

Appendix A. Electron microprobe compositions for mosandrite, cerite, and kainosite.

Sample	CMN F92-23	Bastnas	Long Lake		CMN F92-23	Bastnas	Long Lake
Mineral	Mosandrite	Cerite	Kainosite		Mosandrite	Cerite	Kainosite
# Analyses	5	4	5				
Nb ₂ O ₅ (wt.%)	1.61	0.06	0.03	Nb ⁵⁺ (apfu)	0.10	0.01	0.00
Ta ₂ O ₅	0.05	0.00	0.00	Ta ⁵⁺	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.02	0.01	0.05	P ⁵⁺	0.00	0.00	0.01
SiO ₂	29.76	21.20	34.45	Si ⁴⁺	4.00	6.81	4.07
TiO ₂	8.29	0.00	0.00	Ti ⁴⁺	0.84	0.00	0.00
ZrO ₂	0.44	0.00	0.01	Zr ⁴⁺	0.03	0.00	0.00
UO ₂	0.00	0.00	0.00	U ⁴⁺	0.00	0.00	0.00
ThO ₂	0.10	0.00	0.00	Th ⁴⁺	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.06	0.01	0.00	Al ³⁺	0.01	0.00	0.00
La ₂ O ₃	1.47	13.78	0.00	La ³⁺	0.07	1.63	0.00
Ce ₂ O ₃	4.02	32.69	0.51	Ce ³⁺	0.20	3.84	0.02
Pr ₂ O ₃	0.54	4.23	0.17	Pr ³⁺	0.03	0.50	0.01
Nd ₂ O ₃	2.51	14.74	2.49	Nd ³⁺	0.12	1.69	0.11
Sm ₂ O ₃	0.74	1.94	2.48	Sm ³⁺	0.03	0.22	0.10
Eu ₂ O ₃	0.09	0.07	0.22	Eu ³⁺	0.00	0.01	0.01
Gd ₂ O ₃	0.82	0.77	3.44	Gd ³⁺	0.04	0.08	0.14
Tb ₂ O ₃	0.14	0.00	0.45	Tb ³⁺	0.01	0.00	0.02
Dy ₂ O ₃	1.05	0.08	3.38	Dy ³⁺	0.05	0.01	0.13
Ho ₂ O ₃	0.21	0.00	0.51	Ho ³⁺	0.01	0.00	0.02
Er ₂ O ₃	0.57	0.00	1.56	Er ³⁺	0.02	0.00	0.06
Tm ₂ O ₃	0.05	0.00	0.11	Tm ³⁺	0.00	0.00	0.00
Yb ₂ O ₃	0.32	0.00	1.55	Yb ³⁺	0.01	0.00	0.06
Lu ₂ O ₃	0.00	0.00	0.09	Lu ³⁺	0.00	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	5.96	0.91	19.97	Y ³⁺	0.43	0.16	1.26
SrO	0.09	0.00	0.00	Sr ²⁺	0.01	0.00	0.00
MgO	0.03	1.46	0.00	Mg ²⁺	0.01	0.70	0.00
FeO	0.05	1.00	0.00	Fe ²⁺	0.01	0.27	0.00
MnO	0.05	0.06	0.00	Mn ²⁺	0.01	0.02	0.00
CaO	26.68	1.94	15.50	Ca ²⁺	3.84	0.67	1.96
Na ₂ O	6.39	0.00	0.00	Na ⁺	1.67	0.00	0.00
Cl	0.02	0.08	0.00	Cl ⁻	0.01	0.04	0.00
F	4.63	1.00	0.00	F ⁻	1.97	1.02	0.00
H ₂ O*	4.49	2.77	2.54	H ⁺	4.03	5.94	2.00
CO ₂ *			6.20	C ⁴⁺	NA	NA	1.00
O=CL	0.00	-0.02	0.00	O ²⁻	17.26	29.94	16.00
O=F	-1.95	-0.42	0.00				
TOTAL	99.30	98.36	95.71				
REE ₂ O ₃	18.49	69.21	36.93				

*H₂O and CO₂ determined by stoichiometry and formulae calculations can be found in text. K and Ba were sought but not detected.

Appendix B. Electron microprobe compositions for zircon.

Sample	Green River	Mudtank	North Burgess	Mt Malosa	St Peters Dome		Green River	Mudtank	North Burgess	Mt Malosa	St Peters Dome
# Analyses	7	5	5	5	5						
Nb ₂ O ₅ (wt.%)	0.18	0.16	0.18	1.53	0.19	Nb ⁵⁺ (apfu)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
P ₂ O ₅	0.04	0.04	0.04	0.24	0.10	P ⁵⁺	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
SiO ₂	31.93	32.11	32.21	30.65	31.70	Si ⁴⁺	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	Ti ⁴⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ZrO ₂	65.10	65.69	65.95	58.01	63.70	Zr ⁴⁺	0.99	1.00	1.00	0.92	0.98
UO ₂	0.08	0.00	0.02	0.00	0.00	U ⁴⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ThO ₂	0.56	0.02	0.00	0.29	0.03	Th ⁴⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Al ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
La ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	La ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ce ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.24	0.00	Ce ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	Pr ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Nd ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	Nd ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Sm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.42	0.00	Sm ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Eu ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	Eu ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gd ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	Gd ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tb ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Tb ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dy ₂ O ₃	0.01	0.00	0.01	0.29	0.01	Dy ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ho ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	Ho ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Er ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.16	0.01	Er ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tm ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	Tm ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yb ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.30	0.04	Yb ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lu ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Lu ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	0.27	0.02	0.01	2.39	0.03	Y ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
SrO	0.15	0.15	0.15	0.12	0.13	Sr ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MgO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Mg ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	Fe ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MnO	0.00	0.01	0.01	0.05	0.02	Mn ²⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	Na ⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	Cl ⁻	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.01	0.03	0.05	0.04	0.03	F ⁻	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
O=CL	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	O ²⁻	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
O=F	0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01						
TOTAL	98.37	98.24	98.63	95.82	96.04						
REE ₂ O ₃	0.32	0.04	0.04	4.83	0.10						

*Formula contents on the basis of four anions pfu. Ta, Ca, K, and Ba were sought but not detected.

Appendix C. Electron microprobe compositions for eudialyte samples (LREE group).

Sample	CMNOC 2045	CMNOC 476	CMN 88- 79	CMN 72- 24	CMNOC 37104		CMNOC 2045	CMNOC 476	CMN 88- 79	CMN 72-24	CMNOC 37104
# Analyses	5	8	5	5	5						
Nb ₂ O ₅ (wt.%)	1.80	1.95	2.24	2.48	1.96	Nb ⁵⁺ (apfu)	0.43	0.43	0.51	0.56	0.43
Ta ₂ O ₅	0.14	0.03	0.01	0.00	0.00	Ta ⁵⁺	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01	P ⁵⁺	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00
SiO ₂	48.03	51.97	49.98	51.31	53.21	Si ⁴⁺	25.60	25.57	25.34	25.57	25.67
TiO ₂	0.03	0.07	0.10	0.32	0.29	Ti ⁴⁺	0.01	0.03	0.04	0.12	0.11
ZrO ₂	10.86	11.96	12.27	11.19	11.73	Zr ⁴⁺	2.82	2.87	3.03	2.72	2.76
UO ₂	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	U ⁴⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
ThO ₂	0.05	0.03	0.14	0.11	0.09	Th ⁴⁺	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.17	0.17	0.13	0.06	0.06	Al ³⁺	0.11	0.10	0.08	0.04	0.03
La ₂ O ₃	1.16	0.76	1.48	1.01	1.05	La ³⁺	0.23	0.14	0.28	0.19	0.19
Ce ₂ O ₃	2.04	1.32	2.93	1.93	1.88	Ce ³⁺	0.40	0.24	0.54	0.35	0.33
Pr ₂ O ₃	0.19	0.12	0.30	0.17	0.15	Pr ³⁺	0.04	0.02	0.06	0.03	0.03
Nd ₂ O ₃	0.58	0.39	0.92	0.59	0.52	Nd ³⁺	0.11	0.07	0.17	0.11	0.09
Sm ₂ O ₃	0.10	0.06	0.16	0.08	0.07	Sm ³⁺	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01
Eu ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	Eu ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Gd ₂ O ₃	0.07	0.05	0.12	0.05	0.05	Gd ³⁺	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Tb ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	Tb ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Dy ₂ O ₃	0.20	0.05	0.04	0.02	0.00	Dy ³⁺	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00
Ho ₂ O ₃	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	Ho ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Er ₂ O ₃	0.08	0.02	0.02	0.01	0.01	Er ³⁺	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Tm ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Tm ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Yb ₂ O ₃	0.04	0.01	0.01	0.01	0.00	Yb ³⁺	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Lu ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Lu ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	0.55	0.35	0.62	0.35	0.34	Y ³⁺	0.16	0.09	0.17	0.09	0.09
SrO	0.08	0.27	0.29	0.32	0.26	Sr ²⁺	0.03	0.08	0.09	0.09	0.07
MgO	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	Mg ²⁺	0.00	0.02	0.02	0.02	0.01
FeO	6.55	3.88	2.93	2.62	2.47	Fe ²⁺	2.92	1.60	1.24	1.09	1.00
MnO	2.67	3.87	7.90	9.14	8.60	Mn ²⁺	1.21	1.61	3.39	3.86	3.52
BaO	0.01	0.03	0.01	0.02	0.06	Ba ²⁺	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
CaO	7.95	9.20	3.78	5.53	5.75	Ca ²⁺	4.54	4.85	2.05	2.95	2.97
Na ₂ O	11.79	7.63	6.21	5.73	4.46	Na ⁺	12.19	7.28	6.10	5.54	4.17
K ₂ O	0.38	0.42	0.36	0.30	0.18	K ⁺	0.26	0.26	0.23	0.19	0.11
Cl	1.03	0.79	0.53	0.39	0.45	Cl ⁻	0.93	0.66	0.46	0.33	0.37
F	0.18	0.09	0.19	0.18	0.08	F ⁻	0.30	0.14	0.31	0.28	0.12
H ₂ O*	1.06	1.28	1.25	1.32	1.40	H ⁺	3.77	4.20	4.24	4.39	4.51
O=CL	-0.23	-0.18	-0.12	-0.09	-0.10	O ²⁻	75.93	72.72	71.86	72.26	71.09
O=F	-0.08	-0.04	-0.08	-0.08	-0.03						
TOTAL	97.55	96.61	94.76	95.15	95.09						
REE ₂ O ₃	5.06	3.14	6.61	4.23	4.07						
L / H	4.56	6.14	8.44	9.58	10.63						

*H₂O determined by stoichiometry based on five apfu at the two X sites. Formula contents based on 29 apfu at the Zr and Si(7) sites (Si, Al, Zr, Ti, Nb, Ta).

Appendix D. Electron microprobe compositions for eudialyte samples (HREE group).

Sample	Kipawa- M	Kipawa- UofA	CMN F92-23	CMNOC 478		Kipawa- M	Kipawa- UofA	CMN F92-23	CMNOC 478
# Analyses	11	5	5	15					
Nb ₂ O ₅ (wt.%)	0.73	0.97	0.77	3.19	Nb ⁵⁺ (apfu)	0.18	0.22	0.18	0.80
Ta ₂ O ₅	0.01	0.08	0.05	0.00	Ta ⁵⁺	0.00	0.01	0.01	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.02	0.02	P ⁵⁺	0.00	0.00	0.01	0.01
SiO ₂	47.58	51.30	50.90	45.54	Si ⁴⁺	25.32	25.63	25.81	25.28
TiO ₂	0.35	0.30	0.29	0.10	Ti ⁴⁺	0.14	0.11	0.11	0.04
ZrO ₂	12.75	12.21	11.48	10.44	Zr ⁴⁺	3.31	2.97	2.84	2.83
UO ₂	0.00	0.02	0.00	0.00	U ⁴⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
ThO ₂	0.01	0.00	0.04	0.08	Th ⁴⁺	0.00	0.00	0.01	0.01
Al ₂ O ₃	0.09	0.10	0.10	0.08	Al ³⁺	0.06	0.06	0.06	0.05
La ₂ O ₃	0.33	0.38	0.42	1.28	La ³⁺	0.07	0.07	0.08	0.26
Ce ₂ O ₃	0.56	0.61	0.65	2.45	Ce ³⁺	0.11	0.11	0.12	0.50
Pr ₂ O ₃	0.05	0.05	0.04	0.22	Pr ³⁺	0.01	0.01	0.01	0.04
Nd ₂ O ₃	0.24	0.25	0.22	0.60	Nd ³⁺	0.05	0.05	0.04	0.12
Sm ₂ O ₃	0.12	0.06	0.07	0.10	Sm ³⁺	0.02	0.01	0.01	0.02
Eu ₂ O ₃	0.00	0.02	0.01	0.01	Eu ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00
Gd ₂ O ₃	0.15	0.08	0.08	0.08	Gd ³⁺	0.03	0.01	0.01	0.02
Tb ₂ O ₃	0.04	0.00	0.04	0.03	Tb ³⁺	0.01	0.00	0.01	0.01
Dy ₂ O ₃	0.49	0.40	0.27	0.32	Dy ³⁺	0.08	0.06	0.04	0.06
Ho ₂ O ₃	0.05	0.09	0.09	0.04	Ho ³⁺	0.01	0.01	0.02	0.01
Er ₂ O ₃	0.48	0.30	0.29	0.14	Er ³⁺	0.08	0.05	0.05	0.02
Tm ₂ O ₃	0.01	0.04	0.03	0.01	Tm ³⁺	0.00	0.01	0.01	0.00
Yb ₂ O ₃	0.41	0.40	0.36	0.20	Yb ³⁺	0.07	0.06	0.06	0.03
Lu ₂ O ₃	0.02	0.03	0.02	0.00	Lu ³⁺	0.00	0.01	0.00	0.00
Y ₂ O ₃	2.67	2.54	2.11	0.99	Y ³⁺	0.76	0.68	0.57	0.29
SrO	0.19	0.18	0.22	0.12	Sr ²⁺	0.06	0.05	0.07	0.04
MgO	0.09	0.10	0.10	0.01	Mg ²⁺	0.07	0.07	0.08	0.01
FeO	2.44	2.28	2.68	3.18	Fe ²⁺	1.09	0.95	1.14	1.48
MnO	1.33	1.37	1.46	6.68	Mn ²⁺	0.60	0.58	0.63	3.14
BaO	0.09	0.21	0.15	0.01	Ba ²⁺	0.02	0.04	0.03	0.00
CaO	11.91	12.44	12.71	8.49	Ca ²⁺	6.79	6.66	6.91	5.05
Na ₂ O	4.11	10.46	11.08	11.12	Na ⁺	4.24	10.13	10.89	11.97
K ₂ O	0.57	0.49	0.51	0.29	K ⁺	0.39	0.31	0.33	0.21
Cl	1.08	1.13	1.20	0.92	Cl ⁻	0.97	0.96	1.03	0.87
F	0.17	0.12	0.16	0.13	F ⁻	0.29	0.19	0.26	0.23
H ₂ O*	1.05	1.16	1.10	1.05	H ⁺	3.74	3.85	3.71	3.91
O=CL	-0.24	-0.25	-0.27	-0.21	O ²⁻	72.17	74.73	75.28	77.70
O=F	-0.07	-0.05	-0.07	-0.05					
TOTAL	89.86	99.86	99.38	97.66					
REE ₂ O ₃	5.62	5.25	4.70	6.47					
L / H	0.35	0.38	0.46	2.74					

*H₂O determined by stoichiometry based on five apfu at the two X sites. Formula contents based on 29 apfu at the Zr and Si(7) sites (Si, Al, Zr, Ti, Nb, Ta).