



ГИРЕДМЕТ
РОСАТОМ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ВОПРОСАХ ПЕРЕРАБОТКИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО БЕРИЛЛИЕВОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Старший научный сотрудник
Меньшиков Валентин Владимирович

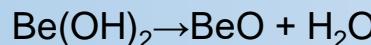
Лаборатория metallurgical processes
Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и
проектный институт редкometаллической промышленности «Гиредмет»

Основные области применения бериллия

Промышленное производство бериллия было начато в Германии в 1930 г., в СССР и США – в 1952 г., в Англии – в 1956 г.

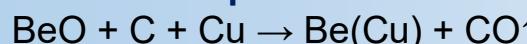
Гидроксид бериллия – основа для производства бериллиевой продукции

Изделия из оксидной керамики



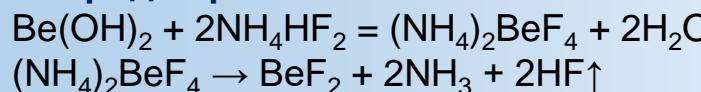
Атомная техника. Подложки для микроэлектроники, силовой электроники, СВЧ-техники, лазерных систем. Теплозащитные конструкции космических объектов. Огнеупорная керамика. Специальные стекла.

Сплавы и бронзы



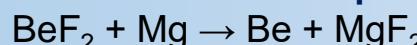
Практически вечные пружины, разъёмы радиоаппаратуры, безыскровой инструмент для нефтегазовой промышленности, подводный оптико-волоконный кабель

Фторид бериллия

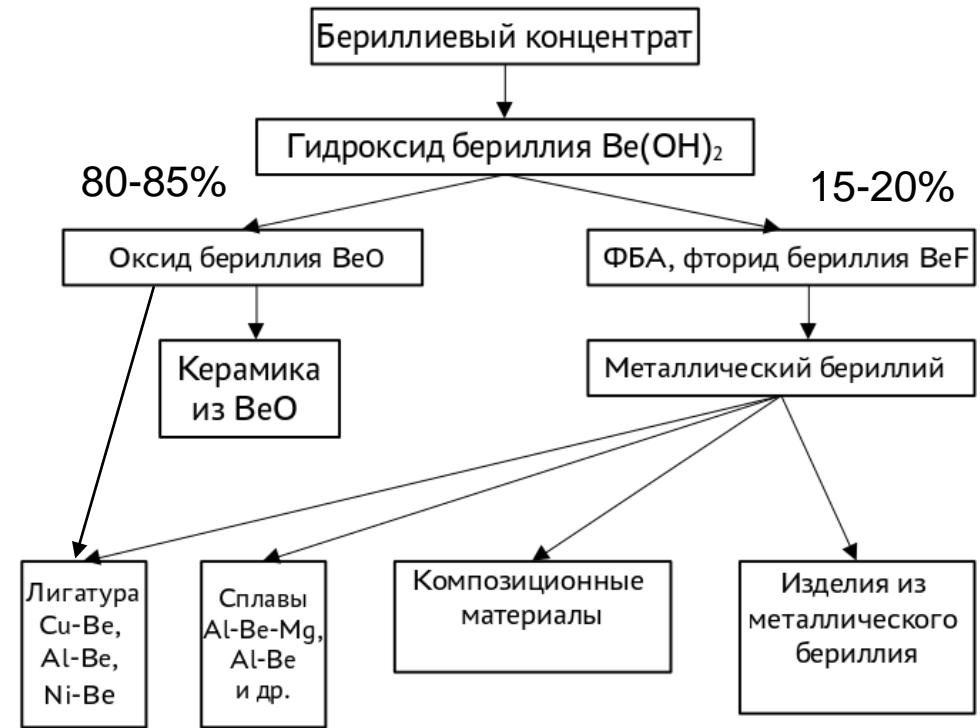


Оптические приборы, ядерный реактор на расплавах солей

Металлический бериллий



Эффективный замедлитель и отражатель нейtronов. Авиационная, ракетная и космическая техника, атомная энергетика. Приборостроение. Гирокопы. Окна рентгеновских установок



75% бериллия идёт на производство сплавов с медью, 13% - сплавы с алюминием и керамика из оксида бериллия, 12 % потребляет оборонная промышленность.

В 2022 году **мировое производство** бериллия по разным оценкам составило от 350 до 400 тонн.*

До 75% совокупного **мирового объема производства** бериллия приходится на США.*

Мировой рынок товарного бериллия поделен между тремя основными производителями, имеющими полный цикл производства от руды или концентратов до сплавов: **Materion Corp. (Brush Wellman Inc.)** (США), **АО «УМЗ»** (Казахстан) и **Shuikoushan Non-Ferrous Metals Group** (Китай).

- **2005 г. – Новый завод в Китае 100 тонн BeO и 1000 тонн CuBe**
- **2011 г. - Новый завод Materion США мощностью 73 тонны металлического Be в год**

Сегодня российская промышленность **полностью импортозависима** по бериллию и его сплавам, при потребности в бериллии - **25-30 т/год.**

Основные предприятия по производству бериллиевой продукции в России:

ФГУП «Базальт» г. Саратов

АО «Композит» г. Королев

АО «Каменск-Уральский завод по обработке цветных металлов» - г. Каменск-Уральский



Динамика объемов продаж бериллия и продукции в 2013 - 2022 гг,
тыс.долл.*

Промышленные и потенциально-промышленные типы бериллиевых месторождений

ОСНОВНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	МИНЕРАЛЬНЫЙ ТИП РУД	СРЕДНЕЕ СОДЕРЖАНИЕ BeO В РУДЕ, %	МАСШТАБ ОРУДЕНЕНИЯ	ПОПУТНЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ КОМПОНЕНТЫ
Спор-Маунтин, Сьерра-Бланка (США), Оротское (Россия)	Берtrandитовый, флюорит- берtrandитовый	0,5–1,0	До уникального	Флюорит
Ермаковское, Ауникское, Окуневское (Россия)	Фенакит-берtrandит-микроклин-флюоритовый	0,2–1,5	До крупного	Флюорит, редкоземельные элементы (РЗЭ)
Пержансское (Украина), Диабазовое, Метасоматитовое (Белоруссия), Тор-Лейк (Канада)	Гентельвиновый, гельвин-фенакит-лейкофановый, кварц-полевошпат-фенакитовый	0,2–1,4	До крупного	РЗЭ, Y, Nb, Ta, Zr, Zn
Боевское, Малышевское, Снежное (Россия), Редскин-Шток (США), Баа-Виста (Бразилия)	Берилл-флюоритовый, берилл-маргарит-изумрудный, флюорит-фенакит-берилловый, кварц- эвклаз-берtrandит-берилловый	0,1–0,9	До крупного	Изумруд, флюорит, W, Mo
Вознесенское, Пограничное (Россия)	Слюдисто- фенакит- флюоритовый, слюдисто- хризоберилл-флюоритовый	0,1–0,25	Крупный	Флюорит, Li, Rb, Cs, Zn
Инкур (Россия), Кара-Оба, Акча-Tay, Нура-Талды (Казахстан)	Мусковит-кварц-берилловый	0,05, редко до 0,3	Мелкий, до среднего	W, Mo, Bi, Sn
Укса, Хопунваара (Россия), Айрон- Маунтин (США)	Хризоберилл-даналитовый	0,05, редко до 0,3	Средний	Sn, Zn, Pb, Cu, флюорит, Fe (магнетит)
Завитинское, Вишняковское (Россия), Белогорское (Казахстан), Бородавилье (ФРГ) «ВИМС»	Берилл-колумбитовый, берилл- сподумен-танталитовый	0,05, редко до 0,3	Мелкий, до крупного	Ta, Nb, Li, Cs, кварц, полевой шпат, мусковит

Состояние сырьевой базы берилля в России

Ермаковское и Малышевское месторождения

МАЛЫШЕВСКОЕ ИЗУМРУДНО-БЕРИЛЛОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ «МАРИИНСКИЙ ПРИИСК»



Запасы:
11 млн. тонн руды
15,6 тыс. тонн BeO
55 тонн изумрудов
234 тыс. тонн
лежалого галечника
0,11-0,12% - BeO
5,6 млн. тонн отвалов
0,02% - BeO

**Производительность рудника
на 2020 год:**
94 тонн руды
5 тонн рудоразборного берилла
150 кг изумрудов
15 кг александритов

КАРЬЕР ЕРМАКОВСКОГО ФЛЮОРИТ- БЕРИЛЛИЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Запасы:
1,4 млн. тонн руды
1,19% - BeO
ООО «Ермаковское» – резидент
ТОР «Бурятия»
Возобновление производства:
Строительство ГОК и
гидрометаллургического завода

Существующие технологии переработки бериллийсодержащих концентратов

Технологии переработки бериллийсодержащих концентратов			
Materion Corp. США	SKS Китай	АО «УМЗ» Казахстан	
Сульфатно-экстракционно-карбонатная $T = 1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ Извлечение в гидроксид бериллия — 80%	Плавление концентрата $T = 1700\text{ }^{\circ}\text{C}$; Сульфатно-квасцово-щелочная Извлечение в гидроксид бериллия — 75-80%	Плавление концентрата $T = 1350\text{ }^{\circ}\text{C}$; Сульфатно-аммонийно-щелочная Извлечение в гидроксид — 97,5%	
Сильно зависит от качества руды; Низкое извлечение.	Высокая энергоемкость; Низкое извлечение; Значительная потеря бериллия с отходами.	Высокая энергоемкость; Многооперационность; Высокая чувствительность к фтору.	
Опытно-промышленные испытания на УМЗ			
Фторидные	Сорбционные	Экстракционные	Щелочные
1. Спекание с Na_2SiF_6 $T = 750\text{-}800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 2. Автоклавное выщелачивание Na_2SiF_6 , $T = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3. Спекание с NH_4HF_2 (схема ТПУ) Извлечение в ФБА - 90-98%	1. Карбоксильный катионит СГ-1г; 2. Фосфорнокислый катионит КФ-1г Извлечение в гидроксид бериллия – 98%	Экстрагент ДИ-2-ЭГФК (NH_4^+ -форма) Реэкстракция NH_4HF_2 Извлечение в ФБА — 97%	Автоклавное выщелачивание с последующим разбавлением и выпаркой (NaOH -400 г/л, $T = 150\text{ }^{\circ}\text{C}$); Извлечение в гидроксид бериллия – 97%
<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие выпуска BeO и Be(OH)_2; Дорогой фторирующий агент; Агрессивная технологическая среда; Не сбалансирована по воде. 	<ul style="list-style-type: none"> Плавление концентрата; Отсутствие промышленного выпуска фосфорнокислого сорбента. 	<ul style="list-style-type: none"> Плавление концентрата; Сложная многостадийная схема; Многореагентность; Не сбалансирована по воде. 	<ul style="list-style-type: none"> Плавление концентрата; Энергоёмкая выпарка; Многостадийность; Карбонизация щелочи при выпарке; Не сбалансирована по воде.

Обоснование выбора направлений исследований

Компетенции АО «Гиредмет»

- Флотационное обогащение бериллиевых руд
- Химическое дообогащение некондиционных бериллиевых концентратов
- Переработка Be-содержащих концентратов различной минерализации с получением гидроксида берилля по технологиям: сульфатная, сорбционная, экстракционная, автоклавная щелочная,автоклавная с мембранным электролизом

Преимущества новой щелочной технологии

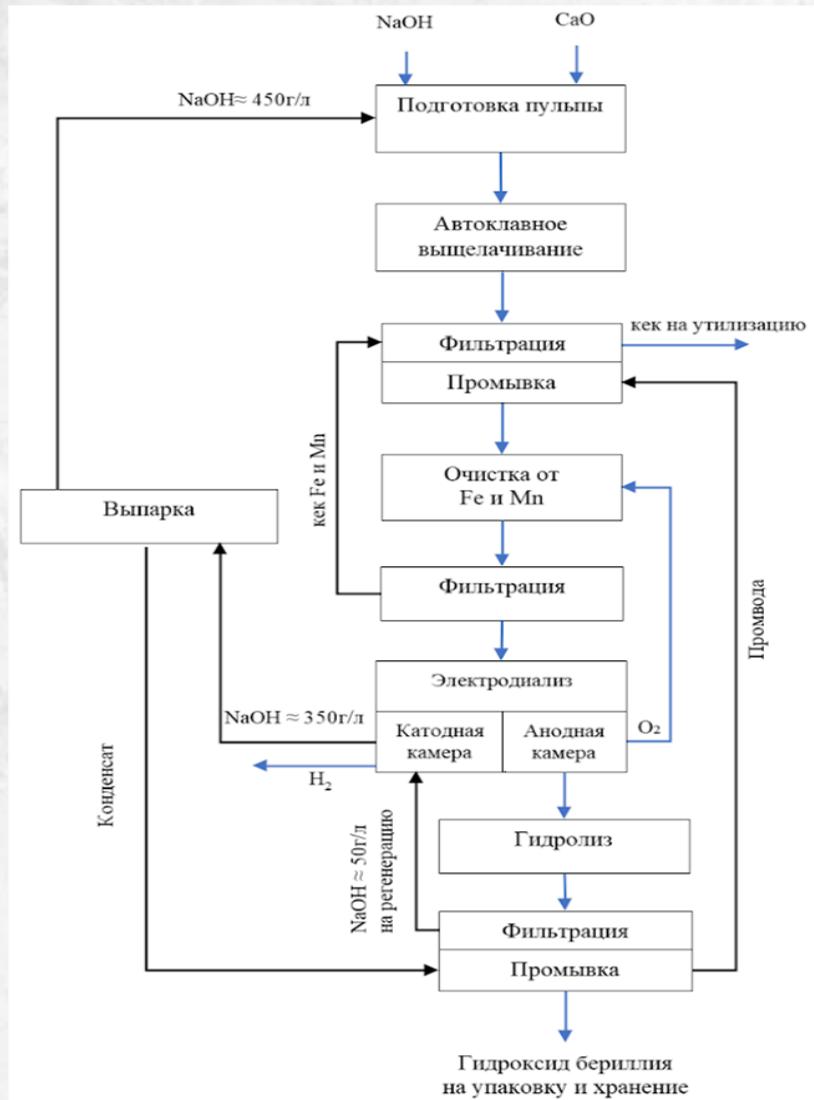
- Высокий экологический потенциал
- «Нечувствительность» к фтору, содержащемуся в исходном концентрате
- Замкнутый цикл по воде и основному реагенту — щелочи
- Возможность полной автоматизации процесса
- Защита персонала от воздействия соединений берилля

Сравнение технологических схем переработки бериллийсодержащего сырья

ПОКАЗАТЕЛИ	ФТОРОАММОНИЙНЫЙ СПОСОБ (Томский политехнический университет)	СУЛЬФАТНО-ЭКСТРАКЦИОННАЯ (``MATERION Corp.'' США)	СУЛЬФАТНЫЙ СПОСОБ, КЛАССИЧЕСКИЙ (ПРОИЗВОДСТВО ``УМЗ''/SKS Китай)	ЩЕЛОЧНОЙ АВТОКЛАВНЫЙ СПОСОБ (ВНИИХТ, АО «Гиредмет»)
Предварительная подготовка сырья				
Обогащение сырья	Флотация	Отсутствует	Флотация	Флотация
Сплавление	Отсутствует	Отсутствует	1350°C/1700 °C	Отсутствует
Термообработка	Отсутствует	Отсутствует	900 °C	Отсутствует
Измельчение	- 0,1 мм (95 %)	- 1,3 мм (95 %)	- 0,15 мм (90 %)	- 0,05 (95 %)мм
Вскрытие сырья				
Технологические режимы процесса	Барабанная печь 180-210 °C Непрерывный	Агитатор 250 °C Непрерывный	Шнек-реактор 180 - 200 °C Периодический	Автоклав 260 °C 3,2 МПа Непрерывный
Извлечение	98 — 99 %	80 %	95-97 / 75-80%	98 %
Универсальные показатели				
Перерабатываемое сырье	Берилловые штуфы, берtrandит-фенакитовые концентраты, отходы бериллиевого производства	Берtrandитовые туфы	Берилловые штуфы, берtrandитовые концентраты	Берилловые штуфы, берtrandит-фенакитовые концентраты, отходы бериллиевого производства
Энергоемкость	Средняя	Низкая	Высокая	Средняя
Отходы	Отсутствие жидких и газообразных отходов, остаток пирогидролиза гидроксиды Fe, Al, Si	Алюминиевые квасцы, сернокислые растворы, гидроксиды Fe, Al, Si	Газы - SiF ₄ , HF; раствор сернокислого железа, алюминиевые квасцы, остаток сульфатизации	Кек автоклавного выщелачивания, кек железомарганцевой очистки
Себестоимость	Средняя	Средняя	Высокая	Средняя
Возможность регенерации реагентов	Технология полного замкнутого цикла. Регенерация фторирующего реагента и осадителя.	Регенерация экстрагента Д2ЭГФК и реэкстрагента (NH ₄) ₂ CO ₃	Не предусмотрена регенерация реагентов.	Технология замкнутого цикла. Регенерация щелочных растворов.

Принципиальная технологическая схема переработки бериллиевого концентрата

Принципиальная технологическая схема переработки бериллиевого концентрата с получением бериллия



Расходы на 1 кг бериллия в гидроксиде бериллия

Группа ресурсов	Наименование	Единица измерения	Удельный расход
Реагенты	Бериллиевый концентрат 10%	кг	12
	Сода каустическая (NaOH), (с учетом оборотной щелочи)	кг	4,25
	Известь строительная CaO + MgO - 67 %	кг	7,7
	Кислород технический	кг	0,7
Материалы	Ткань полипропилен КС-44	погонн. м	0,5
	Мембрана катионообменная МФ-4СК (ресурс 5 лет)	м ²	0,001
	Никель для катода (ресурс не менее 15 лет)	кг	0,004
	Титан для анода (ресурс не менее 10 лет)	кг	0,006
	Иридий для покрытия анода (ресурс не менее 10 лет)	г	0,005
	Титан для покрытия анода (ресурс не менее 10 лет)	г	0,008
	Автоклавное выщелачивание	кДж	412
Энергоресурсы	Электролиз	кВт·ч	400

Автоклавклавное щелочное выщелачивание: 260°C, 3,2 МПа



Лабораторный автоклав.
Объем реторты – 1 л



Промышленный автоклав
выщелачивания золота

Мембранный электролизер



Лабораторный двухкамерный
электролизер. Объем камеры – 1 л

Поставщик мембранны МФ-4СК:
ОАО «Пластполимер»,
Санкт - Петербург

Производитель электролизных
установок: ГК «СПЕЦМАШ»,
г. Дзержинск, Нижегородская обл.



Пример промышленной реализации
электролиза на действующем
производстве АО «Саянскхимпласт»

Итоги:

Разработана технология получения гидроксида бериллия по щелочной автоклавной технологии с использованием метода мембранныго электролиза. Составлен регламент на проектирование металлургического завода по переработке бериллиевого концентрата с получением гидроксида бериллия, металлического бериллия.

Внедрение технологии позволит создать автоматизированное современное промышленное производство бериллия

При условном объеме выпуска бериллиевой продукции 30 т/год (по металлическому бериллию) с выпуском оксида бериллия, медно-бериллиевой лигатуры и металлического бериллия «прямой» срок окупаемости инвестиций составит 5 лет. Дисконтированный срок окупаемости, определяемый режимом ввода производства в эксплуатацию и, соответственно, графиком получения готовой продукции по годам, составит не менее 7-8 лет.

2015 - 2017 гг.

Разработка инновационной технологии получения бериллийсодержащих концентратов и гидроксида берилля из минерального и техногенного сырья

Основание - Программа «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса россии на 2014-2021 годы»

Заказчик: Минобрнауки

2021-2023 гг.

Разработка опытно-промышленной технологии получения гидроксида берилля, оксида берилля и металлического берилля с выпуском экспериментальных партий

Заказчик: АО «НИИ НПО «ЛУЧ» Соисполнитель: АО «ВНИИНМ»

2023 г.

Разработка технологии обогащения бериллийсодержащих отходов обогащения руд машевского месторождения

Заказчик: АО «Уралмеханобр»

2023 - 2024 г.

Технологический регламент на проектирование металлургического завода по переработке бериллиевого концентрата с получением гидроксида берилля и металлического берилля

Заказчик: ООО «Ермаковское» Соисполнитель: АО ВНИИНМ

Если ни один металл не справляется с поставленной перед Вами задачей, обратите своё внимание на бериллий!

Спасибо за внимание!

Старший научный сотрудник
Меньшиков Валентин Владимирович

Лаборатория metallургических процессов
Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский и проектный институт редкометаллической промышленности «Гиредмет»