

## РАЗНОВИДНОСТИ МОНАЦИТА ИЗ КОНЦЕНТРАТОВ ОГУ «УРАЛМОНАЦИТ» И ПРИЗНАКИ ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ

*М. А. Пушкарева*

*Институт минералогии УрО РАН, Миасс*

Склады монацитовых концентратов предприятия ОГУ «УралМонацит» под Красноуфимском можно рассматривать как техногенное месторождение, вещество которого было отделено от вмещающих пород, прошло технологическое обогащение и складировано до возникновения потребностей в его промышленном использовании. Изучение минерального вещества складов со времен его добычи и переработки (40–60 гг. прошлого века) практически не проводилось. Первые минералогические исследования монацитовых концентратов были проведены сотрудниками Института минералогии УрО РАН С. А. Репиной и В. А. Поповой в 2007 году. В пробах концентратов был определен их минеральный состав, состав монацита и аксессуарных минералов, содержания оксида тория и редких земель и их индивидуальный состав, также были выделены разновидности монацита [Репина, Попова, 2008]. В данной работе продолжено изучение монацитовых концентратов, ориентированное на изучение состава и особенностей распределения РЗЭ и примесей в кристаллах монацита.

Примерно половина хранящихся на складе концентратов была охарактеризована 42 пробами. Во всех концентратах отмечается стабильное содержание  $\text{ThO}_2$  5–7 % и одинаковый набор разновидностей монацита, что указывает на технологическую подготовленность концентратов к промышленной переработке. Все они имеют существенно цериевый состав  $\text{Ce} > \text{La} \geq \text{Nd}$ , осложненный примесями Th, Ca, Si, U, Pb и только в некоторых разностях Y. По содержанию основных примесей, которыми являются торий и иттрий, монациты разделились на две группы: собственно ториевые (I) и торий-содержащие с примесью иттрия  $\text{Y}_2\text{O}_3$  0.5–3 % (II). Группирование зерен монацита по физическим свойствам, таким как цвет, прозрачность, форма и размер зерен, ничего не дало, так как похожие внешне индивиды могут иметь разные составы. Есть крупные таблитчатые зерна неправильной формы не прозрачные с красновато-коричневой пятнистой окраской, но по содержанию тория и иттрия они могут существенно различаться (монацит-I). Иттрий чаще отмечается в мелких лимонно-желтых прозрачных кристаллах, но подобные разности есть и без иттрия. Есть много зерен и с другими характеристиками, состав которых ничем особенно не выделяется.

Для детального изучения выбраны 11 зерен монацита, с частично сохранившимися кристаллографическими очертаниями, в которых определяются ромбические призмы и пинакоиды. По двум-трем предполагаемым пирамидам роста разных простых форм в кристаллах проведено микрозондовое профилирование и получено около 40 локальных анализов, по 10–20 на индивид. В качестве примера приводится сечение одного из изученных зерен монацита (рис. 1).

По среднему содержанию оксида тория в группе монацита-I выделяется три разновидности: высокториевые с  $\text{ThO}_2 > 10$  % (монацит-I/1), ториевые с  $\text{ThO}_2$  5–10 % (монацит-I/2), низкториевые с  $\text{ThO}_2$  0.5–5 % (монацит-I/3). По отношениям  $\text{La}/\text{Nd}$ ,  $\text{La}/\text{Sm}$  и  $\text{Eu}/\text{Eu}^*$  эти разновидности

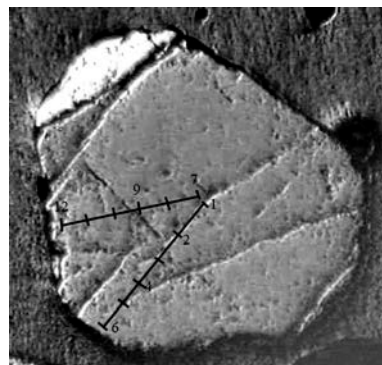


Рис. 1. Профили микрозондовых анализов в поперечном сечении зерна монацита 34 (см. табл. 2)

Средние содержания примесей и отношения РЗЭ в разновидностях монацитов

Разновидности		Средние значения					Кол-во анализов
		ThO <sub>2</sub> , вес. %	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , вес. %	La/Nd	La/Sm	Eu/Eu*	
Монацит-I	I/1	17.71	<0.4	1.79	11.02	1.08	26
	I/2	8.60	<0.4	1.66	14.85	0.45	16
	I/3	2.07	<0.4	1.69	12.17	0.29	21
Монацит-II	II/1	13.20	1.93	0.68	2.28	0.50	23
	II/2	9.21	2.16	0.97	3.92	0.45	42
	II/3	9.16	1.01	1.74	7.46	0.45	12

объединились в одну группу, тогда как в иттрийсодержащих монацитах-II, наоборот, выделяются три разновидности: монацит-II/1, -II/2 и -II/3 (табл. 1). Существование отмеченных разновидностей подтверждается данными корреляционного анализа.

**Монацит-I.** В данной разновидности из-за отсутствия иттрия содержания тяжелых РЗЭ находятся ниже предела чувствительности прибора, не фиксируется в них и Са. Монацит-I/1 обогащен ThO<sub>2</sub> в среднем на 18 %, а в ряде анализов его количество может достигать 21 %, тогда как в монаците-I/3 торий в ряде анализов вообще может отсутствовать (табл. 2). В зависимости от его концентраций обратнопропорционально меняются содержания основных лантаноидов Се и La, но прямо пропорционально больше становится Si, U, Pb. Высокие концентрации Th и вместе с ним примесей объясняются наличием тончайших вростков хаттонита ThSiO<sub>4</sub>, коффинита USiO<sub>4</sub>, а при наличие кальция – брабантита CaTh(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, наблюдаемыми в характеристическом излучении. Все выделенные разновидности имеют близкие значения отношений La/Nd и La/Sm, что указывает на возможное их генетическое родство.

Формульные коэффициенты разновидностей монацита-I (ан. см. табл. 2):

I/1 – (Ce<sub>0.35</sub>La<sub>0.23</sub>Th<sub>0.19</sub>Nd<sub>0.12</sub>Pr<sub>0.05</sub>U<sub>0.04</sub>Sm<sub>0.02</sub>Pb<sub>0.02</sub>Gd<sub>0.01</sub>)<sub>1.03</sub>(P<sub>0.75</sub>Si<sub>0.25</sub>)<sub>1</sub>O<sub>4</sub> (ан. 87/1);

I/2 – (Ce<sub>0.46</sub>La<sub>0.22</sub>Th<sub>0.07</sub>Nd<sub>0.13</sub>Pr<sub>0.04</sub>U<sub>0.01</sub>Sm<sub>0.02</sub>Pb<sub>0.01</sub>)<sub>0.96</sub>(P<sub>0.93</sub>Si<sub>0.10</sub>)<sub>1.03</sub>O<sub>4</sub> (ан. 8/13);

I/3 – (Ce<sub>0.50</sub>La<sub>0.28</sub>Th<sub>0.03</sub>Nd<sub>0.16</sub>Pr<sub>0.06</sub>U<sub>0.01</sub>Sm<sub>0.03</sub>Pb<sub>0.0</sub>Gd<sub>0.01</sub>)<sub>1.08</sub>(P<sub>0.93</sub>Si<sub>0.06</sub>)<sub>0.97</sub>O<sub>4</sub> (ан. 50/2).

**Монацит-II.** В этой группе объединены все иттрийсодержащие монациты, их количество в объеме концентрата не превышает 10 %. Этой разности было отдано большее предпочтение, так как обогащение ее лантаноидами иттриевой группы (Y<sub>2</sub>) усиливает их индикаторные характеристики. Все разновидности этой группы существенно различаются по физическим свойствам и по всем компонентам состава.

Зерна монацита-II/1 по облику и частично по составу похожи на монацит-I/1. Их зерна крупные неправильной формы, непрозрачные пятнистые красно-коричневые пористые. Они выделяются увеличенным содержанием Th, а также Y, Ca, U, элементов с Sm по Ho, но при этом самые низкие La. Приведен анализ с аномально высокой концентрацией ThO<sub>2</sub> 34.6 % (см. табл. 2, ан. 106/20). В характеристическом излучении на этом участке наблюдается обилие микронных вростков хаттонита и ксенотима YPO<sub>4</sub>, что, возможно, объясняет повышенные содержания всех компонентов.

Две другие разности монацит-II/2 и монацит-II/3 встречаются в виде прозрачных желтых кристаллов и имеют близкий состав, различающийся только содержанием основных компонентов. Но по отношениям La/Nd и La/Sm они различаются, что объясняется повышенным содержанием La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в отдельных случаях до 21 %. В их зернах также фиксируются микронные включения всех вышеперечисленных минералов, к ним можно добавить циркон, и, возможно, другие не установленные изоструктурные минералы Th и U.

Таблица 2

## Составы иттриевых и безиттриевых монацитов из концентратов складов ОГУ «УралМонацит», мас %

Разновидности	№ ан.	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	CaO	UO <sub>2</sub>	PbO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	Сумма	
Монацит-I	I/1	87/1	14.27	22.13	2.95	7.88	1.38	–	0.38	0.29	–	–	–	18.85	–	4.05	1.90	20.48	5.68	100.24
		87/7	13.34	23.49	3.10	8.12	1.18	0.24	0.32	0.17	–	–	–	19.06	–	3.41	1.59	20.76	5.72	100.50
		87/11	15.26	28.08	3.41	9.39	1.47	0.22	0.31	0.20	–	0.21	–	12.40	–	2.30	0.77	25.09	3.56	102.65
		87/13	16.91	26.47	3.60	9.94	1.60	–	0.52	0.23	–	–	–	10.29	–	2.20	–	25.27	3.51	100.53
	I/2	8/10	14.46	31.78	3.48	8.81	0.97	–	–	–	–	–	–	8.75	0.12	1.14	0.72	27.85	2.57	100.64
		8/13	15.33	31.61	3.05	9.4	1.11	–	0.25	0.11	–	–	–	7.99	0.08	1.01	0.56	27.74	2.41	100.64
	I/3	50/2	18.47	33.12	3.68	10.85	1.46	–	0.42	0.17	–	–	–	3.43	–	0.56	–	26.50	0.88	99.53
		50/6	18.07	33.97	4.01	10.64	1.21	–	0.42	0.14	–	–	–	1.28	–	0.47	–	28.44	0.57	99.23
Монацит-II	II/1	106/1	6.22	22.22	3.15	10.16	3.62	0.48	1.89	0.39	0.46	0.31	2.16	14.81	4.24	2.64	0.28	25.79	1.63	100.45
		106/10	7.70	24.60	3.59	10.93	3.06	0.33	1.49	0.34	0.38	0.27	1.47	11.26	3.46	2.10	0.24	27.15	1.70	100.07
		106/13	5.80	22.11	3.02	9.82	3.82	0.40	2.06	0.44	0.71	0.27	2.56	14.60	3.83	2.83	0.34	25.71	1.79	100.11
		106/16	6.47	22.82	3.36	10.21	3.33	0.38	1.72	0.42	0.39	0.35	1.70	14.70	4.35	2.58	0.29	25.71	1.67	100.45
		106/20	4.79	16.00	1.96	7.33	1.66	0.45	0.90	0.23	–	0.21	0.88	34.56	2.01	6.73	0.41	17.18	5.17	100.47
	II/2	5/2	10.89	23.94	3.53	10.46	2.54	0.27	1.22	0.21	0.33	–	3.07	8.37	1.39	1.76	0.73	30.90	0.91	100.50
		5/6	10.51	25.77	3.03	10.25	2.35	0.25	1.13	0.21	0.25	0.22	3.12	7.90	1.36	1.70	0.65	30.78	0.88	100.36
		5/7	9.56	24.95	3.41	10.90	2.86	–	1.24	0.19	0.29	–	1.50	10.45	1.65	1.59	0.83	29.96	0.97	100.34
		5/11	9.79	25.10	3.17	10.96	2.57	–	1.28	0.25	–	–	1.76	10.34	1.64	1.73	0.81	29.85	1.08	100.32
		135/3	7.91	26.4	4.16	13.48	3.29	0.32	1.45	0.24	–	–	0.5	9.17	2.51	1.53	–	28.58	1.04	100.58
		16/1	9.65	24.97	3.31	11.31	2.80	–	1.24	0.23	0.29	–	2.15	9.35	1.42	1.72	0.60	30.59	1.09	100.70
		16/5	9.45	25.82	3.24	11.06	2.93	–	1.33	0.21	0.00	–	2.48	9.26	1.26	1.88	0.76	29.67	1.14	100.51
		16/6	12.18	23.40	3.50	11.26	2.53	–	1.39	0.23	0.35	–	1.99	9.32	1.43	1.90	0.79	29.52	1.11	100.88
	16/10	12.71	24.74	3.39	10.21	2.54	0.29	1.32	0.26	0.46	–	2.47	8.84	1.32	1.62	0.68	28.16	1.14	100.13	
	II/3	34/1	14.95	25.63	3.05	9.10	2.24	0.23	1.13	0.25	0.25	–	1.42	10.14	0.81	1.61	0.84	27.06	2.07	100.80
		34/3	20.56	28.19	2.87	8.83	2.17	–	0.88	0.21	–	–	1.38	9.84	0.80	1.70	0.72	20.73	1.99	100.88
		34/6	12.19	24.72	3.14	9.85	2.32	–	1.13	0.19	0.27	0.18	1.31	11.87	0.78	2.16	1.12	26.79	2.47	100.47
		34/12	15.14	30.36	3.35	11.32	2.57	–	1.11	0.25	–	–	0.41	4.51	0.23	0.89	–	28.48	2.35	100.98

Примечание. Положение точек анализов зерна 34 см. на рис. 1. Номера анализов в зерне разделены по секторам роста простых форм. Микронзонд JXA-733, аналитик Е. И. Чурин, ИМин.

Формульные коэффициенты разновидностей монацита-II (ан. см. табл. 2):

П/1 –  $(\text{Ce}_{0.39}\text{Nd}_{0.15}\text{La}_{0.12}\text{Pr}_{0.05}\text{Sm}_{0.04}\text{Gd}_{0.02}\text{Dy}_{0.01}\text{Y}_{0.05}\text{Th}_{0.09}\text{Ca}_{0.12}\text{U}_{0.02})_{1.06}(\text{P}_{0.93}\text{Si}_{0.05})_{0.98}\text{O}_9$  (ан. 106/6);

П/2 –  $(\text{Ce}_{0.33}\text{Nd}_{0.17}\text{La}_{0.13}\text{Pr}_{0.05}\text{Sm}_{0.04}\text{Gd}_{0.02}\text{Tb}_{0.01}\text{Dy}_{0.01}\text{Y}_{0.05}\text{Th}_{0.09}\text{Ca}_{0.07}\text{U}_{0.02}\text{Pb}_{0.01})_{0.98}(\text{P}_{1.01}\text{Si}_{0.05})_{1.06}\text{O}_4$  (ан. 16/6);

П/3 –  $(\text{Ce}_{0.38}\text{La}_{0.27}\text{Nd}_{0.12}\text{Pr}_{0.05}\text{Sm}_{0.03}\text{Gd}_{0.01}\text{Y}_{0.03}\text{Th}_{0.11}\text{Ca}_{0.04}\text{U}_{0.02}\text{Pb}_{0.01})_{1.08}(\text{P}_{0.86}\text{Si}_{0.10})_{0.96}\text{O}_4$  (ан. 34/6).

Спектры РЗЭ разновидностей монацита, нормированные на хондрит, отчетливо индивидуализированы и различаются по содержанию ТРЗЭ, La, Sm, Gd, что также подтверждает наличие выделенных разновидностей монацита.

Проведенное изучение состава монацитов по пирамидам роста разных простых форм кристаллов показало, что сектора в разной степени обогащены теми или иными группами изоморфных смесей РЗЭ и примесями. Различаются сектора средними содержаниями  $\text{La}_2\text{O}_3$  на 1.5–2 %,  $\text{ThO}_2$  на 0.5–2 %, изоморфных смесей  $(\text{Sm}+\text{Gd}+\text{Tb}+\text{Y})_2\text{O}_3$  на 1–1.5 %. Эта особенность отмечена во всех зернах монацита и характеризует основное свойство кристаллов фракционировать изоморфные смеси элементов по граням простых форм в соответствии с их физическими свойствами.

Автор выражает глубокую благодарность к.г.-м.н. С. А. Репиной, под руководством которой была выполнена эта работа.

### Литература

*Репина С. А., Попова В. И., Баженова Л. Ф.* Минералогия монацитовых концентратов ОГУ «УралМонацит» // Уральский минералогический сборник № 15. Научное издание. Миасс – Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 17–26.