



ВНИИНМ
РОСАТОМ

Разработка процесса комплексной переработки эвдиалитового рудного концентрата с получением линейки товарных продуктов

АО «ВНИИНМ» им. академика А.А. Бочвара

Сафиулина Алфия Минеровна

д.х.н, г.н.с

+7(499)190-8999, доб. 74-11

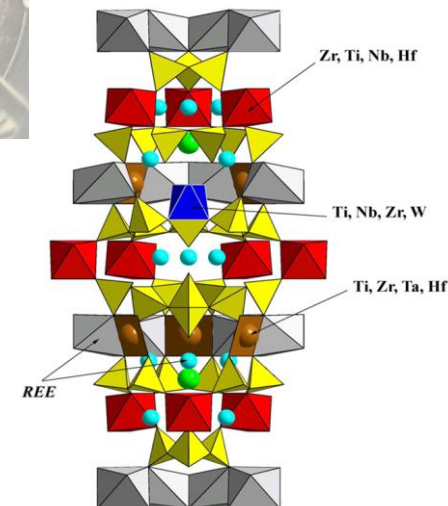
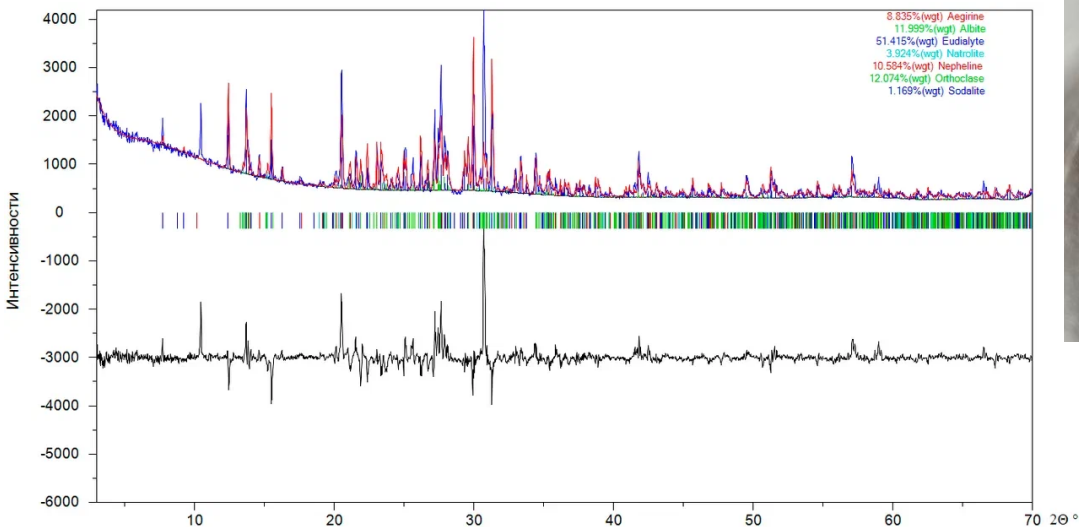
e-mail: amsafiulina@bochvar.ru

03.12.2025

Цель	Разработка технологии переработки эвдиалитового концентрата повышенной эффективности
Задачи	Получение продуктивного раствора ценных компонентов со степенью извлечения от 80 – 95%.
	Получение концентратов РЗМ и Циркония-Гафния.
	Получение осажденного диоксида кремния (белой сажи).

Метод, реактивы	Источник	Результат
<p>Кислотное вскрытие:</p> <p>Азотная кислота, Соляная кислота, Серная кислота, Смесь Серной кислоты + сульфата натрия</p>	<p>патент РФ № 2742330 АО ЧМЗ, АО «ГК «Русредмет» Э.П. Локшин, О.А. Тареева – сорбционная конверсия, Г.С. Скиба и др. – ЖНХ, 2019., Матвеев В.А. и др. Патент РФ № 2522074 и др. – ИХТРЭМС РАН</p>	<p>СИ РМ <50%, не все целевые компоненты извлекаются (особенно Nb/Ta), образование геля, сорбция продуктивного раствора, большой объем отходов</p>
<p>Щелочное вскрытие:</p> <p>Раствор гидроксида натрия + механоактивация</p>	<p>Богатырева Е.В. и др. Патент РФ № 2677571 - МИСиС Чантурия В.А. и др. ДАН 2022. – ИПКОН РАН</p>	<p>Без механоактивации СИ SiO_3^{2-} ~7%, При повторном выщелачивании конц. раствором кислоты СИ РМ ~70% (Nb/Ta <30%), В случае разбавленных кислот – образование геля.</p>

Минеральный состав эвдиалитового концентрата



Состав эвдиалитового концентрата определен на основе программного поиска и общих данных о составе ловозерских пород методом рентгенофазового анализа на дифрактометре Rigaku SmartLab Miniflex II:

51% эвдиалит $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}_3\text{Zr}_3\text{Si}(\text{Si}_{25}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{Cl}, \text{OH})_2$

12% альбит $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

12% ортоклаз $\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$

10% нефелин $\text{Na}_3\text{K}(\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$

9% эгирин $\text{NaFe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$

4% натролит $\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

1% содалит $\text{Na}_4(\text{Si}_3\text{Al}_3)\text{O}_{12}\text{Cl}$

Кристаллическая структура эвдиалита и распределение РМ по различным кристаллографическим позициям**

**Safiulina A.M., Lizunov A.V., Tananaev I.G. // Minerals. 2022. V. 12. 1469.

Элементный состав ЭК, обогащенного эвдиалитом на 51%

Эл-т	г/т (мг/кг)	% масс	Эл-т	г/т (мг/кг)	% масс	Эл-т	г/т (мг/кг)	% масс	Эл-т	г/т (мг/кг)	% масс
Li	<10	<0,001	Zn	31	0,003	Sn	11	0,001	Yb	360	0,04
Be	6,7	0,0007	Ga	71	0,01	Sb	0,3	0,00003	Lu	47	0,005
B	3,1	0,0003	Ge	44	0,004	Te	6	0,0006	Hf	860	0,09
Na	59700	6	As	26	0,003	Cs	1,7	0,0002	Ta	6,6	0,001
Mg	220	0,02	Se	110	0,01	Ba	1100	0,11	W	36	0,004
Al	19300	1,9	Rb	59	0,01	La	1500	0,15	Re	0,6	0,00006
K	4300	0,43	Sr	8200	0,82	Ce	3400	0,34	Os	0,3	0,00003
Ca	14800	1,5	Y	2700	0,27	Pr	470	0,05	Ir	6,3	0,001
Sc	21	0,002	Zr	36800	3,7	Nd	1900	0,19	Pt	11	0,001
Ti	1600	0,16	Nb	450	0,04	Sm	530	0,05	Au	1,7	0,0002
V	38	0,004	Mo	4,7	0,0005	Eu	175	0,02	Hg	1,8	0,0002
Cr	110	0,01	Ru	<0,3	<0,00003	Gd	640	0,06	Tl	1,6	0,0002
Mn	9700	0,97	Rh	1	0,0001	Tb	112	0,01	Pb	26	0,003
Fe	14000	1,4	Pd	204	0,02	Dy	675	0,07	Bi	0,3	0,00003
Co	0,3	0,00003	Ag	275	0,03	Ho	143	0,01	Th	50	0,005
Ni	7,1	0,0007	Cd	51	0,01	Er	420	0,04	U	26	0,003
Cu	2	0,0002	In	0,3	0,00003	Tm	58	0,01	-	-	-

Содержание элементов определено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (МС-ИСП) на приборе Agilent 7500ce («Agilent Technologies» США). Пробоподготовку проводили растворением навески образца в царской водке при кипячении в течение 60 минут.

Методики определения содержания диоксида кремния в ЭК и в растворах выщелачивания

Гравиметрический метод ГОСТ 22772.5-90

В 10 г ЭРК содержится 6,91 г $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ *

*Научно-исследовательское отделение специальных
неядерных материалов и изотопной продукции АО ВНИИНМ
(аналитическая лаборатория)

Фотометрический метод ГОСТ 34781-2021

Согласно ГОСТ 34781-2021 были приготовлены
аттестованные смеси, получен градуировочный график,
разработана методика аналитического контроля кремния
в растворах в диапазоне концентраций от 0,05 до 1,00 мг/л
с доверительным интервалом 0,045 мг/л

Градуировочный график для определения кремния в
растворе фотометрическим методом при 815 нм



Аттестованные смеси для градуировочного графика

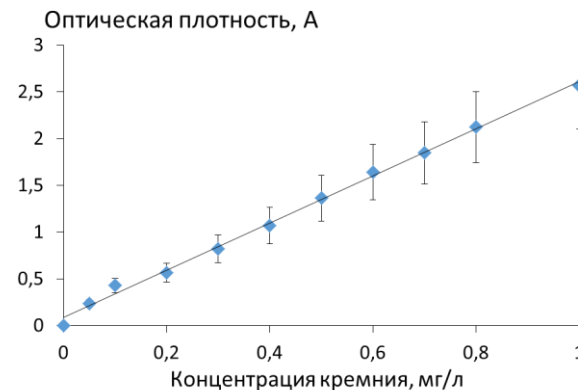
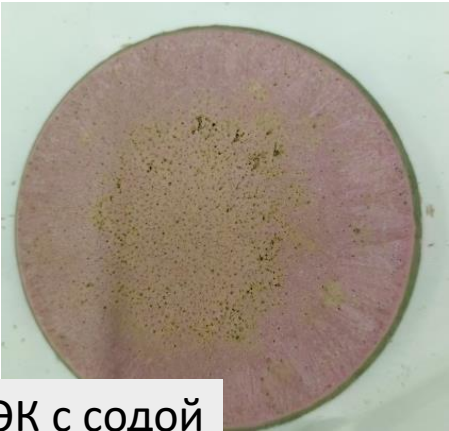
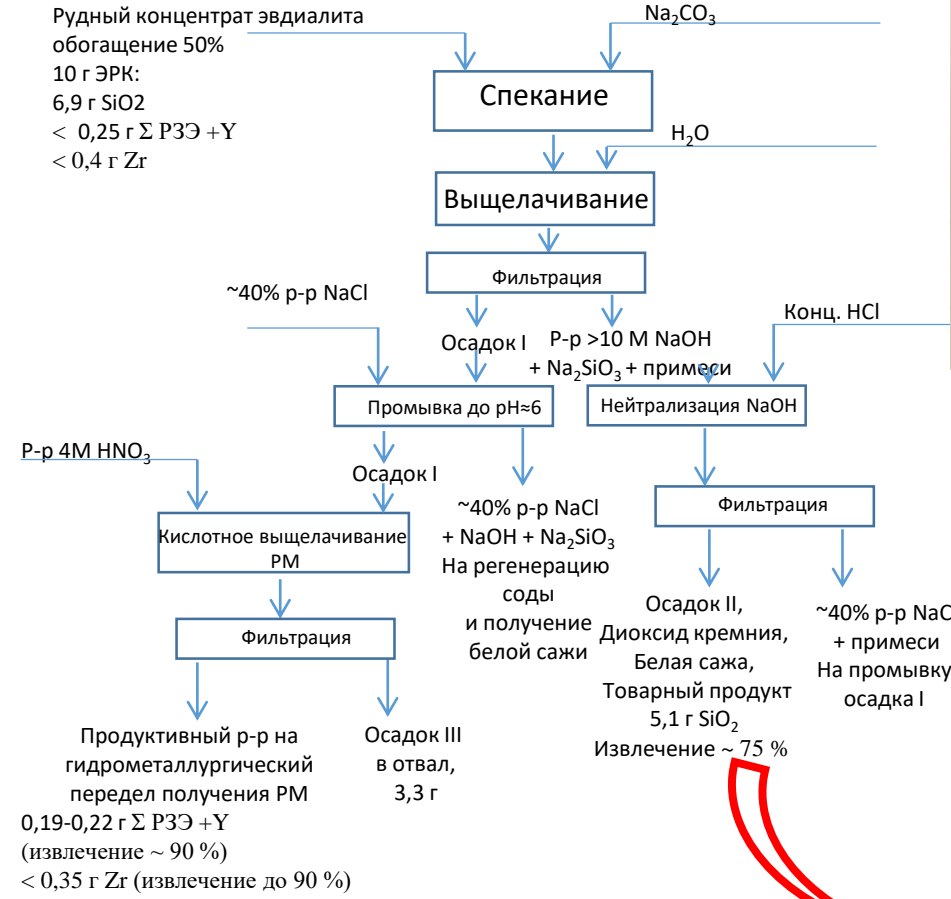
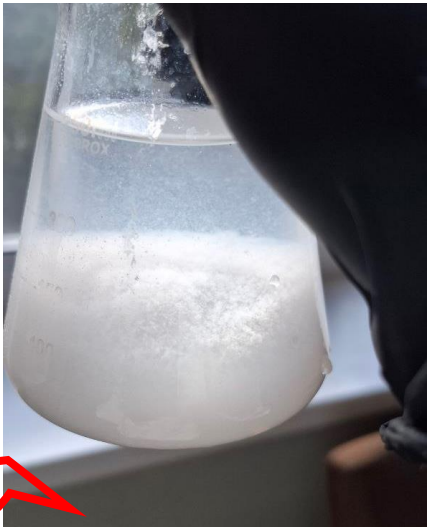


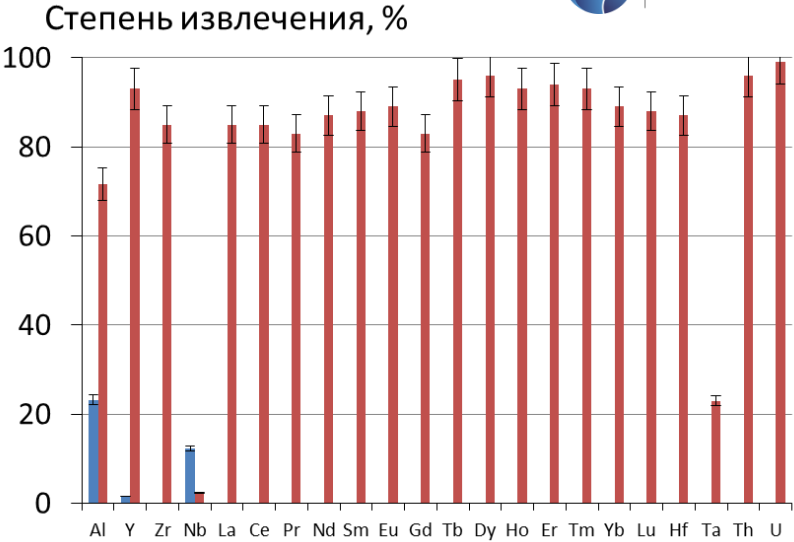
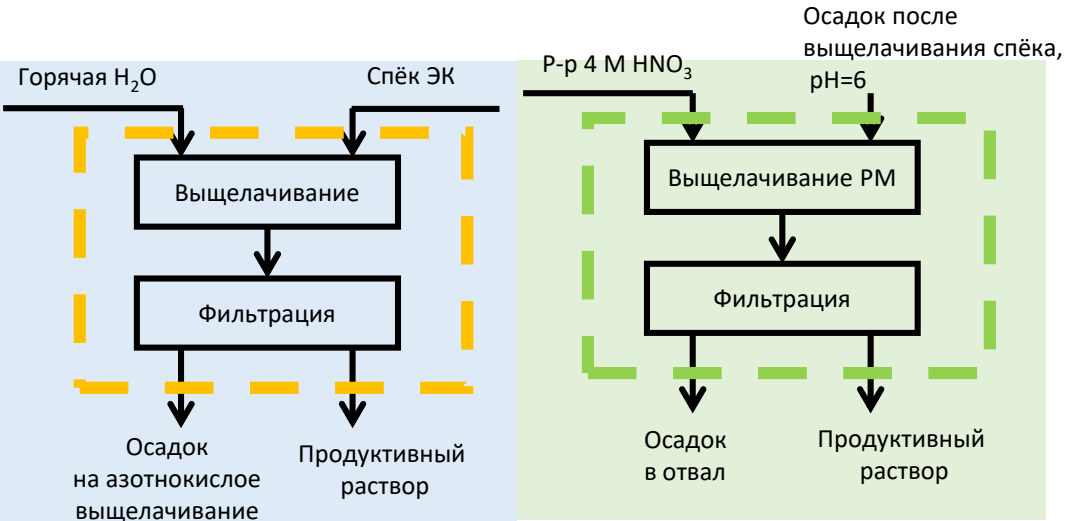
Схема вскрытия ЭК при спекании с содой



Спёки ЭК с содой



Количественные характеристики извлечения ценных компонентов при щелочно-кислотном выщелачивании спёков ЭК с содой

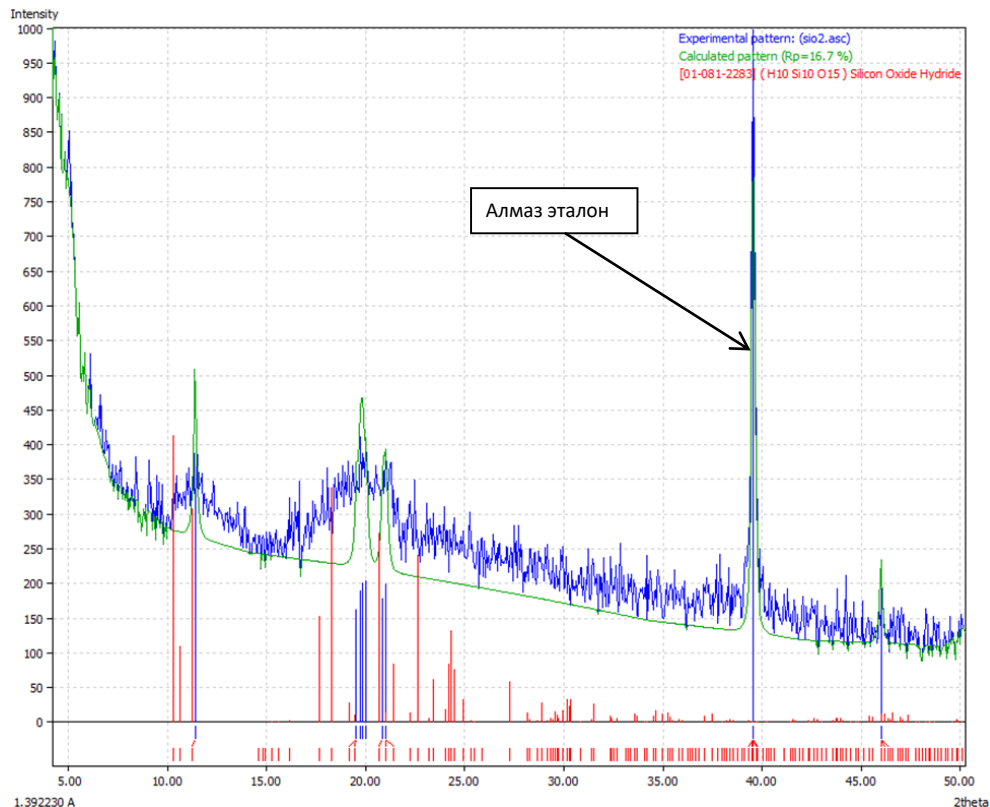


Вариант выщелачивания	Масса осадка в отвал, г
С предварительной обработкой р-ром 10 М NaOH в течение 24 часов	8,5
С предварительным спеканием с карбонатом натрия	3,3

- Продуктивный раствор после выщелачивания спёка водой
- Продуктивный раствор после вторичного выщелачивания р-ром 4 М HNO_3

Комплексное вскрытие ЭК с предварительным спеканием с содой дает возможность значительно увеличить степень извлечения ценных компонентов, а также получить дополнительный товарный продукт – белая сажа

Характеризация структуры осадка II



Рентгеноаморфная фаза $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$

Рентгенофазовый анализ проведён на дифрактометре ДРОН-3М с использованием монохроматического излучения $\text{Cu}_{\text{K}\alpha}$.

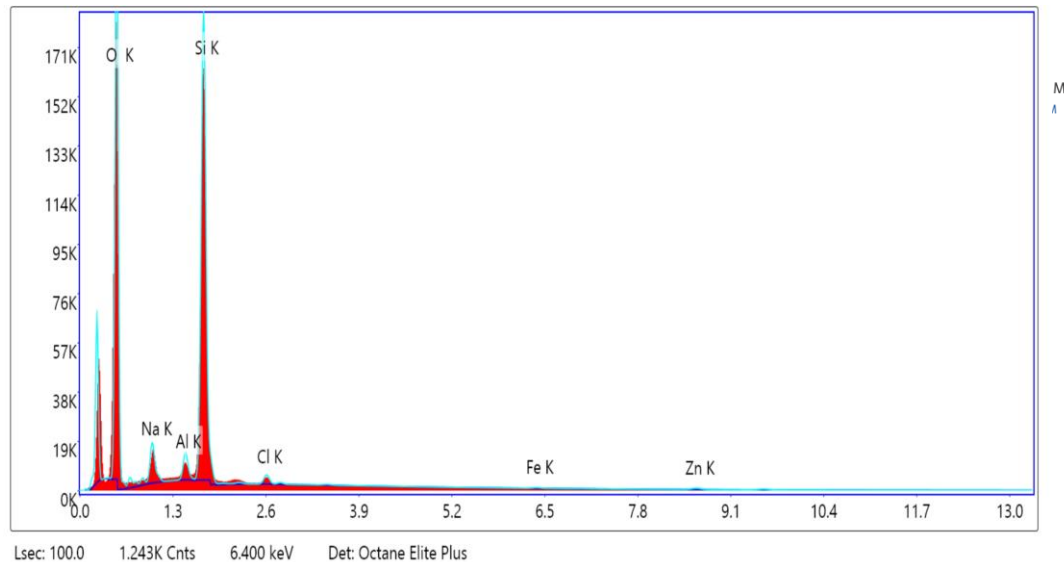
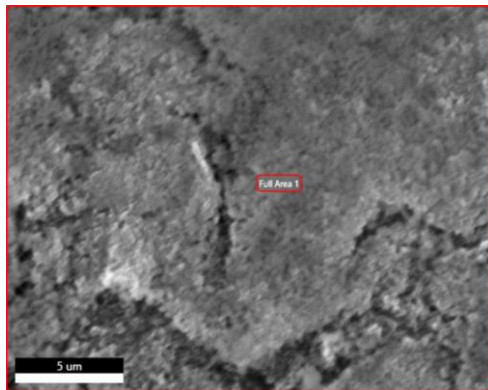
Рентгенофазовый анализ показал, что порошок состоит из рентгеноаморфных и мелкокристаллических фаз.

Состав рентгеноаморфной фазы можно представить формулой $n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

Мелкокристаллическая фаза представляет собой соединение SiO_2 .

Возможно присутствие следов фаз $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ и натрийсодержащих фаз.

Характеризация состава осадка II



Данные микрорентгеноспектрального анализа

Элемент	Содержание в осадке, %	Погрешность, %
O	63,2	6,69
Na	0,91	10,6
Al	2,03	5,08
Si	31,7	3,44
Cl	1,07	4,62
Fe	0,23	17,2
Zn	0,90	6,56

По результатам микрорентгеновского анализа осадка белой сажи содержание примесей соответствует нормам ГОСТ 18307-78 «Сажа белая Технические условия»



В условиях реализации процесса в противоточных каскадах возможно получение двух продуктов:

1. Цирконий содержащий концентрат
2. РЗМ содержащий концентрат

При реализации процесса жидкостной хроматографии возможно получение индивидуальных РЗМ с высокой степенью чистоты в ограниченных объемах органической фазы.

Благодарность:

Лизунов Алексей Владимирович (АО ВНИИНМ, г. Москва)

Степанов Сергей Илларионович (РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва)

Ануфриева Светлана Ивановна (ФГБУ ВИМС, г. Москва)

Хамизов Руслан Хажсетович (ГЕОХИ РАН, г. Москва)

Тананаев Иван Гундарович (ИХТРЭМС РАН, г. Апатиты)