

**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СУРЬМУСОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦ В СИСТЕМЕ:
Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Макалада Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O системасындагы сурьманы кармаган компоненттердин концентрацияларынын таралуу спектрлери берилди жана конденсирленген сурьманын 450 К жогорку температурада пайда болушу көргөзүлдү.

В статье приведены спектры концентрационного распределения сурьмосодержащих компонентов в системе Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O и показано образование конденсированной сурьмы при температурах выше 450 К.

In this article the distribution of concentration ranges of antimony-containing components in the system Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O were investigated and formation of condensed antimony at temperatures above 450 K was shown.

Известно, что при добыче и переработке руд определенное количество сурьмы переходит в отходы производства и соответственно актуальной становится поиск способов разделения соединений сурьмы из вторичного сырья. При решении данной задачи была использована лимонная кислота, и с участием ее осуществлено физико-химическое моделирование системы [1,2]: Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O (1:1:1:1) при P=0,1 Мпа и T=285-1005 К. Полученные данные представлены на рис. 1 и в табл.1-2.

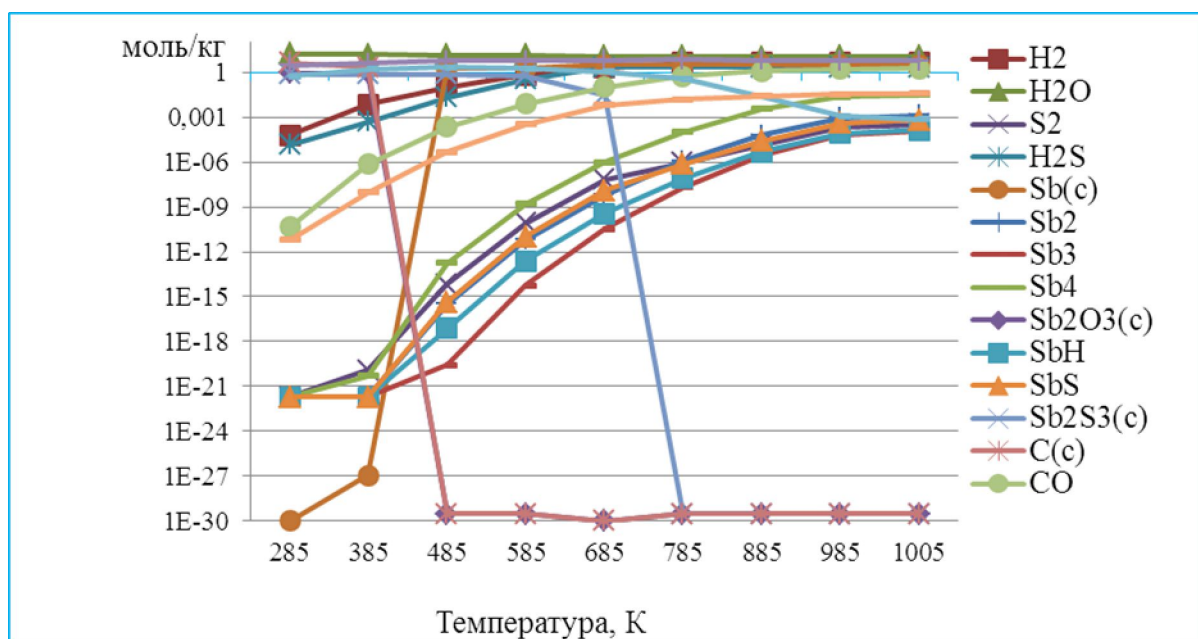


Рис.1. Равновесные составы и концентрации компонентов (моль/кг), образующихся в системе Sb₂S₃-Sb₂O₃-H₂C₆H₅O₇-H₂O (1:1:1:1), Sb-3,187; S-2,208; O-25,607;H-36,911; C-7,849 при P=0,1 Мпа

Таблица 1

Равновесные составы и концентрации компонентов (моль/кг), образующихся в системе:
 $\text{Sb}_2\text{S}_3\text{-Sb}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{-H}_2\text{O}$ (1:1:1:1), при $P=0,1$ МПа, $T=285\text{-}1005$ К

Состав	Температура, К									
	285	385	485	585	685	785	885	985	1005	
H	1,93E-22	1,93E-22	2,07E-21	5,71E-17	7,78E-14	1,61E-11	8,15E-10	1,68E-08	2,86E-08	
H ₂	6,41E-05	0,006902	0,104961	0,648614	2,05572	4,30384	5,04401	4,69728	4,61956	
OH	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,11E-20	2,91E-17	1,12E-14	1,46E-12	8,14E-11	1,66E-10	
H ₂ O	17,3276	15,1639	14,1199	13,6897	12,1504	11,2236	11,1785	11,5838	11,665	
S	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	3,16E-21	5,8E-17	2,72E-14	4,64E-12	3,37E-10	7,21E-10	
S ₂	1,93E-22	1,15E-20	6,66E-15	8,2E-11	6,51E-08	8,94E-07	1,46E-05	0,0002	0,00032	
S ₃	1,93E-22	1,93E-22	6,13E-21	1,03E-15	5,11E-12	8,44E-11	2,36E-09	6,07E-08	1,09E-07	
S ₄	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	7,22E-20	1,16E-15	1,44E-14	4,81E-13	1,75E-11	3,37E-11	
S ₅	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	2,16E-22	1,3E-17	1,34E-16	5,83E-15	3,24E-13	6,74E-13	
SO	1,93E-22	1,93E-22	5,51E-22	2,41E-17	5,12E-14	5,54E-12	4,9E-10	2,68E-08	5,49E-08	
SO ₂	1,93E-22	5,01E-19	4,56E-15	2,67E-12	2,86E-10	3,86E-09	1,11E-07	3,16E-06	5,79E-06	
S ₂ O	1,93E-22	1,93E-22	4,54E-21	1,72E-16	3,24E-13	9,84E-12	4,83E-10	2,03E-08	3,97E-08	
SH	1,93E-22	3,05E-21	1,22E-15	8,42E-12	4,13E-09	1,21E-07	1,96E-06	1,98E-05	2,99E-05	
H ₂ S	1,41E-05	0,000472	0,020524	0,345582	2,11892	2,19248	2,18242	2,1719	2,16944	
HSO	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	2,36E-20	9,04E-18	1,74E-15	1,61E-13	3,61E-13	
SOH	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	4,2E-20	1,18E-16	1,47E-14	1,18E-12	5,41E-11	1,07E-10	
H ₂ SO	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,43E-19	1,49E-16	8,3E-15	2,94E-13	6,49E-12	1,13E-11	
Sb(c)	1E-30	1,15E-27	1,72896	1,94589	3,13229	3,18684	3,17294	3,09442	3,064	
Sb	1,93E-22	1,93E-22	4,03E-21	3,24E-16	9,98E-13	3,92E-10	3,85E-08	1,15E-06	2,08E-06	
Sb ₂	1,93E-22	1,93E-22	3,07E-16	6E-12	6,59E-09	1,17E-06	6,05E-05	0,000854	0,001329	
Sb ₃	1,93E-22	1,93E-22	2,53E-20	5,65E-15	3,4E-11	2,1E-08	2,82E-06	6,68E-05	0,000113	
Sb ₄	1,93E-22	4,83E-21	1,84E-13	1,58E-09	9,4E-07	0,000102	0,003539	0,022611	0,029871	
SbO	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,52E-20	9,69E-17	7,6E-14	2,08E-11	1,8E-09	3,93E-09	

продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sb ₂ O ₃ (c)	0,857643	0,857796	2,86E-30	2,86E-30	1E-30	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30
Sb ₄ O ₆	1,93E-22	1,69E-15	1,45E-14	7,3E-15	7,34E-15	1,85E-14	6,78E-13	2,1E-11	3,82E-11
SbH	1,93E-22	1,93E-22	7,6E-18	2,34E-13	3,55E-10	8,15E-08	4,55E-06	0,000083	0,000137
SbH ₃	1,93E-22	1,93E-22	5,1E-19	2,91E-15	1,01E-12	6,38E-11	8,4E-10	3,88E-09	4,99E-09
SbS	1,93E-22	1,93E-22	4,46E-16	9,98E-12	1,21E-08	7,28E-07	2,48E-05	0,000391	0,000631
Sb ₂ S ₃ (c)	0,735985	0,735829	0,729144	0,620682	0,027476	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30
C(c)	4,43153	2,27177	2,86E-30	2,86E-30	1E-30	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30	2,86E-30
CO	4,73E-11	7,2E-07	0,000231	0,008152	0,103697	0,562869	1,1929	1,63657	1,71684
CO ₂	2,85314	3,93472	5,7433	5,9543	6,67304	6,90243	6,60494	6,17558	6,09386
CH ₃	1,93E-22	1,93E-22	3,85E-19	1,9E-15	5,43E-13	2,11E-11	6,9E-11	7,95E-11	7,99E-11
CH ₄	0,563932	1,6421	2,10505	1,88581	1,06524	0,367814	0,025277	0,00122	0,0007
C ₂ H ₂	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,74E-18	2,7E-15	2,81E-13	8,79E-13	6,49E-13	5,97E-13
C ₂ H ₄	1,93E-22	2,53E-16	1,08E-12	1,59E-10	3,04E-09	1,02E-08	1,48E-09	7,8E-11	4,48E-11
C ₂ H ₆	1,19E-09	1,23E-07	9,86E-07	2,31E-06	1,88E-06	5,2E-07	7,25E-09	4,93E-11	1,97E-11
C ₃ H ₈	1,67E-16	2,01E-13	5,31E-12	2,17E-11	1,91E-11	3,47E-12	8,42E-15	7,18E-18	1,95E-18
CHO	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	2,67E-19	5,35E-16	1,18E-13	3,58E-12	3,74E-11	5,59E-11
CHO ₂	1,93E-22	1,93E-22	4,85E-22	2,46E-18	1,02E-15	8,03E-14	1,8E-12	1,89E-11	2,86E-11
CH ₂ O	1,93E-22	2,35E-16	1,02E-12	1,96E-10	6,62E-09	6,42E-08	1,42E-07	1,67E-07	1,7E-07
CH ₂ O ₂	1,8E-13	1,25E-10	5,82E-09	5,95E-08	2,72E-07	7,02E-07	9,15E-07	9,15E-07	9,1E-07
C ₂ H ₄ O ₂	1,67E-14	3,32E-12	5,67E-11	2,32E-10	4,03E-10	3,1E-10	3,81E-11	2,93E-12	1,82E-12
C ₃ H ₆ O	1,93E-22	6,77E-19	3,68E-16	1,11E-14	5,35E-14	4,57E-14	8,95E-16	6,18E-18	2,46E-18
CS	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,04E-19	1,46E-15	3,89E-13	1,53E-11	2,07E-10	3,25E-10
CS ₂	1,93E-22	7,6E-19	2E-13	1,16E-09	4,96E-07	3,03E-06	9,58E-06	2,13E-05	2,45E-05
COS	6,39E-12	9,78E-09	4,91E-06	0,000333	0,006611	0,01547	0,025468	0,0352	0,037163

Таблица 2

Распределение сурьмусодержащих частиц в газовой фазе (моль/кг) в зависимости от температуры

T	Sb(c)	Sb	Sb ₂	Sb ₃	Sb ₄	SbO	Sb ₂ O ₃ (с)	Sb ₄ O ₆	SbH	SbH ₃	SbS	Sb ₂ S ₃ (с)
285	1E-30	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	0,857643	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	0,735985
385	1,15E-27	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	4,83E-21	1,93E-22	0,857796	1,69E-15	1,93E-22	1,93E-22	1,93E-22	0,735829
485	1,72896	4,03E-21	3,07E-16	2,53E-20	1,84E-13	1,93E-22	2,86E-30	1,45E-14	7,6E-18	5,1E-19	4,46E-16	0,729144
585	1,94589	3,24E-16	6E-12	5,65E-15	1,58E-09	1,52E-20	2,86E-30	7,3E-15	2,34E-13	2,91E-15	9,98E-12	0,620682
685	3,13229	9,98E-13	6,59E-09	3,4E-11	9,4E-07	9,69E-17	1E-30	7,34E-15	3,55E-10	1,01E-12	1,21E-08	0,027476
785	3,18684	3,92E-10	1,17E-06	2,1E-08	0,000102	7,6E-14	2,86E-30	1,85E-14	8,15E-08	6,38E-11	7,28E-07	2,86E-30
885	3,17294	3,85E-08	6,05E-05	2,82E-06	0,003539	2,08E-11	2,86E-30	6,78E-13	4,55E-06	8,4E-10	2,48E-05	2,86E-30
985	3,09442	1,15E-06	0,000854	6,68E-05	0,022611	1,8E-09	2,86E-30	2,1E-11	0,000083	3,88E-09	0,000391	2,86E-30
1005	3,064	2,08E-06	0,001329	0,000113	0,029871	3,93E-09	2,86E-30	3,82E-11	0,000137	4,99E-09	0,000631	2,86E-30

Таблица 3

Изменение свойств системы: $Sb_2S_3-Sb_2O_3-H_2C_6H_5O_7-H_2O$ (1:1:1:1), при $P=0,1$ МПа, $T=285-1005$ К, $\mu=27,263$ моль/кг, $MMq=23,705$ г/моль, $Rq=351,404$ Дж/(кг·К), $z=0,433$

T, К	$V \cdot 10^2, \text{ м}^3/\text{кг}$	$S, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$I, \text{ кДж}/\text{кг}$	$U, \text{ кДж}/\text{кг}$	$C_p \cdot 10^4, \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$	$\text{Mu} \cdot 10^5, \text{ Па} \cdot \text{с}$	$Lt' \cdot 10^5, \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$	$\text{Pr}' \cdot 10^3$
285	49,1565	4,304	-6081,51	-6079,24	10774,7	1,02	2382,1	680,066
385	66,4154	4,635	-5971,31	-5986,29	11183,5	1,46	5107,5	455,523
485	89,0933	5,133	-5761,85	-5796,18	11387,5	1,91	19161,9	174,819
585	109,596	5,408	-5613,66	-5667,4	20194,9	2,3	72132,3	78,599
685	137,677	5,873	-5316,38	-5394,13	39520,7	2,71	120155	78,34
785	166,88	6,226	-5057,3	-5160,8	26278,9	3,08	103633	122,787
885	193,206	6,473	-4852,53	-4980,64	15460,6	3,41	10840,7	727,446
985	215,599	6,697	-4644,93	-4795,27	14121,9	3,73	11823,5	641,59
1005	220,054	6,726	-4616,6	-4771,37	14219,2	3,79	12008,5	639,185

Распределение сурьмосодержащих частиц в газовой фазе (моль/кг) в зависимости от температуры показало, что конденсированная сурьма $Sb(c)$ имеет место в пределах от 1,72896 до 3,064 моль/кг в системе $Sb_2S_3-Sb_2O_3-H_2C_6H_5O_7-H_2O$ при температурах 485 - 1005 К. Образование сурьмосодержащих активных частиц в гетерогенных системах объясняется протеканием сложных сопряженных реакций, что и подтверждается значениями термодинамических параметров при $I < 0$, $U < 0$, а также изменением энергетических, тепловых и вязкостных свойств компонентов системы: V , S , I , U , C_p , Mu , Lt' , Pr' (табл.3).

Условные обозначения: C - рабочая концентрация, $\text{кг}/\text{м}^3$; C^* - равновесная концентрация, $\text{кг}/\text{м}^3$; C^0 - начальная концентрация, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_p' - удельная теплоемкость (равновесная), $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; I - полная энтальпия, $\text{кДж}/\text{кг}$; Mu - коэффициент динамической вязкости, $\text{Па} \cdot \text{с}$; Pr' - число Прандтля (равновесное); S - энтропия, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; T - температура, К; U - полная внутренняя энергия, $\text{кДж}/\text{кг}$; V - удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$;

Список литературы

1. Термодинамические константы веществ /Под. Ред. В.П. Глушко, ВИНТИ АН СССР, 1966. Вып.2. 95с.
2. Синярев Г.Б., Ватолин Н.А., Трусов Б.Г., Моисеев Г.К. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. - Москва: Наука, 1982.