	3,3
IV	-2,722 +2,634	29	7,4	52,4
V	-2,634	4,8	36	42,2
Исходный продукт	—	100	4,1	100

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ТОРИЯ

- ❑ Редкоземельные элементы (TR) обычно подразделяют на две группы: цериевую (La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu) и иттриевую (Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Y). Такое деление согласуется с некоторыми различиями в физических свойствах металлов обеих подгрупп, но резкой границы между ними нет.
- ❑ В земной коре суммарное содержание редкоземельных элементов составляет 0,01 %, т. е. оно примерно такое же, как содержание меди, и больше, чем содержание свинца, олова, ртути, кадмия, вольфрама, молибдена и многих других элементов.
- ❑ Оксид неодима используется в электронных приборах как диэлектрик с малым коэффициентом линейного расширения.
- ❑ Для атомной техники наибольший интерес представляют лантаноиды с высоким сечением захвата тепловых нейтронов: гадолиний, самарий, европий. Иттрий благодаря его способности слабо поглощать тепловые нейтроны применяется как конструкционный материал в атомных реакторах.

ВАЖНЕЙШИЕ МИНЕРАЛЫ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ТОРИЯ

Минерал	Формула	Примерный состав, %	Плотность, г/см ³	Твердость
Монацит	(Ce, La ...) PO ₄	50—68 (Ce, La ...) ₂ O ₃ ; 22—31,5 P ₂ O ₅ ; 4—12 ThO ₂ ; 0,1—0,3 U; изредка ZrO ₂ (до 7) и SiO ₂ (до 6)	4,9—5,5	5,5
Ксенотим	YPO ₄	52—62 Y ₂ O ₃ ; примеси Ce, Er и других лантаноидов, иногда ThO ₂ , UO ₂ (до 5); ZrO ₂ (3); SnO ₂ , SiO ₂ (9)	4,45—4,59	4,5
Бастнезит	(Ce, La, Pr)[CO ₃]F	36,9—40,5 Ce ₂ O ₃ ; 36,3—36,6 (La, Pr ...) ₂ O ₃ ; 19,8—20,2 CO ₂ ; 6,2—8,5 F	4,8—5,2	4—4,5
Паризит	Ca(Ce, La ...) [CO ₃] ₃ F ₂	10,4—11,4 CaO; 26—31 Ce ₂ O ₃ ; 27,3—30,4 (La, Nd) ₂ O ₃ ; Y от следов до 8 (иттропаризит); 23—24,5 CO ₂ ; 6—7 F	4,3—4,4	4,5
Иттроцерит	(Ca, Y, Ce, Er)F ₂₋₃ H ₂ O	19,7—32,7 Ca; 8,5—11,5 Ce; 14,3—37,7 Y; 37,7—41,6 F	3,4—4,6	4,5
Гадолинит	(Y, Ce) ₂ FeBe ₂ Si ₂ O ₁₀	10—13,7 FeO; 30,7—46,5 Y ₂ O ₃ ; 5,23 (Ce, La ...) ₂ O ₃ ; 23—24,5 SiO ₂ ; 0,3—0,4 ThO ₂ ; 9—10,2 BeO; примеси Ca, Mg	4,1—4,5	6,5—7
Ортит	(Ca, Ce) ₂ (Al, Fe) ₃ Si ₃ O ₁₂ [O, OH]	Ce ₂ O ₃ до 6; (La ...) ₂ O ₃ до 7; иногда BeO (до 3,8); Y ₂ O ₃ до 8 (иттроортит); примеси ThO ₂	4,1	6
Лопарит	(Na, Ca, Ce, Sr) ₂ (Ti, Ta, Nb) ₂ O ₆	39,2—40 TiO ₂ ; 32—34 (Ce, La ...) ₂ O ₃ ; 8—11 (Nb, Ta) ₂ O ₅ ; 4,2—5,2 CaO; 7,8—9 Na ₂ O; примеси Sr, K, Si, Th, (0,5—0,6)	4,7—4,9	5,5—6
Эвксенит	(Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) ₂ O ₆	18,2—27,7 (Y, Er) ₂ O ₃ ; 0,2—4,3 (Ce, La ...) ₂ O ₃ ; 16—30 TiO ₂ ; 4,3—47,4 Nb ₂ O ₅ ; 1,3—23 Ta ₂ O ₅ ; 1—5 ThO ₂ ; 0,4—12 UO ₂	4,8—5,4	6,5

Минерал	Формула	Примерный состав, %	Плотность г/см ³	Твердость
Фергусонит	(Y, Sr, Ce, U) (Nb, Ta, Ti)O ₄	57,5—46 (Nb, Ta) ₂ O ₅ ; 31—42 Y ₂ O ₃ ; 0,9—6 (Ce, La...) ₂ O ₃ ; Er ₂ O ₃ до 14; 1—3,4 ThO ₂ ; 1,2—6 UO ₂ ; TiO ₂ до 6; примеси ZrO ₂ , SnO ₂ , WO ₃	5,6—6,2	5,5—6,5
Самарскит	(Y, Er, U, Ce, Th) ₄ (Nb, Ta) ₆ O ₂₁	6,4—14,5 Y ₂ O ₃ ; 2,7—13,4 Er ₂ O ₃ ; 0,25—3,2 Ce ₂ O ₃ ; 0,37—1 La ₂ O ₃ ; 0,74—4,2 (Pr, Nd) ₂ O ₃ ; 27,7—46,8 Nb ₂ O ₅ ; 1,8—27 Ta ₂ O ₅ ; 0—4,2 ThO ₂ ; 4—16 UO ₂ ; примеси Ti, Zr, Sn и др.	5,6—5,8	5—6
Приорит	(Y, Er, Ca, Th) (Ti, Nb) ₂ O ₆	21,1—28,7 (Y, Er) ₂ O ₃ ; 3,7—4,3 Ce ₂ O ₃ ; 21,8—34 TiO ₂ ; 15—36,7 Nb ₂ O ₅ ; 0—1,3 Ta ₂ O ₅ ; 1—4,1 CaO; 0,6—7,9 ThO ₂ ; 0—5,3 UO ₂ ; 1,4—5,6 FeO; 0—0,3 SnO ₂ ; 0,08 PbO; 0—2 MnO	4,8—5	5—6
Эшинит	(Ce, Ca, Th) (Ti, Nb) ₂ O ₆	15,5—19,5 Ce ₂ O ₃ ; 0,9—4,5 (Y, Er) ₂ O ₃ ; 21,2—24 TiO ₂ ; 23,8—32,5 Nb ₂ O ₅ ; 0—7 Ta ₂ O ₅ ; 11,2—17,5 ThO ₂ ; 2,3—2,7 CaO; 2,2—4,3 FeO; примеси Sn, Mn, Mg	5,23	5—6
Торит	ThSiO ₄	Некоторые разновидности содержат 10—16% U ₃ O ₈ (ураноторит). Содержит примеси редких земель Ca, Fe ₂ O ₃ (до 13% в ферриторите)	5,4	4,5—5
Торианит	ThO ₂	60,2—61,9 ThO ₂ . Содержит примеси урана, редкоземельных элементов, Fe, Zr	9,3—9,7	—

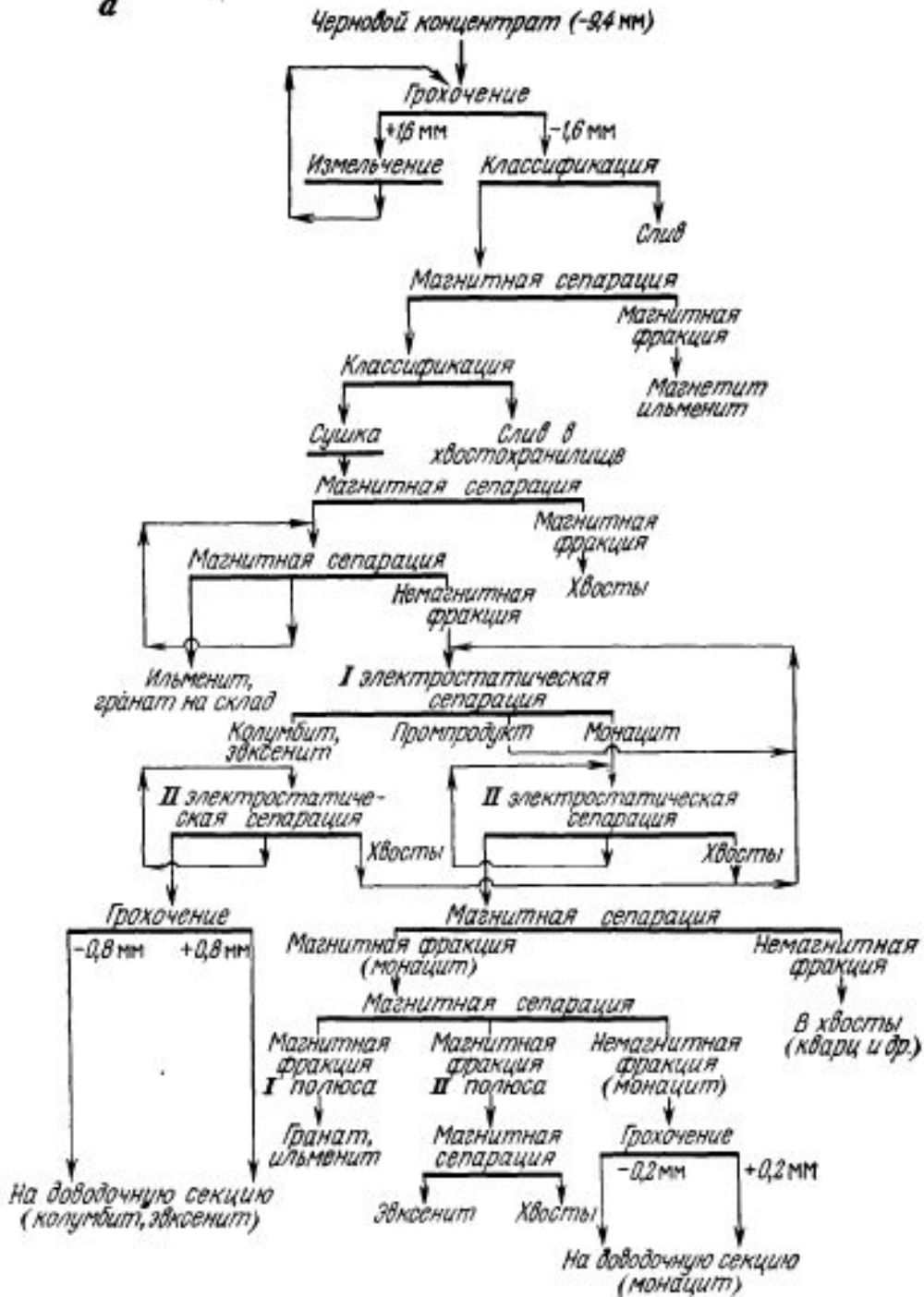
ПРОИЗВОДСТВО РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ТОРИЯ

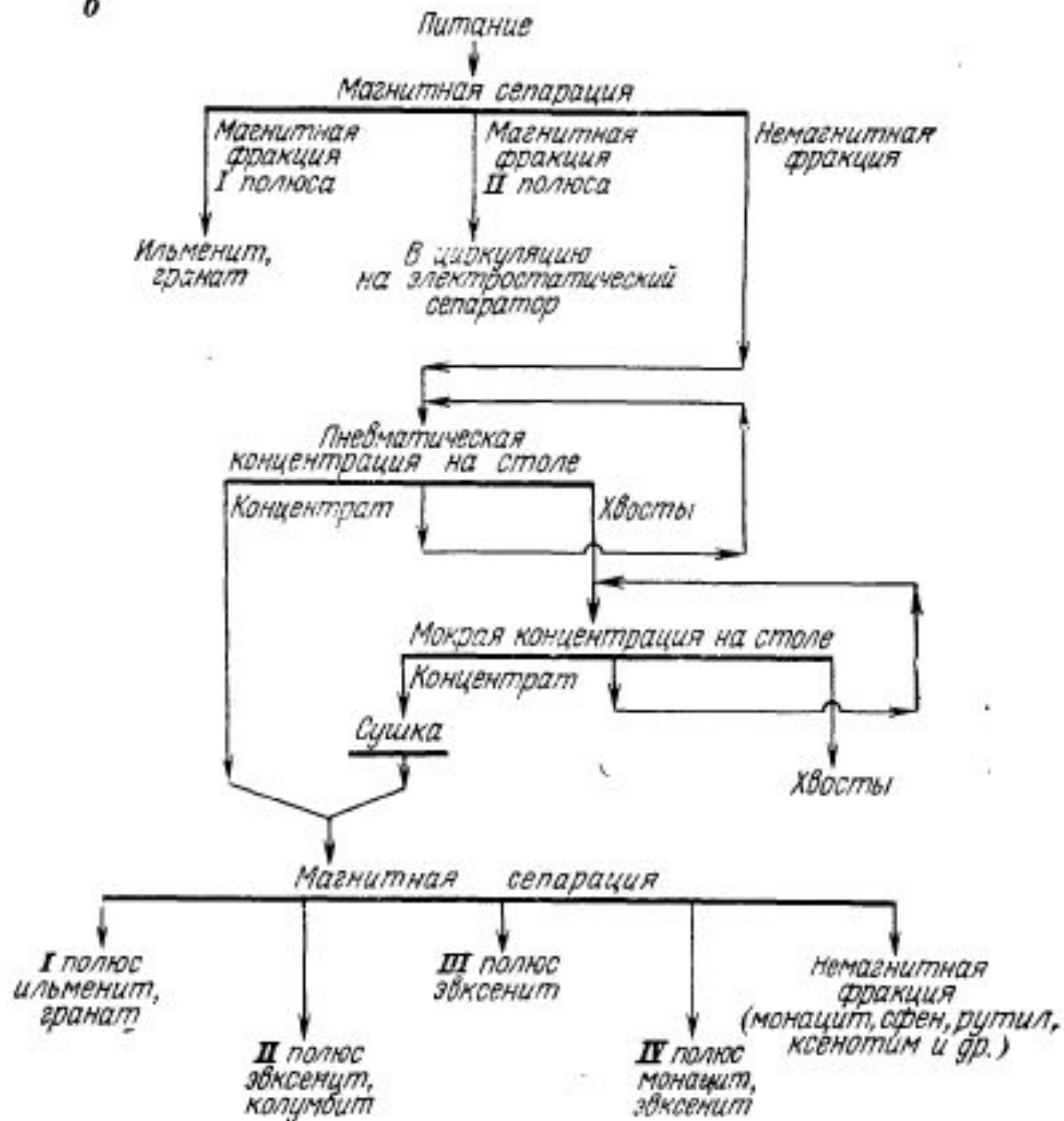
- Из известных в настоящее время зарубежных заводов по производству редких земель до 50 % падает на долю бастнезитовых руд США и до 40% на долю прибрежно-морских и аллювиальных монацитсодержащих песков Индии, Бразилии, Австралии и др.
- Производственные мощности предприятий по производству монацитовых, бастнезитовых, торитовых, эвксенитовых концентратов составляют более 40 тыс. т концентрата в год
- Геологические запасы иттрия оцениваются в 33 тыс. т, из них на долю Индии приходится 55 %, Америки 22 % (в том числе США около 10 %), Бразилии 7 %. Производство иттрия (в виде металла) составляет около 200 т в год, из них - Америка около 60 т, Индия, Малайзия - 36 и 24 т, Австралия - 55 т.

ОБОГАЩЕНИЕ РОССЫПЕЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И ТОРИЯ

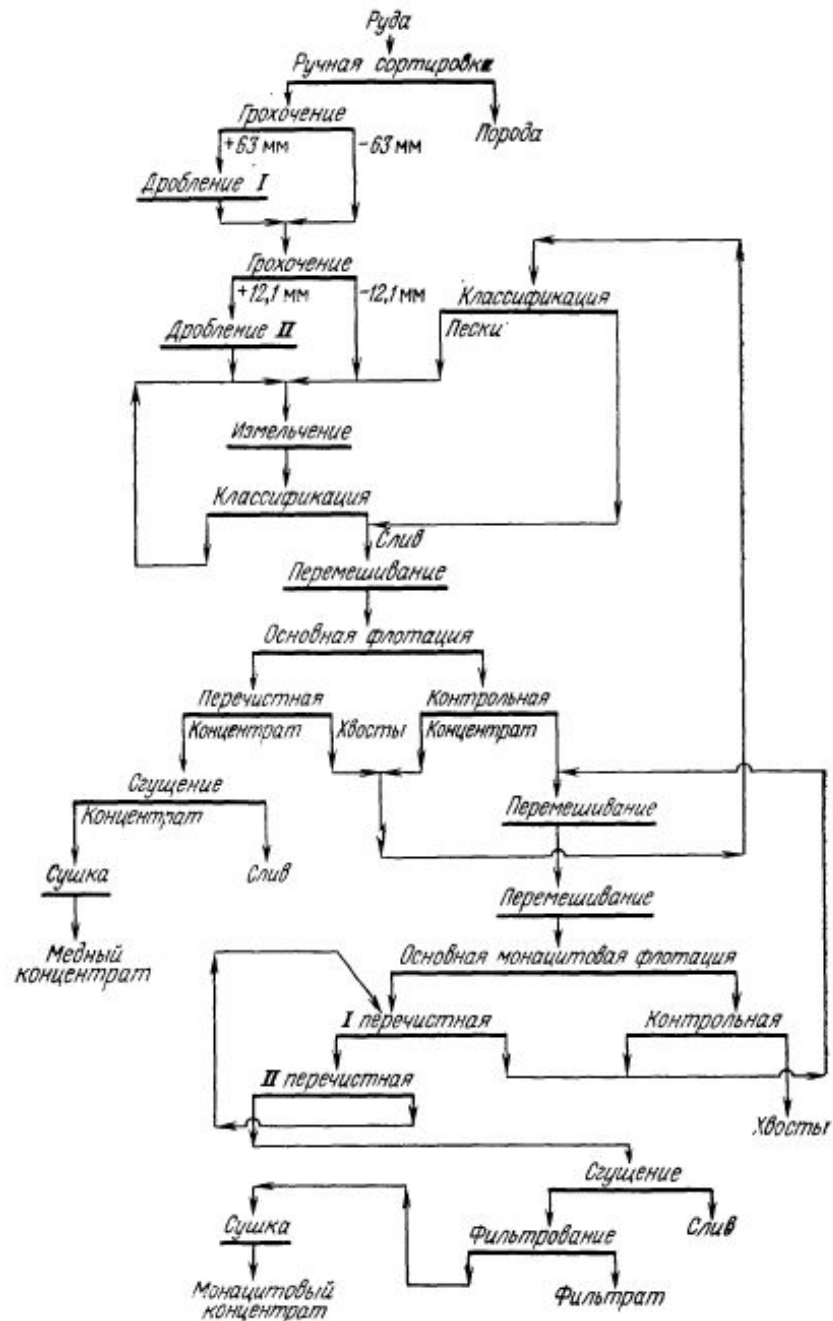
- При обогащении прибрежно-морских и аллювиальных россыпей, содержащих рутил, циркон, ильменит и другие ценные минералы, обычно монацит и некоторые редкоземельные минералы выделяют попутно при получении титановых или цирконовых концентратов.
- Примером обогащения эвксенито-монацитовых россыпей может служить фабрика «Лоумен» (США), на которой перерабатывают пески месторождения Бэр-Вэлли.
- На фабрику поступает 150-200 т черновых концентратов в сутки, содержащих до 85 % магнетита, граната, ильменита и других тяжелых минералов.
- По относительной электропроводности минералы располагаются в следующем убывающем порядке: сульфиды, оксиды, карбонаты, фосфаты, силикаты. Перечистку и доводку черного концентрата осуществляют в две стадии:
 - 1 – магнитная сепарация для отделения магнетита и ильменита и электростатическая сепарация для выделения эвксенитового и монацитового концентратов (рис. а);
 - 2 – концентраты перечищают на гидравлических и пневматических концентрационных стоках (рис. б).

а





ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ОБОГАЩЕНИЯ РУДЫ НА ФАБРИКЕ «СТИНКЕМПС-КРААЛ» (ЮАР)



БЛАГОДАРИЮ ЗА ОКАЗАННОЕ ВНИМАНИЕ!