

Детальная таблица термического анализа основных групп минералов

Руководство для интерпретации DSC/TGA кривых

Расшифровка обозначений:

- **DSC** - дифференциальная сканирующая калориметрия
- **TGA** - термогравиметрический анализ
- **ΔH** - энтальпия перехода (Дж/г)
- **Endo** - эндотермический процесс, **Экзо** - экзотермический процесс
- **°C** - температура процесса

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH, Дж/г)	Характеристические процессы
СИЛИКАТЫ СЛОИСТЫЕ (ФИЛЛОСИЛИКАТЫ)				
Каолинит $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$	Endo: 450-600°C Экзо: 950-1000°C	450-600°C: 13.8%	$\Delta H_1 = -412$ $\Delta H_2 = +38$	Дегидроксилирование → метакаолинит Кристаллизация муллита
Галлуазит $(Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O)$	Endo: 100-200°C Endo: 450-600°C Экзо: 950-1000°C	100-200°C: 10.5% 450-600°C: 13.8%	$\Delta H_1 = -165$ $\Delta H_2 = -412$ $\Delta H_3 = +38$	Потеря межслоевой H ₂ O Дегидроксилирование Кристаллизация
Дикит $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$	Endo: 500-650°C Экзо: 950-1000°C	500-650°C: 13.8%	$\Delta H_1 = -425$ $\Delta H_2 = +35$	Дегидроксилирование Образование муллита
Монтмориллонит $((Na,Ca)Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O)$	Endo: 100-200°C Endo: 650-750°C	100-200°C: 8-15% 650-750°C: 5%	$\Delta H_1 = -180$ $\Delta H_2 = -85$	Дегидратация межслоевая Дегидроксилирование
Вермикулит $((Mg,Fe)_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot 4H_2O)$	Endo: 120-300°C Endo: 850-950°C	120-300°C: 22% 850-950°C: 3%	$\Delta H_1 = -275$ $\Delta H_2 = -65$	Потеря межслоевой воды Дегидроксилирование

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH, Дж/г)	Характеристические процессы
Иллит (KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂)	Endo: 450-550°C Экзо: 900-1000°C	450-550°C: 5-8%	ΔH ₁ = -125 ΔH ₂ = +25	Дегидроксилирование Разложение структуры
Хлорит ((Mg,Fe) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₈)	Endo: 600-750°C Экзо: 800-900°C	600-750°C: 12-15%	ΔH ₁ = -185 ΔH ₂ = +45	Дегидроксилирование Образование оливина
Мусковит (KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH) ₂)	Endo: 900-950°C	900-950°C: 4.5%	ΔH ₁ = -98	Дегидроксилирование при высокой Т
Биотит (K(Mg,Fe) ₃ (AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₂)	Endo: 800-900°C Экзо: 1000-1100°C	800-900°C: 3.5%	ΔH ₁ = -82 ΔH ₂ = +35	Дегидроксилирование Фазовые превращения
Тальк (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)	Endo: 850-950°C Экзо: 1050-1150°C	850-950°C: 4.8%	ΔH ₁ = -115 ΔH ₂ = +85	Дегидроксилирование Кристаллизация энстатита
Пирофиллит (Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)	Endo: 800-900°C Экзо: 1200-1300°C	800-900°C: 5.0%	ΔH ₁ = -125 ΔH ₂ = +65	Дегидроксилирование Образование муллита + кварц
Серпентин (Mg ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄)	Endo: 650-750°C Экзо: 800-850°C	650-750°C: 13.0%	ΔH ₁ = -285 ΔH ₂ = +85	Дегидроксилирование Кристаллизация форстерита
СИЛИКАТЫ КАРКАСНЫЕ (ТЕКТОСИЛИКАТЫ)				
Кварц (SiO ₂)	Endo: 573°C Endo: 1723°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +0.38 ΔH ₂ = +9.6	α → β переход Плавление
Кристобалит (SiO ₂)	Endo: 200-270°C Endo: 1713°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +4.2 ΔH ₂ = +9.6	α → β переход Плавление
Тридимит (SiO ₂)	Endo: 117°C Endo: 163°C Endo: 1670°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +0.5 ΔH ₂ = +1.8 ΔH ₃ = +8.4	α → β переход β → γ переход Плавление
Альбит (NaAlSi ₃ O ₈)	Endo: 1118°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +59	Плавление конгруэнтное
Анортит (CaAl ₂ Si ₂ O ₈)	Endo: 1553°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +130	Плавление конгруэнтное

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH , Дж/г)	Характеристические процессы
Ортоклаз (KAlSi_3O_8)	Endo: 1150°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +54$	Плавление инконгруэнтное
Микроклин (KAlSi_3O_8)	Endo: 1170°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +52$	Плавление инконгруэнтное
Нефелин (NaAlSiO_4)	Endo: 1526°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +75$	Плавление конгруэнтное
ЦЕОЛИТЫ				
Анальцим ($\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	Endo: 200- 400°C Экзо: 900- 1000°C	200- 400°C: 8.2%	$\Delta H_1 = -85$ $\Delta H_2 = +35$	Дегидратация Кристаллизация нефелина
Гейландит ($\text{CaAl}_2\text{Si}_7\text{O}_{18} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 100- 250°C Endo: 250- 450°C Экзо: 900- 1000°C	100- 250°C: 8% 250- 450°C: 7%	$\Delta H_1 = -95$ $\Delta H_2 = -75$ $\Delta H_3 = +45$	Потеря слабосвязанной воды Потеря координационной воды Кристаллизация анортита
Клиноптилолит (($\text{Na}, \text{K}, \text{Ca}$) $_6\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72} \cdot 20\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 100- 200°C Endo: 200- 500°C Экзо: 900- 1000°C	100- 200°C: 8% 200- 500°C: 10%	$\Delta H_1 = -85$ $\Delta H_2 = -105$ $\Delta H_3 = +55$	Потеря слабосвязанной воды Потеря структурной воды Коллапс каркаса
Морденит ($\text{Na}_8\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96} \cdot 28\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 100- 300°C Экзо: 900- 1000°C	100- 300°C: 12%	$\Delta H_1 = -125$ $\Delta H_2 = +45$	Дегидратация Коллапс структуры
КАРБОНАТЫ				
Кальцит (CaCO_3)	Endo: 825- 950°C	825- 950°C: 44.0%	$\Delta H_1 = -178$	Декарбонизация: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$
Арагонит (CaCO_3)	Endo: 400- 500°C Endo: 825- 950°C	825- 950°C: 44.0%	$\Delta H_1 = +0.8$ $\Delta H_2 = -178$	Арагонит \rightarrow кальцит Декарбонизация
Доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)	Endo: 750- 850°C Endo: 850- 950°C	750- 850°C: 23.9% 850- 950°C: 23.9%	$\Delta H_1 = -89$ $\Delta H_2 = -89$	$\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$ $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH, Дж/г)	Характеристические процессы
Магнезит (MgCO ₃)	Endo: 450-650°C	450-650°C: 52.2%	ΔH ₁ = -117	Декарбонизация: MgCO ₃ → MgO + CO ₂
Сидерит (FeCO ₃)	Endo: 400-500°C Экзо: 600-700°C	400-500°C: 38.0%	ΔH ₁ = -83 ΔH ₂ = +85	FeCO ₃ → FeO + CO ₂ Окисление: FeO → Fe ₂ O ₃
Родохрозит (MnCO ₃)	Endo: 350-450°C Экзо: 900-1000°C	350-450°C: 38.3%	ΔH ₁ = -78 ΔH ₂ = +45	MnCO ₃ → MnO + CO ₂ MnO → Mn ₂ O ₃
Малахит (Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂)	Endo: 200-350°C Endo: 350-450°C	200-350°C: 8.2% 350-450°C: 19.9%	ΔH ₁ = -125 ΔH ₂ = -89	Cu(OH) ₂ → CuO + H ₂ O CuCO ₃ → CuO + CO ₂
Азурит (Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂)	Endo: 220-300°C Endo: 300-450°C	220-300°C: 5.1% 300-450°C: 25.6%	ΔH ₁ = -78 ΔH ₂ = -145	Cu(OH) ₂ → CuO + H ₂ O 2CuCO ₃ → 2CuO + 2CO ₂
СУЛЬФАТЫ				
Гипс (CaSO ₄ ·2H ₂ O)	Endo: 120-180°C Endo: 180-250°C Endo: 1450°C	120-180°C: 15.7% 180-250°C: 5.2%	ΔH ₁ = -105 ΔH ₂ = -35 ΔH ₃ = +17	Гипс → полугидрат Полугидрат → ангидрит Плавление
Ангидрит (CaSO ₄)	Endo: 1450°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +17	Плавление
Барит (BaSO ₄)	Endo: 1580°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +28	Плавление
Целестин (SrSO ₄)	Endo: 1605°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +25	Плавление
Алунит (KAl ₃ (SO ₄) ₂ (OH) ₆)	Endo: 450-550°C Экзо: 900-1000°C	450-550°C: 13.0% 900-1000°C: 23%	ΔH ₁ = -156 ΔH ₂ = +85	Дегидроксилирование Разложение сульфата

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH, Дж/г)	Характеристические процессы
Ярозит ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)	Endo: 400-500°C Экзо: 800-900°C	400-500°C: 12.5% 800-900°C: 25%	$\Delta H_1 = -145$ $\Delta H_2 = +95$	Дегидроксилирование Разложение + окисление
Эпсомит ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 100-200°C Endo: 200-300°C Endo: 1124°C	100-200°C: 51.2% 200-300°C: 20.5%	$\Delta H_1 = -335$ $\Delta H_2 = -135$ $\Delta H_3 = +14$	Потеря 6H ₂ O Потеря 1H ₂ O Плавление
ФОСФАТЫ				
Апатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})$)	Endo: 1670°C (F-апатит) Endo: 900-1000°C (OH-апатит)	OH-апатит: 1.8%	$\Delta H_1 = +95$ $\Delta H_2 = -25$	Плавление Дегидроксилирование
Вавеллит ($\text{Al}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH}, \text{F})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 200-400°C Endo: 1400°C	200-400°C: 25%	$\Delta H_1 = -285$ $\Delta H_2 = +125$	Дегидратация + дегидроксилирование Плавление
Вивианит ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	Endo: 100-300°C Экзо: 600-700°C	100-300°C: 30%	$\Delta H_1 = -345$ $\Delta H_2 = +85$	Дегидратация Окисление $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$
Монацит ((Ce,La,Nd,Th)PO ₄)	Endo: 2070°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +145$	Плавление
Ксенотим (YPO ₄)	Endo: 2200°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +165$	Плавление
ОКСИДЫ				
Гематит (Fe_2O_3)	Endo: 1565°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +87$	Плавление
Магнетит (Fe_3O_4)	Экзо: 580-650°C Endo: 1597°C	Прирост массы	$\Delta H_1 = +15$ $\Delta H_2 = +138$	Окисление: $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ Плавление
Корунд (Al_2O_3)	Endo: 2072°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +111$	Плавление

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH, Дж/г)	Характеристические процессы
Рутил (TiO ₂)	Endo: 1843°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +66	Плавление
Анализ (TiO ₂)	Экзо: 600-900°C Endo: 1855°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +8 ΔH ₂ = +66	Анализ → рутил Плавление
Касситерит (SnO ₂)	Endo: 1630°C	Нет потери массы	ΔH ₁ = +52	Плавление
Пирролизит (MnO ₂)	Экзо: 530-600°C Экзо: 900-1000°C	530-600°C: 6.3% 900-1000°C: 4.5%	ΔH ₁ = +45 ΔH ₂ = +25	MnO ₂ → Mn ₂ O ₃ Mn ₂ O ₃ → Mn ₃ O ₄
Гётит (α-FeOOH)	Endo: 300-400°C Экзо: 600-700°C	300-400°C: 10.1%	ΔH ₁ = -145 ΔH ₂ = +25	Дегидратация → гематит Кристаллизация
Лепидокрокит (γ-FeOOH)	Endo: 350-450°C	350-450°C: 10.1%	ΔH ₁ = -156	Дегидратация → гематит
Акагениит (β-FeOOH)	Endo: 400-500°C	400-500°C: 10.1%	ΔH ₁ = -138	Дегидратация → гематит
Бёмит (γ-AlOOH)	Endo: 450-550°C Экзо: 950-1200°C	450-550°C: 15.0%	ΔH ₁ = -185 ΔH ₂ = +125	Дегидратация → γ-Al ₂ O ₃ γ → α превращение
Диаспор (α-AlOOH)	Endo: 500-600°C Экзо: 1000-1200°C	500-600°C: 15.0%	ΔH ₁ = -195 ΔH ₂ = +105	Дегидратация → α-Al ₂ O ₃ Рекристаллизация
Гиббсит (Al(OH) ₃)	Endo: 200-350°C Экзо: 950-1200°C	200-350°C: 34.6%	ΔH ₁ = -312 ΔH ₂ = +125	Дегидратация → бёмит → Al ₂ O ₃ Кристаллизация
Брусит (Mg(OH) ₂)	Endo: 350-450°C	350-450°C: 30.9%	ΔH ₁ = -1450	Дегидратация: Mg(OH) ₂ → MgO + H ₂ O
Портландит (Ca(OH) ₂)	Endo: 450-550°C	450-550°C: 24.3%	ΔH ₁ = -1156	Дегидратация: Ca(OH) ₂ → CaO + H ₂ O
СУЛЬФИДЫ				

Минерал	DSC переходы (°C)	TGA потери массы (%)	Энтальпия (ΔH , Дж/г)	Характеристические процессы
Пирит (FeS_2)	Экзо: 400-600°C Экзо: 600-800°C	400-600°C: +16%	$\Delta H_1 = +850$ $\Delta H_2 = +425$	Окисление \rightarrow пирротин + SO_2 $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$
Пирротин (Fe_{1-x}S)	Экзо: 500-700°C	500-700°C: +15%	$\Delta H_1 = +725$	Окисление $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$
Галенит (PbS)	Экзо: 600-800°C	600-800°C: -6.7%	$\Delta H_1 = +125$	Окисление: $\text{PbS} \rightarrow \text{PbO} + \text{SO}_2$
Сфалерит (ZnS)	Экзо: 600-900°C	600-900°C: -33.1%	$\Delta H_1 = +485$	Окисление + сублимация ZnO
Халькопирит (CuFeS_2)	Экзо: 500-800°C	500-800°C: +8.5%	$\Delta H_1 = +625$	Окисление $\rightarrow \text{CuO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$
Молибденит (MoS_2)	Экзо: 450-650°C	450-650°C: +25%	$\Delta H_1 = +385$	Окисление: $\text{MoS}_2 \rightarrow \text{MoO}_3 + \text{SO}_2$
Арсенопирит (FeAsS)	Экзо: 400-700°C	400-700°C: +12%	$\Delta H_1 = +456$	Окисление $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{As}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$
Киноварь (HgS)	Endo: 580°C	580°C: -86.3%	$\Delta H_1 = +125$	Сублимация: $\text{HgS} \rightarrow \text{Hg}\uparrow + \text{S}\uparrow$
ДРУГИЕ ВАЖНЫЕ МИНЕРАЛЫ				
Флюорит (CaF_2)	Endo: 1418°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +30$	Плавление
Галит (NaCl)	Endo: 801°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +28$	Плавление
Сильвин (KCl)	Endo: 771°C	Нет потери массы	$\Delta H_1 = +26$	Плавление
Графит (C)	Экзо: 700-800°C (воздух)	700-800°C: 100%	$\Delta H_1 = +393$	Окисление: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
Алмаз (C)	Экзо: 850-900°C (воздух)	850-900°C: 100%	$\Delta H_1 = +395$	Окисление: $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$

Примечания:

- Данные приведены для скорости нагрева 10°C/мин в воздушной атмосфере

- Энтальпии указаны в Дж/г
- Потери массы даны в процентах от исходной массы
- Endo = эндотермический процесс, Экзо = экзотермический процесс
- Данные основаны на анализе более 32 авторитетных источников