



# Совершенствование технологических схем обогащения редкометалльных эвдиалит- лопаритовых руд Ловозерского массива на основе минералогического анализа

Авторы: Наумов Д.В., Ануфриева С.И., Курков А.В., Жукова В.Е, Бородина Е.К., Рахимов Х.К. Иванова М.В.



Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья  
им. Н.М. Федоровского»

**2025 года г. Москва**

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение  
«Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
минерального сырья  
им. Н.М. Федоровского»

Технологический отдел

01

Изучение вещественного состава  
проб редкометалльных эвдиалит-  
лопаритовых руд Ловозерского  
массива

Химический состав  
Минеральный состав  
Гранулометрический состав

---

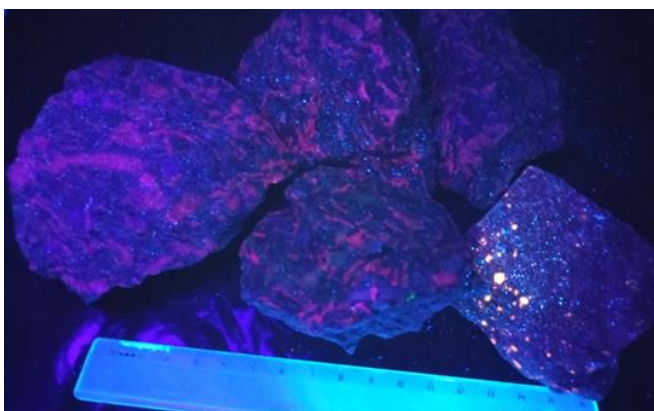
02

Технологические исследования  
проб редкометалльных эвдиалит-  
лопаритовых руд Ловозерского  
массива

Гравитационное фракционирование  
Магнитное фракционирование  
Комплексная переработка пробы АВЭВ Ловозерского  
массива

---

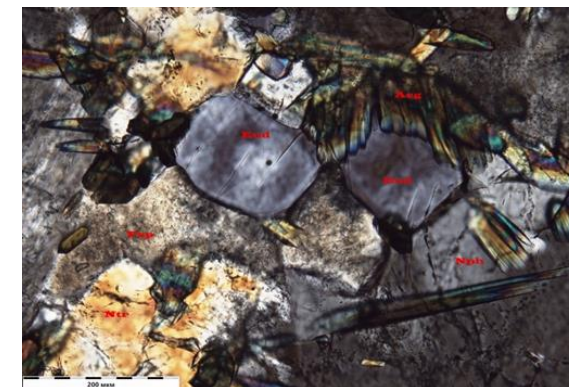
Текстура пород массивная, вкрапленная, реже трахитоидная. Структура разномзернистая - средне-крупнозернистая, мелкозернистая, гипидиоморфнозернистая, агпаитовая, реже пойкилобластовая.



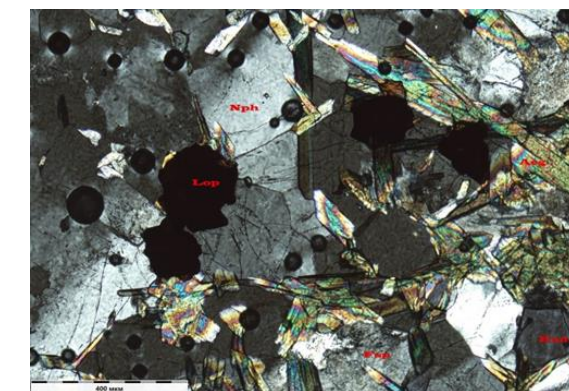
ОБЩИЙ ВИД ПРОБЫ. А. ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ; Б. ПОД УФ СВЕТОМ.

## Химический состав АВЭВ

Компонент/элемент	Содержание, %	Компонент/элемент	Содержание, %
TiO <sub>2</sub>	2,32	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,016
SiO <sub>2</sub>	55,84	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0044
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,68	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>Зобщ</sub>	9,17	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0021
MnO <sub>общ</sub>	0,56	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014
Na <sub>2</sub> O	9,55	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0033
K <sub>2</sub> O	5,18	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0086
SrO	0,38	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0010
BaO	0,062	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0071
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,005	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,001
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,084	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,012
CeO <sub>2</sub>	0,24	ZrO <sub>2</sub>	1,68
PrO <sub>2</sub>	0,027	Th	0,011
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,071	U	0,0022
ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	MTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,25



ЭВДИАЛИТ. ПРОХОДЯЩИЙ СВЕТ, НИКОЛИ СКРЕЩЕНЫ



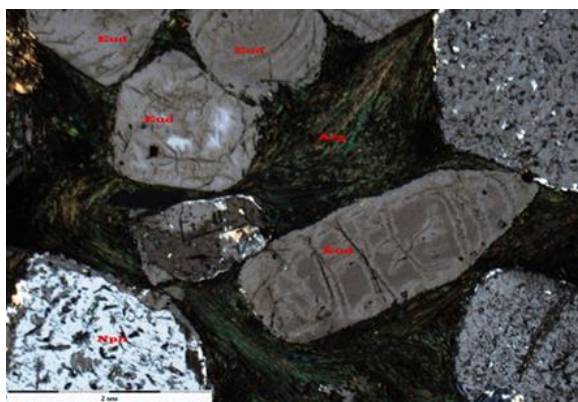
ЛОПАРИТ. ПРОХОДЯЩИЙ СВЕТ, НИКОЛИ СКРЕЩЕНЫ

## Минеральный состав АВЭВ

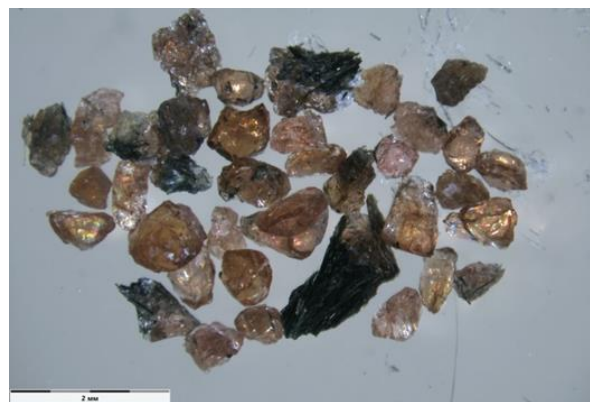
Минерал	Масс. доля, %
Калиевый полевой шпат	34
Нефелин	16
Эгирин	15
<b>Эвдиалит</b>	11
Плагиоклаз	7,5
Рихтерит	7
Натролит	6
Апатит	1
Пирит	0,5
Прочие: <b>лопарит</b> , лампрофиллит, манганоильменит, пирротин, титанит, рамзаит (лоренценит), сфалерит	2
Сумма	100

Содержание эвдиалита в исходной руде составляет 11%. Основные минералы в сростках с эвдиалитом – эгирин, нефелин, полевые шпаты (в том числе плагиоклазом), натролит, содалит. Реже отмечаются сростки с лопаритом.

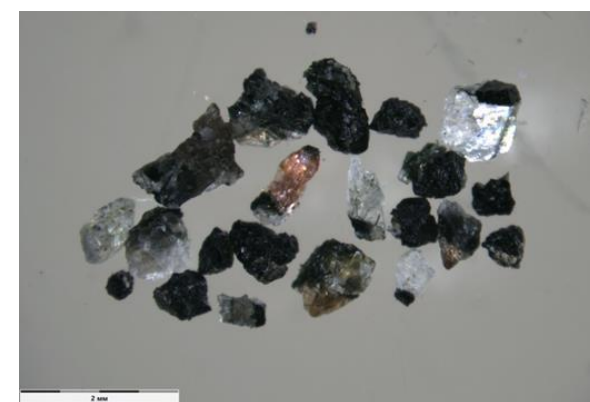
Лопарит содержится в руде в незначительном количестве.



ЭВДИАЛИТ В ШЛИФЕ. ПРОХОДЯЩИЙ СВЕТ, НИКОЛИ СКРЕЩЕНЫ



ЭВДИАЛИТ. СВОБОДНЫЕ ЗЕРНА И СРОСТКИ

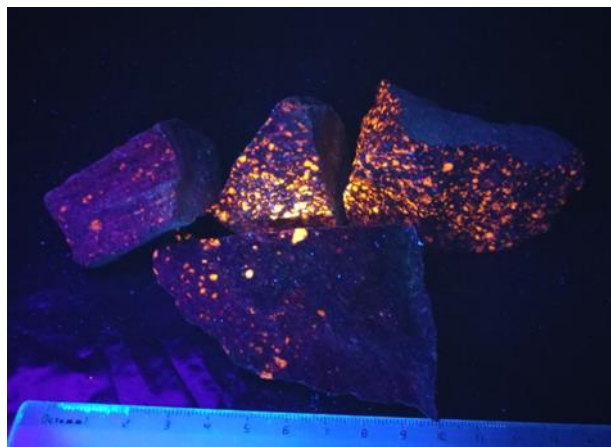


ЛОПАРИТ. СВОБОДНЫЕ ЗЕРНА И СРОСТКИ



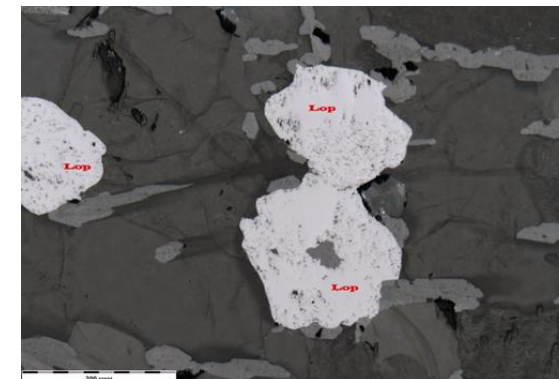
Исследования по изучению вещественного состава и технологических свойств двух проб ЛТП-1 (АВЭВ) и МТП-1 (АВЛ)

Текстура пород массивная, вкрапленная, трахитоидная, реже полосчатая. Структура разномзернистая - мелко-среднезернистая, реже крупнозернистая, гипидиоморфнозернистая, порфировидная, реже пойкилобластовая.

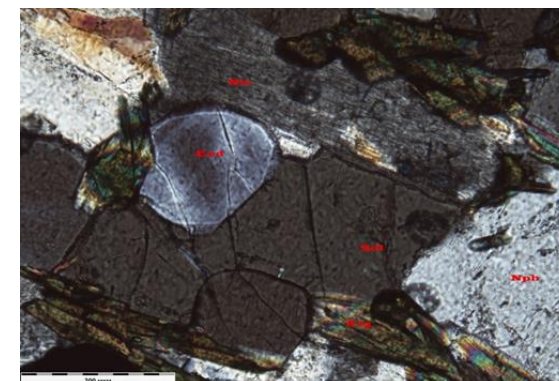


## Химический состав АВЛ

Компонент/элемент	Содержание, %	Компонент/ элемент	Содержание, %
TiO <sub>2</sub>	1,05	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,016
SiO <sub>2</sub>	48,2	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0034
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,65	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0089
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sub>зобц</sub>	4,66	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0014
MnO <sub>общ</sub>	0,2	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0082
Na <sub>2</sub> O	10,55	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0017
K <sub>2</sub> O	4,68	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0043
SrO	0,28	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00071
BaO	0,06	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0039
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,007	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00058
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,039	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,35
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,23	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,025
CeO <sub>2</sub>	0,48	ZrO <sub>2</sub>	0,88
PrO <sub>2</sub>	0,048	Th	0,021
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,12	U	0,0011
ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,9647	MTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,09



ЛОПАРИТ. ОТРАЖЕННЫЙ  
СВЕТ, НИКОЛИ ПАРАЛЛЕЛЬНЫ



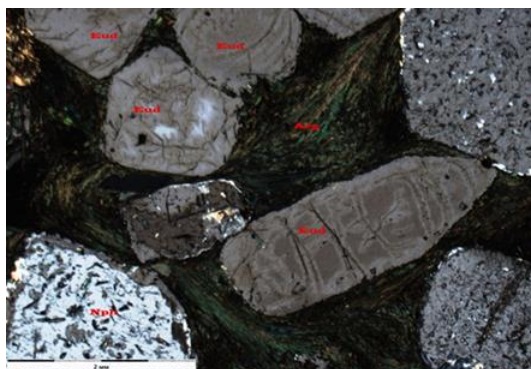
ЭВДИАЛИТ. ПРОХОДЯЩИЙ  
СВЕТ, НИКОЛИ СКРЕЩЕНЫ

## Минеральный состав АВЛ

Минерал	Масс.доля, %
Нефелин	28
Калиевый полевой шпат	20,5
Плагиоклаз	19
Эгирин	11
Авгит	7
Эпидот	3
<b>Лопарит</b>	2,5
<b>Эвдиалит</b>	2
Содалит	2
Амфибол	1,5
Иллит	1,5
Апатит	1
Лампрофиллит	0,5
Прочие: манганоильменит, пирротин, титанит	0,5
Сумма	100

Содержание лопарита в исходной руде составляет 2,5%. Лопарит образует сростки с эгирином, авгитом, нефелином, полевыми шпатами (в том числе плагиоклазом), реже содалитом и эвдиалитом. Бедные сростки представлены сростками полевых шпатов, нефелина, эгирина, авгита и эвдиалита с включениями лопарита.

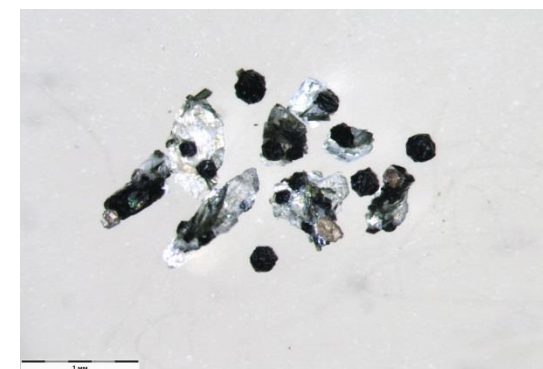
Эвдиалит образует сростки с эгирином, авгитом, нефелином, полевыми шпатами, содалитом. Реже отмечаются сростки с лопаритом.



ЭВДИАЛИТ В ШЛИФЕ. ПРОХОДЯЩИЙ СВЕТ, НИКОЛИ СКРЕЩЕНЫ



ЭВДИАЛИТ. СВОБОДНЫЕ ЗЕРНА И СРОСТКИ



ЛОПАРИТ. СВОБОДНЫЕ ЗЕРНА И СРОСТКИ

Гранулометрический состав пробы АВЭВ

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %					Распределение, %				
		ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-2+1	23,66	0,69	0,213	0,007	0,097	0,024	10,47	11,07	11,75	12,54	9,40
-1+0,5	17,60	1,06	0,357	0,010	0,140	0,042	11,97	13,78	11,98	13,47	12,15
-0,5+0,2	16,09	2,15	0,626	0,019	0,220	0,090	22,19	22,08	20,80	19,34	23,90
-0,2+0,1	9,68	2,44	0,713	0,022	0,250	0,100	15,15	15,14	14,49	13,22	16,00
-0,1+0,044	13,47	1,93	0,554	0,018	0,210	0,074	16,68	16,37	16,50	15,46	16,35
-0,044+0,020	5,26	1,75	0,481	0,017	0,200	0,063	5,90	5,54	6,08	5,75	5,50
-0,020+0	14,24	1,93	0,513	0,019	0,260	0,071	17,63	16,01	18,41	20,23	16,69
Исходная проба	100,00	1,56	0,456	0,015	0,183	0,061	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Распределение типов сростков по классам крупности исходной руды без учета нерудных минералов, %

Тип сростков	Класс крупности, мм				
	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,2	-0,2+0,1	-0,1+0,074
Свободные	2	37	76	96	99
Богатые	6	11	10	3	1
Рядовые	14	10	5	1	0
Бедные	78	42	9	0	0
Сумма	100	100	100	100	100

Четко прослеживается увеличение условно свободных зерен рудного минерала от крупных классов к тонким. В классе крупности -0,1+0,044 мм раскрытие эвдиалита составляет 99%.

Гранулометрический состав пробы АВЛ

Класс крупности, мм	Выход, %	Содержание, %					Распределение, %				
		ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
-2+1	22,63	0,84	0,913	0,023	0,320	0,043	21,17	19,65	19,09	19,60	22,21
-1+0,5	22,97	0,71	0,792	0,023	0,290	0,035	18,16	17,30	19,37	18,03	18,35
-0,5+0,2	14,65	0,49	0,726	0,018	0,240	0,024	8,00	10,11	9,67	9,52	8,03
-0,2+0,1	9,12	0,94	2,460	0,063	0,870	0,048	9,55	21,32	21,07	21,47	9,99
-0,1+0,044	13,61	1,28	1,186	0,030	0,410	0,062	19,40	15,34	14,97	15,10	19,26
-0,044+0,020	5,73	1,23	0,960	0,024	0,340	0,055	7,85	5,23	5,05	5,27	7,20
-0,020+0	11,30	1,26	1,028	0,026	0,360	0,058	15,86	11,05	10,78	11,01	14,97
Исходная проба	100,00	0,90	1,052	0,027	0,369	0,044	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Распределение типов сростков по классам крупности исходной руды без учета нерудных минералов, %

Тип сростков	Класс крупности, мм				
	-2+1	-1+0,5	-0,5+0,2	-0,2+0,1	-0,1+0,044
Свободные	0	0	6	83	87
Богатые	0	1	3	6	5
Рядовые	0	2	11	2	0
Бедные	100	97	80	9	8
Сумма	100	100	100	100	100

Четко прослеживается увеличение условно свободных зерен рудного минерала от крупных классов к тонким. В классе крупности -0,1+0,044 мм раскрытие лопарита составляет 87%.



## ЭВДИАЛИТОВАЯ РУДА

По минеральному составу руда является эвдиалит-натролит-эгирин-нефелин-полевошпатовой.

Главными породообразующими минералами являются полевые шпаты (в том числе плагиоклаз), эгирин, нефелин и натролит. В незначительном количестве отмечаются рихтерит, апатит, пирит, лопарит, содалит.

Содержание эвдиалита в исходной руде составляет 11%. В тонких классах крупности содержание эвдиалита повышается за счет хрупкости и трещиноватости зерен до 13,5%. Максимальное раскрытие эвдиалита наблюдается в классе крупности  $-0,1+0,044$  мм и составляет 99%.

Основные минералы в сростках с эвдиалитом – эгирин, нефелин, полевые шпаты (в том числе плагиоклаз), натролит, содалит. Реже отмечаются сростки с лопаритом.

Лопарит содержится в руде в незначительном количестве. Лопарит образует сростки с эгирином, нефелином, полевыми шпатами (в том числе плагиоклазом), реже содалитом и эвдиалитом.

Максимальное раскрытие лопарита достигается в классе крупности  $-0,1+0,044$  мм и составляет 88%.

Начало раскрытия ценного компонента в классе крупности  $-0,5+0,2$  мм. Полное раскрытие в классе крупности  $-0,1+0,044$  мм

## ЭВДИАЛИТ-ЛОПАРИТОВАЯ РУДА

По минеральному составу руда авгит-эгирин-нефелин-полевошпат-эпидот-лопарит-эвдиалитовая.

Главными породообразующими минералами являются нефелин, эгирин, авгит, полевые шпаты (в том числе плагиоклаз). Лопарит, эвдиалит, содалит, эпидот и апатит отмечаются в меньшем количестве.

Содержание лопарита в исходной руде составляет 2,5%. Лопарит образует сростки с эгирином, авгитом, нефелином, полевыми шпатами (в том числе плагиоклазом), реже содалитом и эвдиалитом. Бедные сростки представлены сростками полевых шпатов, нефелина, эгирина, авгита и эвдиалита с включениями лопарита. В классе крупности  $-0,1+0,044$  мм раскрытие лопарита составляет 87%.

Содержание эвдиалита составляет 2%. Эвдиалит образует сростки с эгирином, авгитом, нефелином, полевыми шпатами, содалитом. Реже отмечаются сростки с лопаритом. В классе крупности  $-0,1+0,044$  мм раскрытие эвдиалита составляет 96%.

Начало раскрытия ценного компонента в классе крупности  $-0,2+0,1$  мм. Полное раскрытие в классе крупности  $-0,1+0,044$  мм

Гравитационное и магнитное фракционирование

Результаты магнитного фракционирования классов крупности пробы АВЭВ

Продукт	Выход, %		Содержание, %					Извлечение от опер., %					Извлечение от исх., %				
	от опер.	от исх.	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Класс крупности -2+1 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	0,63	0,15	0,72	0,173	0,006	0,120	0,019	0,60	0,41	0,47	0,59	0,46	0,06	0,05	0,06	0,07	0,04
М.Ф. 0,8 Тл	13,08	3,09	1,19	0,289	0,009	0,160	0,038	20,53	14,29	15,45	16,21	18,83	2,15	1,58	1,82	2,03	1,77
М.Ф. 1,2 Тл	23,73	5,61	1,41	0,401	0,012	0,200	0,051	44,15	35,99	35,79	36,76	45,85	4,62	3,99	4,21	4,61	4,31
М.Ф. 1,6 Тл	17,19	4,07	0,95	0,386	0,011	0,180	0,034	21,55	25,05	23,77	23,97	22,15	2,26	2,77	2,79	3,00	2,08
Н.М.Ф.	45,36	10,73	0,22	0,142	0,004	0,064	0,007	13,16	24,25	24,51	22,48	12,72	1,38	2,69	2,88	2,82	1,20
Исходный класс -2+1 мм	100,00	23,66	0,76	0,265	0,008	0,129	0,026	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	10,47	11,07	11,75	12,54	9,40
Класс крупности -1+0,5 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	5,54	0,98	0,95	0,006	0,100	0,015	3,72	2,08	2,84	3,32	2,03	0,44	0,29	0,34	0,45	0,25	
М.Ф. 0,8 Тл	16,76		0,070	0,016	0,230	0,067	29,30	20,54	24,12	23,09	27,45	3,51	2,83	2,89	3,11	3,34	
М.Ф. 1,2 Тл	19,46		1,06	0,022	0,340	0,120	53,33	44,68	38,50	39,62	57,07	6,38	6,16	4,61	5,34	6,94	
М.Ф. 1,6 Тл	11,79			0,008	0,300	0,038	10,58	21,45	19,08	21,18	10,95	1,27	2,96	2,29	2,85	1,33	
Н.М.Ф.	46,45			0,046	0,002	0,002	3,07	11,25	15,46	12,79	2,50	0,37	1,55	1,85	1,72	0,30	
Исходный класс -1+0,5 мм	100,00	45	0,42	0,069	0,167	0,041	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	11,97	13,78	11,98	13,47	12,15	
Класс крупности -0,5+0,2 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	9,03	1,63	5,93	0,150	0,008	1,70	0,94	6,04	4,85	0,73	0,38	0,21	1,26	0,94	0,17		
М.Ф. 0,8 Тл	16,36	2,66	7,11	0,440	0,260	43,44	31,01	27,34	25,76	45,16	9,64	6,85	5,69	4,98	10,80		
М.Ф. 1,2 Тл	16,51			0,720	0,300	52,58	46,88	42,33	42,55	52,61	11,67	10,35	8,80	8,23	12,57		
М.Ф. 1,6 Тл	8,57	1,38	0,35	0,650	0,013	1,34	16,58	17,66	19,93	1,18	0,30	3,66	3,67	3,85	0,28		
Н.М.Ф.	49,55	7,97	0,042	0,039	0,001	0,93	4,59	6,62	6,91	0,32	0,21	1,01	1,38	1,34	0,08		
Исходный класс -0,5+0,2 мм	100,00	6,09	2,23	0,279	0,094	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	22,19	22,08	20,80	19,34	23,90	
Класс крупности -0,2+0,1 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	1,00			0,031	0,005	2,00	0,52	0,81	1,18	0,50	0,30	0,08	0,12	0,16	0,08		
М.Ф. 0,8 Тл	2,00			0,230	0,120	25,07	17,86	17,76	16,91	24,62	3,80	2,70	2,57	2,24	3,94		
М.Ф. 1,2 Тл	1,00		0,46	0,710	0,460	67,92	48,18	41,92	38,64	69,87	10,29	7,29	6,07	5,11	11,18		
М.Ф. 1,6 Тл	1,00			0,160	0,160	3,29	7,00	6,11	8,25	3,41	0,50	1,06	0,89	1,09	0,55		
Н.М.Ф.	5,00		3,00	0,003	0,003	1,72	26,44	33,40	35,01	1,59	0,26	4,00	4,84	4,63	0,26		
Исходный класс -0,2+0,1 мм	10,00		10,98	0,100	0,100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	15,15	15,14	14,49	13,22	16,00	
Класс крупности -0,1+0,044 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	7,44			0,011	0,005	1,88	0,35	0,46	0,34	0,37	0,31	0,06	0,08	0,05	0,06		
М.Ф. 0,8 Тл	37,02			0,049	0,049	12,92	5,26	6,76	7,43	5,89	2,16	0,86	1,11	1,15	0,96		
М.Ф. 1,2 Тл	9,92			0,710	0,710	66,66	38,75	32,19	28,87	56,58	8,45	6,34	5,31	4,46	9,25		
М.Ф. 1,6 Тл	4,39			0,000	0,460	18,99	16,02	14,39	26,77	4,06	3,11	2,64	2,22	4,38			
Н.М.Ф.	41,22			0,019	0,019	36,64	44,57	48,98	10,38	1,70	6,00	7,35	7,57	1,70			
Исходный класс -0,1+0,044 мм	100,00			0,075	0,075	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	16,68	16,37	16,50	15,46	16,35		
Исходный класс -44+0 мкм				0,018	0,018						23,54	21,56	24,49	25,98	22,19		
Исходная проба		100,00		0,014	0,014						100,00	100,00	100,00	100,00	100,00		
Итого по классам																	
Σ М.Ф. 0,5 Тл		4,61	0,72	0,070	0,006	0,082							1,50	0,68	1,85	1,67	0,61
Σ М.Ф. 0,8 Тл		15,65	2,18	0,459	0,013	0,194							21,25	14,82	14,08	13,51	20,80
Σ М.Ф. 1,2 Тл		14,50	4,58	1,134	0,028	0,427							41,42	34,13	29,00	27,74	44,25
Σ М.Ф. 1,6 Тл		8,32	1,63	0,799	0,021	0,354	0,06						8,38	13,56	12,28	13,03	8,62
Σ Н.М.Ф.		37,41	0,17	0,197	0,007	0,105	0,006						3,92	15,25	18,30	18,08	3,53
Отсев		19,50	1,88	0,504	0,018	0,244	0,069						23,54	21,56	24,49	25,98	22,19
Исходная проба		100,00	1,60	0,478	0,014	0,212	0,062						100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Результаты магнитного фракционирования классов крупности пробы АВЛ

Продукт	Выход, %		Содержание, %					Извлечение от опер., %					Извлечение от исх., %				
	от опер.	от исх.	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Класс крупности -2+1 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	0,56	0,13	0,14	0,092	0,003	0,042	0,007	0,10	0,06	0,07	0,07	0,09	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02
М.Ф. 0,8 Тл	0,77	0,17	1,01	0,835	0,022	0,340	0,046	0,96	0,77	0,80	0,78	0,87	0,20	0,15	0,15	0,15	0,19
М.Ф. 1,2 Тл	18,39	4,16	1,05	0,975	0,025	0,380	0,052	23,73	21,39	21,57	20,78	23,60	5,02	4,20	4,12	4,07	5,24
М.Ф. 1,6 Тл	36,00	8,15	0,95	0,968	0,025	0,400	0,048	42,03	41,59	42,24	42,83	42,65	8,90	8,17	8,06	8,39	9,47
Н.М.Ф.	44,27	10,02	0,61	0,685	0,017	0,270	0,030	33,19	36,19	35,32	35,55	32,78	7,03	7,11	6,74	6,97	7,28
Исходный класс -2+1 мм	100,00	22,63	0,81	0,838	0,021	0,336	0,041	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	21,17	19,65	19,09	19,60	22,21
Класс крупности -1+0,5 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	0,50	0,11	0,34	0,185	0,005	0,095	0,012	0,26	0,12	0,14	0,16	0,18	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03
М.Ф. 0,8 Тл	8,65	1,99	0,95	0,972	0,023	0,390	0,044	12,41	11,15	10,75	11,24	11,54	2,25	1,93	2,08	2,03	2,12
М.Ф. 1,2 Тл	43,93	10,09	0,87	0,951	0,024	0,380	0,044	57,72	55,39	57,02	55,66	58,62	10,48	9,58	11,05	10,03	10,76
М.Ф. 1,6 Тл	20,99	4,82	0,65	0,787	0,019	0,310	0,033	20,61	21,90	21,57	21,70	21,01	3,74	3,79	4,18	3,91	3,85
Н.М.Ф.	25,94	5,96	0,23	0,332	0,008	0,130	0,011	9,01	11,44	10,52	11,24	8,65	1,64	1,98	2,04	2,03	1,59
Исходный класс -1+0,5 мм	100,00	22,97	0,66	0,754	0,018	0,300	0,033	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	18,16	17,30	19,37	18,03	18,35
Класс крупности -0,5+0,2 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	1,27	0,19	0,58	0,152	0,004	0,073	0,012	1,60	0,29	0,32	0,35	0,66	0,13	0,03	0,03	0,03	0,05
М.Ф. 0,8 Тл	11,54	1,69	1,09	0,791	0,021	0,310	0,052	27,25	13,92	14,91	13,65	26,09	2,18	1,41	1,44	1,30	2,09
М.Ф. 1,2 Тл	21,88	3,21	0,890	0,023	0,360	0,047	43,16	29,73	30,99	30,07	44,73	3,45	3,00	3,00	2,86	3,59	3,59
М.Ф. 1,6 Тл	14,50	2,140	0,028	0,450	0,020	0,140	0,020	12,57	25,23	25,00	24,91	12,61	1,01	2,55	2,42	2,37	1,01
Н.М.Ф.	50,81	0,009	0,160	0,007	0,152	0,007	15,42	30,83	28,78	31,02	15,91	1,23	3,12	2,78	2,95	1,28	1,28
Исходный класс -0,5+0,2 мм	100,00	0,13	0,55	0,152	0,016	0,262	0,023	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	8,00	10,11	9,67	9,52	8,03
Класс крупности -0,2+0,1 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	1,47	0,92	1,19	0,350	0,004	0,068	0,010	0,90	0,09	0,09	0,10	0,30	0,09	0,02	0,02	0,02	0,03
М.Ф. 0,8 Тл	10,10	1,11	4,95	2,583	0,009	0,130	0,048	13,92	1,48	1,51	1,41	10,07	1,33	0,31	0,32	0,30	1,01
М.Ф. 1,2 Тл	1,10	0,36	1,38	5,253	0,004	0,980	0,280	69,66	13,11	15,29	12,82	70,70	6,65	2,79	3,22	2,75	7,06
М.Ф. 1,6 Тл	6,60	0,11	2,541	0,077	2,030	0,077	6,31	8,65	9,39	8,62	6,31	0,60	1,85	1,98	1,85	0,63	0,63
Н.М.Ф.	9,12	0,86	2,398	0,008	0,990	0,008	9,21	76,68	73,73	77,04	12,62	0,88	16,35	15,53	16,54	16,54	1,26
Исходный класс -0,2+0,1 мм	100,00	0,930	0,048	100,00	0,930	0,048	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	9,55	21,32	21,07	21,47	9,99
Класс крупности -0,1+0,044 мм																	
М.Ф. 0,5 Тл	0,20	0,51	0,162	0,068	0,011	0,62	0,20	0,19	0,21	0,26	0,12	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05
М.Ф. 0,8 Тл	0,032	0,013	9,89	0,032	0,013	9,89	1,43	1,35	1,38	4,15	1,92	0,22	0,20	0,21	0,20	0,21	0,80
М.Ф. 1,2 Тл	2,68	0,60	0,086	0,700	0,380	47,03	12,94	14,52	12,38	49,73	9,13	1,98	2,17	1,87	1,87	9,58	9,58
М.Ф. 1,6 Тл	1,10	6,96	1,898	0,970	0,420	25,71	9,52	9,77	8,58	27,48	4,99	1,46	1,46	1,30	1,30	5,29	5,29
Н.М.Ф.	0,55	7,61	2,793	0,530	0,017	16,75	75,92	74,17	77,45	18,38	3,25	11,65	11,10	11,69	11,69	3,54	3,54
Исходный класс -0,1+0,044 мм	100,00	9,08	0,30	1,349	0,457	0,062	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,40	15,34	14,97	15,10	19,26
Исходный класс -44+0 мкм	13,61	1,20	1,185	0,353	0,057	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	23,72	16,28	15,82	16,29	22,16
Исходная проба	100,00	1,25	0,025	0,025	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Сводные данные																	
Σ М.Ф. 0,5 Тл	0,75	0,75	0,149	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,40	0,11	0,12	0,13	0,19
Σ М.Ф. 0,8 Тл	7,45	0,89	0,532	0,013	0,013	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	0,210	7,88	4,02	4,20	3,99	6,21
Σ М.Ф. 1,2 Тл	19,66	1,49	1,091	0,029	0,029	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	34,74	21,57	23,56	21,59	36,23
Σ М.Ф. 1,6 Тл	16,00	1,02	1,095	0,028	0,028	0,436	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	19,24	17,81	18,10	17,82	20,26
Σ Н.М.Ф.	39,09	0,31	1,044	0,025	0,025	0,410	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	14,02	40,20	38,20	40,18	14,95
Отсев	17,03	1,25	1,005	0,025	0,025	0,353	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	0,057	23,72	16,28	15,82	16,29	22,16
Исходная проба	100,00	0,86	1,010	0,025	0,025	0,390	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

## Результаты гравитационного фракционирования классов крупности пробы АВЛ

Продукт	Выход, %		Содержание, %					Извлечение от опер., %					Извлечение от иск., %				
	от опер.	от иск.	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Класс крупности -2+1 мм																	
Тяж. Фр.	43,52	9,85	0,50	1,316	0,030	1,040	0,050	64,72	65,65	65,83	53,02	53,12	13,70	12,90	12,56	10,39	11,80
Легк. Фр.	56,48	12,78	0,21	0,531	0,012	0,710	0,034	35,28	34,35	34,17	46,98	46,88	7,47	6,75	6,52	9,21	10,41
Исходный класс -2+1 мм	100,00	22,63	0,34	0,872	0,020	0,854	0,041	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	21,17	19,65	19,09	19,60	22,21
Класс крупности -1+0,5 мм																	
Тяж. Фр.	33,02	7,58	0,58	1,491	0,033	0,980	0,046	64,12	65,22	62,17	46,76	45,65	11,65	11,28	12,04	8,43	8,38
Легк. Фр.	66,98	15,38	0,160	0,392	0,010	0,550	0,027	35,88	34,78	37,83	53,24	54,35	6,52	6,02	7,33	9,60	9,97
Исходный класс -1+0,5 мм	100,00	22,97	0,30	0,755	0,018	0,692	0,033	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	18,16	17,30	19,37	18,03	18,35
Класс крупности -0,5+0,2 мм																	
Тяж. Фр.	21,00	3,08	0,89	2,371	0,056	1,200	0,057	73,57	74,65	74,86	49,92	50,25	5,88	7,54	7,24	4,75	4,03
Легк. Фр.	79,00	11,5	0,085	0,214	0,005	0,320	0,015	26,43	25,35	25,14	50,08	49,75	2,11	2,56	2,43	4,77	3,99
Исходный класс -0,5+0,2 мм	100,00	14,5	0,25	0,667	0,016	0,505	0,024	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	8,00	10,11	9,67	9,52	8,03
Класс крупности -0,2+0,1 мм																	
Тяж. Фр.	23,81	2,1	3,89	10,279	0,240	2,820	0,170	97,44	97,84	97,40	81,50	85,38	9,30	20,86	20,52	17,50	8,53
Легк. Фр.	76,19	6,95	0,032	0,071	0,002	0,200	0,009	2,56	2,16	2,60	18,50	14,62	0,24	0,46	0,55	3,97	1,46
Исходный класс -0,2+0,1 мм	100,00	9,12	0,95	2,501	0,059	0,000	0,047	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	9,55	21,32	21,07	21,47	9,99
Класс крупности -0,1+0,044 мм																	
Тяж. Фр.	40,00	5,44	1,25	3,293	0,052	2,690	0,052	93,28	92,86	93,10	75,88	76,19	18,10	14,25	13,94	11,46	14,67
Легк. Фр.	60,00	8,16	0,06	0,105	0,004	0,570	0,048	6,72	7,14	6,90	24,12	23,81	1,30	1,09	1,03	3,64	4,59
Исходный класс -0,1+0,044 мм	100,00	13,61	0,54	1,418	0,035	1,418	0,063	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	19,40	15,34	14,97	15,10	19,26
Исходный класс -44+0 мкм		17,03	1,25	1,005	0,025	0,353	0,057						23,72	16,28	15,82	16,29	22,16
Исходная проба		100,00	0,55	1,061	0,025	0,754	0,043						100,00	100,00	100,00	100,00	100,00



## ЭВДИАЛИТОВАЯ РУДА

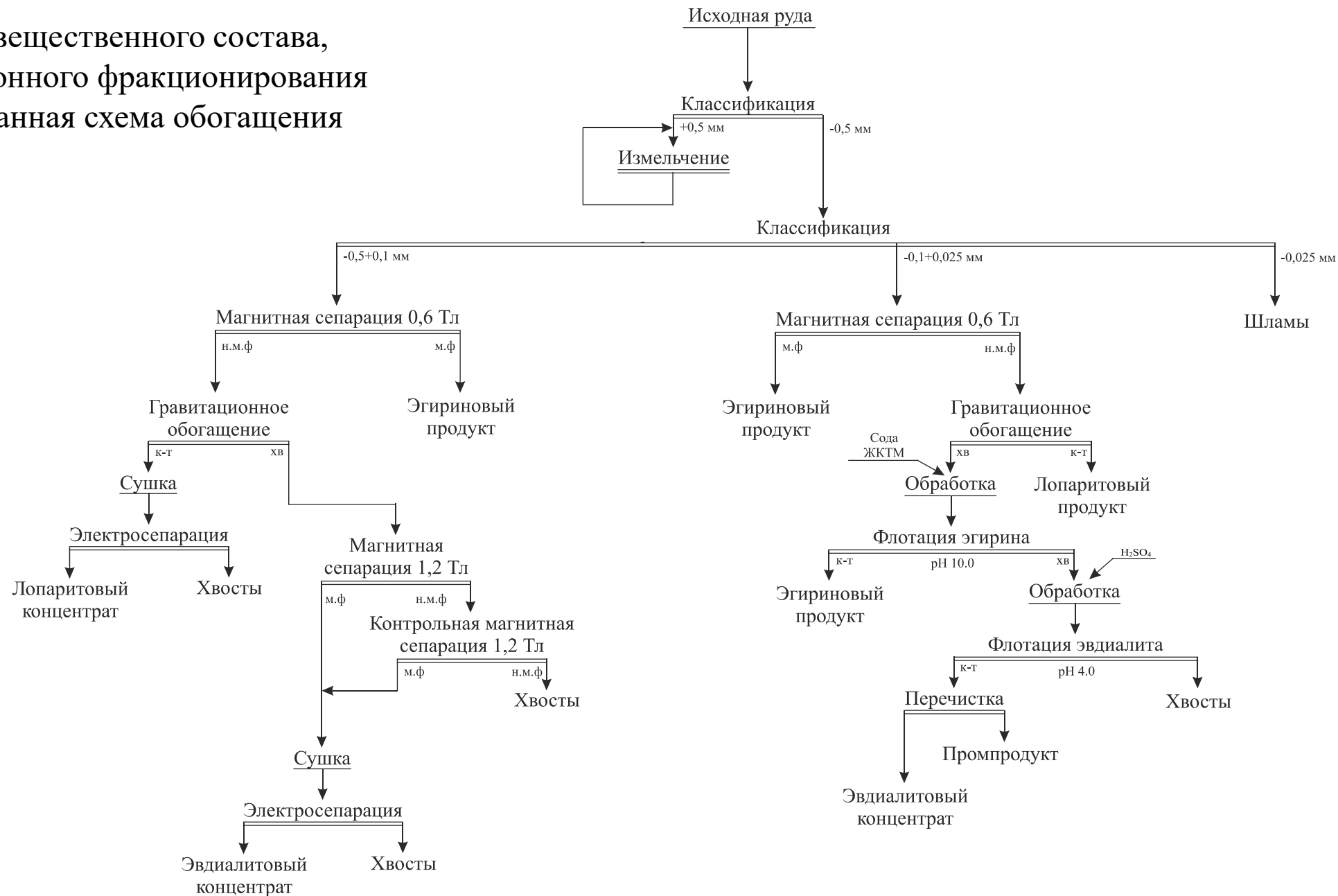
Основываясь на полученных данных магнитного фракционирования, предложено выделять магнитную фракцию (0,5 Тл), как источник получения эгиринового продукта, магнитную фракцию (0,8-1,2 Тл), как источник получения эвдиалитового продукта и хвостовой продукт, состоящий из магнитной фракции (1,6 Тл), немагнитной фракции и отсева  $-0,044+0$  мм. Содержание  $ZrO_2$ ,  $TR_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$  и  $Y_2O_3$  в суммарном продукте (0,8-1,2) Тл составило 3,33; 0,7835; 0,0201; 0,306 и 0,13%, соответственно, извлечение – 62,67; 48,95; 43,08; 41,25 и 65,06%, соответственно. Основное извлечение  $TR_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  приходится на слабомагнитный и немагнитный материал (хвостовой продукт), в суммарном продукте почти половина объема извлекаемых ценных компонентов связана с тонким классом крупности  $-0,044+0$  мм, извлечение  $ZrO_2$ ,  $\Sigma R_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$  от исходного – 21,56; 24,29; 25,98%, соответственно.

## ЭВДИАЛИТ-ЛОПАРИТОВАЯ РУДА

Сводные данные по магнитному фракционированию пробы АВЛ указывают на наличие непродуктивной фракции – магнитная фракция (0,5 Тл), содержание и извлечение ценных компонентов в которой минимально.  $ZrO_2$  и  $Y_2O_3$  концентрируются в магнитных фракциях (1,2 и 1,6 Тл), а также в отсева.  $TR_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  достаточно равномерно распределяется по всем продуктам магнитного фракционирования, стоит отметить повышенные содержания  $TR_2O_3$ ,  $Ta_2O_5$  и  $Nb_2O_5$  в магнитной фракции (1,6 Тл) в тонких классах крупности  $-2+0,1$  и  $-0,1+0,044$  мм.

В материале тяжелой фракции наблюдаются как свободные зерна эвдиалита, так и его сростки с порообразующими минералами. Концентрируются свободные зерна эвдиалита в классе крупности  $-0,2+0,1$  мм (38,26%). Меньшее их количество отмечается в классе крупности  $-0,1+0,044$  мм (25,26%) и  $-0,5+0,2$  мм (11,92%). Максимальное содержание свободных зерен лопарита отмечается в классе крупности  $-0,2+0,1$  мм и составляет 18,07%. Меньшее количество наблюдается в классах крупности  $-0,1+0,044$  мм (7,98%) и  $-0,5+0,2$  мм (6,44%). В более крупных классах ситового анализа их содержание незначительно.

На основании изучения вещественного состава, магнитного и гравитационного фракционирования предложена комбинированная схема обогащения пробы АВЭВ



Эгириновый продукт  
-0,5+0,1 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	8,94
Лопарит	0,26
Эгирин	45,16
Породообразующие+сростки+ амфибол	41,14



Лопаритовый к-т  
-0,5+0,1 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	3,74
Лопарит	89,46
Эгирин	2,42
Сульфиды	1,45



Эвдиалитовый к-т  
-0,5+0,1 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	42,99
Лопарит	2,10
Эгирин	16,14
Породообразующие+сростки+ амфибол	33,79



Хвосты ММС  
-0,5+0,1 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	2,5
Лопарит	0,5
Эгирин	3
Нефелин +плагиоклаз + натролит	25,5
Калиевый полевой шпат	61

Извлечение от исх., %				
ZrO <sub>2</sub>	ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8,12	6,89	5,47	8,46	7,82
0,02	5,47	5,15	5,58	0,04
7,44	6,56	6,19	6,05	7,86
13,58	13,02	11,15	12,71	12,81

Эгириновый продукт  
-0,1+0,025 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	2
Лопарит	-
Эгирин	22
Амфибол+ породообразующие	67

Лопаритовый к-т  
-0,1+0,025 мм:

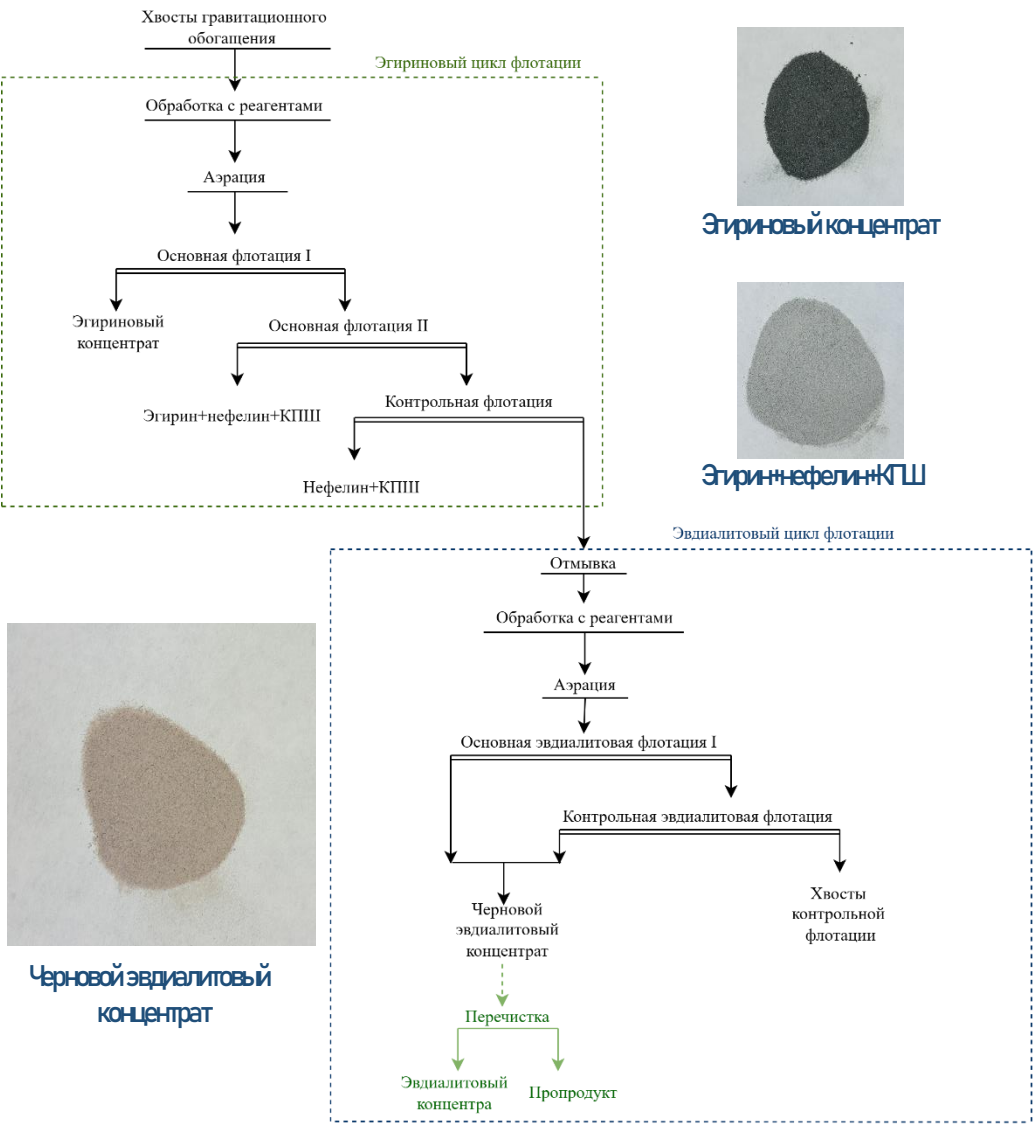
Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	0,5
Лопарит	56
Эгирин	3
Амфибол+ плагиоклаз+ тремолит	35

Отсев -0,025+0 мм:

Минерал	Масс. доля, %
Эвдиалит	20
Лопарит	1
Эгирин	17
Плагиоклаз+ тремолит+ натролит	24
Калиевый полевой шпат	35

Продукт	Выход, %	Содержание Li2O, %					Извлечение от опер., %					Извлечение от исх., %				
		ZrO <sub>2</sub>	ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ΣR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Эгириновый продукт	7,27	1,05	0,223	0,008	0,099	0,028	14,45	10,22	14,49	10,62	10,24	4,39	3,25	4,41	3,37	3,11
Лопаритовый к-т	0,10	0,22	21,560	0,630	10,470	0,013	0,05	14,54	17,21	16,61	0,07	0,01	4,15	4,48	4,72	0,02
Отсев	21,00	1,59	0,367	0,012	0,230	0,045						21,65	15,09	21,65	15,09	21,65





Принципиальная схема флотационного обогащения

Химический состав хвостов гравитационного обогащения  
(питание флотации)

Компонент/элемент	Содержание, %	Компонент/элемент	Содержание, %
Sc	<0,005	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0020
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,060	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,012
ZrO <sub>2</sub>	1,52	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0025
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0074
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,072	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0010
CeO <sub>2</sub>	0,15	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0056
PrO <sub>2</sub>	0,019	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00077
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,053	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0098
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,011	Th	0,0080
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,0035	U	0,0018
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,010	ΣR2O3	0,4098

Основные флотационные реагенты:

Эгириновый цикл флотации: кальцинированная сода, жирные кислоты таллового масла;

Эвдиалитовый цикл флотации: серная кислота, щавелевая кислота, натрий гексаметафосфат; жирные кислоты таллового масла.

На данном этапе исследований получили черновой эвдиалитовый концентрат с содержанием ZrO<sub>2</sub> – 8,21%\* в перерасчете на эвдиалит ~ 73,4% (извлечение ~ 77,5% от питания флотации). Исследования продолжаются с целью получения готового эвдиалитового концентрата.

\* Данные по содержанию ZrO<sub>2</sub> представлены по результатам PCA.

## ФАКТОРЫ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

- **Крупность материала**

баланс между раскрытием и переизмельчением

- **Необходимость удаления эгирина в голове процесса**

повышение селективности последующих процессов

- **Необходимость ведения гравитационного процесса с целью получения лопарита**

наличие и массовая доля лопарита в исходной руде

- **Необходимость флотационного обогащения**

для получения кондиционного эвдиалитового концентрата

- **Контроль шламов**

большие потери со шламами

ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC-RESEARCH INSTITUTE OF MINERAL RESOURCES NAMED AFTER  
N.M.FEDOROVSKY  
FEDERAL STATE BUDGETARY INSTITUTION

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

---