



Title	
Author(s)	, . . . ; . . . , . . .
Citation	JOURNAL OF THE RESEARCH INSTITUTE FOR CATALYSIS HOKKAIDO UNIVERSITY, 16(3), 593-604
Issue Date	1968-10
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/24883">http://hdl.handle.net/2115/24883</a>
Type	bulletin (article)
File Information	16(3)_P593-604.pdf



[Instructions for use](#)

## ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДВУХ ТИПОВ ЦЕНТРОВ АДСОРБЦИИ НА ОКИСНЫХ АДСОРБЕНТАХ

Р. Е. Мардаleyшвили\*) и С. Н. Хаджиев\*)

(Received June 7, 1968)

В предыдущем сообщении [1] было показано, что при обработке опытных данных по адсорбции различных веществ на окисных адсорбентах, использование управления БЭТ [2] и способа точки А [3] приводят соответственно к завышенным и к заниженным значениям количества вещества, монослойно заполняющего поверхность адсорбента. Неточность определения этого количества в обоих случаях растёт с увеличением склонности данного адсорбата к полимолекулярной адсорбции и уменьшением энергии взаимодействия его молекул с поверхностью адсорбента. Неучёт этого факта является, по видимому, причиной приводимого в литературе [4] заключения о том, что количество вещества, заполняющего монослой, зависит от размера посадочных площадок, которые имеют молекулы адсорбата на поверхности данного адсорбента при данной температуре.

В действительности эта зависимость является кажущейся, а количество молекул адсорбата в заполненном монослое определяется лишь числом центров на поверхности адсорбента, на которых может происходить адсорбция.

Количество центров адсорбции на поверхности было определено нами для образцов  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$ .

В настоящей работе способ измерения истинного количества вещества в монослое был применён для исследования более широкого, чем в [1] круга адсорбатов, а также для исследования взаимосвязи между закономерностями адсорбции на чистых поверхностях, необратимой адсорбции и адсорбции на поверхности, частично заблокированной необратимо адсорбированными веществами.

### Результаты опытов и их обсуждение

На тщательно очищенных поверхностях образцов  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$

\*) Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова Химический факультет, Кафедра Химической Кинетики.

исследовалась адсорбция ряда веществ.

В некоторых опытах после заполнения монослоя с поверхности адсорбента удалялась десорбирующаяся в вакуум часть адсорбата и затем на такой поверхности, частично заблокированной необратимо адсорбированным веществом, исследовалась повторная адсорбция того же вещества или азота.

Установка, детали методик регенерации адсорбента и проведения адсорбиционных измерений описаны ранее [1, 3].

1. В серии опытов, проведенных с одной и той же навеской  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  исследовалась адсорбция  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , эфиров- $(\text{CH}_3)_2\text{O}$ ,  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ ,  $(i\text{-C}_3\text{H}_7)_2\text{O}$  и  $(n\text{-C}_3\text{H}_7)_2\text{O}$  при  $20^\circ$ , а также  $\text{NO}$  при  $-100^\circ$ . Полученные изотермы адсорбции представлены на рис. 1, на котором видно, что

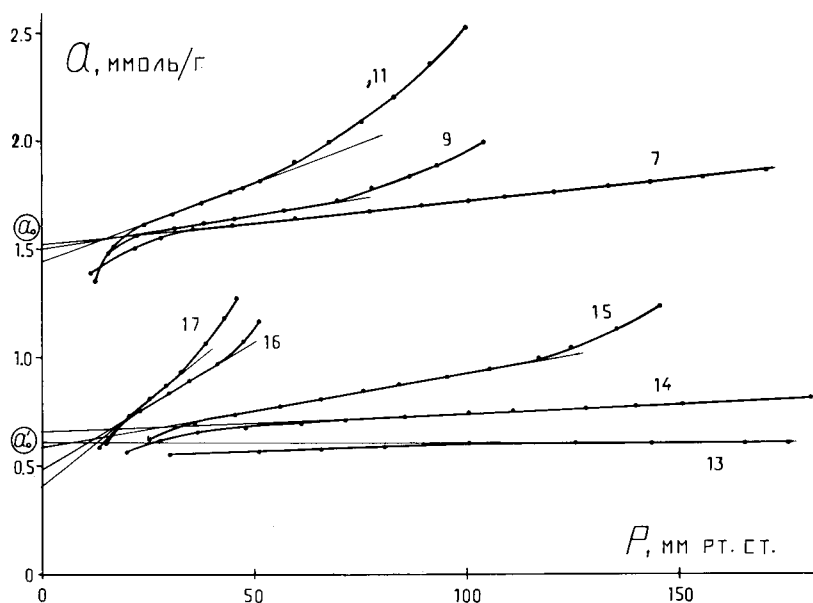


Рис. 1. Изотермы адсорбции различных веществ  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  (здесь и далее обозначения согласно нумерации в табл. 1).

эфиры и  $\text{NO}$  адсорбируются на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в количествах в 2–3 раза меньших, чем  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ .

— По данным этих изотерм находились значения  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{A}}$ , определяемые, соответственно, по уравнению БЭТ [2] и способу точки А [3] и характеризующие количества адсорбата в заполненном монослое. Значения  $a_{\text{БЭТ}}$ ,  $a_{\text{A}}$  и  $\alpha$  (наклона прямолинейного участка изотермы адсорбции

## Дифференциальное определение двух типов центров адсорбции

соответствующего вещества) приведены в табл. 1.

Как уже отмечалось ранее [1], определяемые для различных адсорбатов значения  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{А}}$  в зависимости от  $\alpha$  выражаются прямыми линиями  $a_{\text{БЭТ}}=f(\alpha)$  и  $a_{\text{А}}=\varphi(\alpha)$ , экстраполяция которых к значению  $\alpha=0$  отсекает на оси ординат отрезок  $a_0=(a_{\text{БЭТ}})_0=(a_{\text{А}})_0$ , равный по величине (в ммоль адсорбата на грамм адсорбента) истинному количеству адсорбата в заполненном монослое, а в случае адсорбции—также числу центров адсорбции на поверхности данного образца адсорбента.

Между тем, в случае исследованных нами адсорбатов, данные для этих веществ разделяются на две группы, для каждой из которых зависимости  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{А}}$  от  $\alpha$  выражаются различными парами прямых (рис. 2).

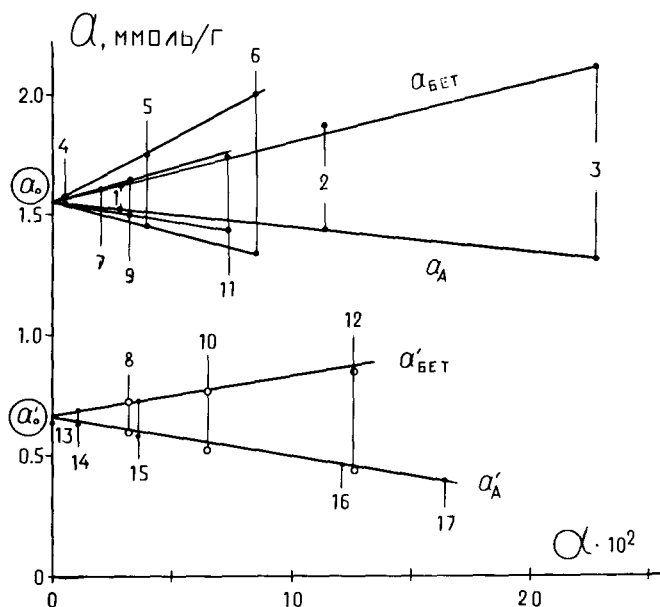


Рис. 2. Значения  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{А}}$  для адсорбции различных веществ на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  в зависимости от  $\alpha$ .

Первая пара из этих прямых, построенных по данным адсорбции  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  приводят к значению  $a_0$ , равному 1,56 ммоль/гр., что совпадает со значением этой величины, полученной ранее [1] по данным адсорбции  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$  и  $\text{O}_2$  при  $-196$  и  $-183^\circ$  на том же образце  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

Вторая пара прямых  $a'_{\text{БЭТ}}=f'(\alpha)$  и  $a'_{\text{А}}=\varphi'(\alpha)$ , построенных по данным адсорбции четырёх исследованных эфиров и  $\text{NO}$  приводит к значению  $a_0'=0,64$  ммоль на грамм  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , что составляет около 40% от значения

1,56 ммоль/гр. для количества адсорбированного в заполненном монослое каждого из указанных выше веществ.

Этот результат можно рассматривать как подтверждение высказываемого в литературе [5] представления о том, что на поверхности окисных адсорбентов могут существовать два типа центров адсорбции, обусловленных наличием в молекуле окиси двух типов атомов, в частности в случае  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$  и  $\text{O}$ .

Вместе с тем, если принять, что при  $20^\circ$  монослойная адсорбция  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  и  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , (а также  $\text{N}_2$ ,  $\text{Ar}$  и  $\text{O}_2$  при  $-196$  и  $-183^\circ\text{C}$  происходит как на  $\text{Al}$ -, так и на  $\text{O}$ -центрах  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , то отсюда следует, что составляющая 40% от её количества адсорбция эфиров и  $\text{NO}$  соответствует монослойному заполнению только  $\text{Al}$ -центров.

С другой стороны этот результат означает, что соотношение количеств  $\text{Al}$ - и  $\text{O}$ -центров адсорбции на поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  совпадает со стехиометрическим соотношением атомов алюминия и кислорода, т.е. как и в объёме, так и на поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  оно равно 2 : 3.

Дальнейшая экспериментальная проверка заключений о двух типах центров адсорбции и соотношений их количеств была проведена в описанных ниже опытах.

2. В серии опытов после измерения адсорбции каждого из адсорбатов  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  или  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  проводилась их десорбция с поверхности при  $20^\circ$  при откачке десорбирующейся части газа до достижения

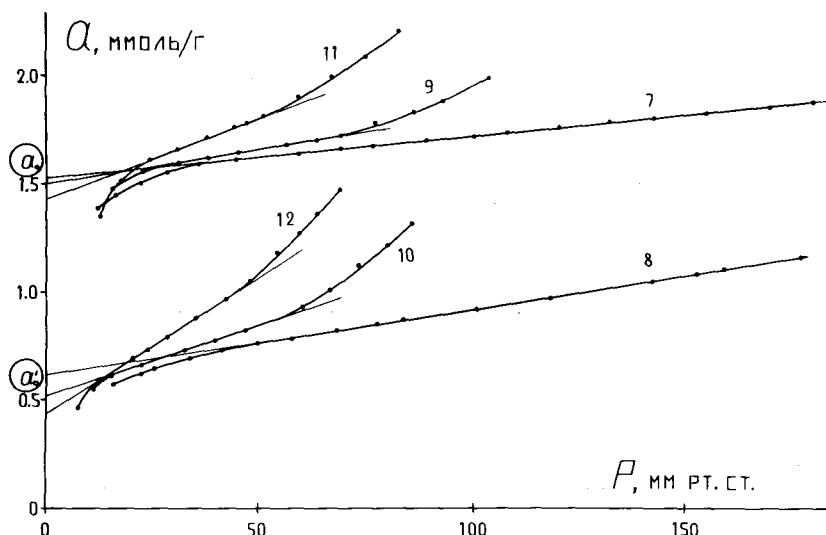


Рис. 3. Изотермы первичной и повторной адсорбции на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ .

## Дифференциальное определение двух типов центров адсорбции

в системе давления  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  мм рт. ст. При повторной адсорбции этих же веществ в соответствующих опытах (рис. 3) были найдены приведённые в таблице 1 значения  $a'_{БЭТ}$  и  $a'_A$ , которые оказались меньшими по сравнению со значениями  $a_{БЭТ}$  и  $a_A$  для первичной адсорбции этих же веществ на чистой поверхности  $\gamma$ - $Al_2O_3$ .

На рис. 2 видно, что данные для повторной адсорбции  $NH_3$ ,  $CH_3OH$

ТАБЛИЦА № 1

Опытные данные по первичной и повторной (II) адсорбции различных веществ на  $\gamma$ - $Al_2O_3$ , MgO и  $SiO_2$  (точность измерений 3–5% от измеряемой величины).

№№ опытов	Адсорбат	$T^\circ C$	$10^3 \alpha$ ммоль гр.мм рт.ст.	$a_A$ ммоль гр.	$a_{БЭТ}$ ммоль гр.	$a_0, a'_0$ ммоль гр.	$\frac{a'_0}{a_0} 100\%$
Адсорбент $\gamma$ - $Al_2O_3$							
1.	$N_2$	–196	2,8	1,52	1,62	1,56	
2.	Ar	–196	11,4	1,44	1,87	1,56	
3.	$O_2$	–196	22,8	1,32	2,12	1,56	
4.	$N_2$	–183	0,5	1,55	1,58	1,56	
5.	Ar	–183	3,9	1,45	1,75	1,56	
6.	$O_2$	–183	8,5	1,34	2,00	1,56	
7.	$NH_3$	20	2,0	1,52	1,61	1,56	
8.	$NH_3$ -II	20	3,2	0,60	0,73	0,64	41
9.	$CH_3OH$	20	3,2	1,50	1,65	1,56	
10.	$CH_3OH$ -II	20	6,5	0,52	0,77	0,64	41
11.	$CH_3COCH_3$	20	7,3	1,44	1,74	1,56	
12.	$CH_3COCH_3$ -II	20	12,6	0,44	0,85	0,64	41
13.	NO	–100	0	0,60	0,62	0,61	37
14.	$(CH_3)_2O$	20	1,1	0,63	0,69	0,64	41
15.	$(C_2H_5)_2O$	20	3,6	0,58	0,73	0,64	41
16.	$(i-C_3H_7)_2O$	20	12,1	0,47	—	0,64	41
17.	$(n-C_3H_7)_2O$	20	16,4	0,40	—	0,64	41
18.	$N_2/C_2H_5OH$ -II	–196	3,1	0,61	0,80	0,65	41,5
19.	$N_2/CH_3COCH_3$ -II	–196	4,1	0,59	0,82	0,65	41,5
20.	$N_2/CH_3OH$ -II	–196	5,0	0,57	0,89	0,65	41,5
21.	$N_2/H_2O$ -II	–196	3,0	1,48	1,60	1,54	99
22 <sup>а</sup>	$N_2$	–196	$P_{N_2} = 96$ мм рт. ст. = 100%				
22 <sup>б</sup>	$N_2/CO$ -II	–196	$P'_{N_2} = 57$ мм рт. ст.				59,4

Р. Е. Мардаleyшвили и С. Н. Хаджиев

1	2	3	4	5	6	7	8
Адсорбент MgO							
23.	N <sub>2</sub>	-196	0,7	1,47	1,49	1,48	
24.	Ar	-196	7,1	1,41	1,55	1,48	
25.	O <sub>2</sub>	-196	12,3	1,37	1,62	1,48	
26.	CH <sub>3</sub> OH	20	2,3	1,44	1,52	1,48	
27.	CH <sub>3</sub> OH-II	20	2,4	0,70	0,82	0,75	51
28.	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	20	3,7	0,66	0,95	0,75	51
29.	NH <sub>3</sub>	20	1,4	0,72	0,83	0,75	51
Адсорбент SiO <sub>2</sub>							
30.	N <sub>2</sub>	-196	4,6	1,73	2,05	1,78	
31.	Ar	-196	10,0	1,64	2,16	1,78	
32.	O <sub>2</sub>	-196	25,6	1,32	2,52	1,78	
33.	CH <sub>3</sub> OH	20	6,1	1,06	1,35	1,20	67,5

и CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> в зависимости от  $\alpha$  могут быть представлены теми же прямыми, которые были получены для первичной адсорбции исследованных четырёх эфиров и NO. Поэтому, значение  $a_0$  для количества вещества, заполняющего монослой при повторной адсорбции NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>OH и CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> совпадает со значением количества каждого из эфиров и NO, заполняющих монослой при их первичной адсорбции.

Сопоставляя между собой полученные при первичной и вторичной адсорбции NH<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>OH и CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub> значения  $a_0$ ,  $a'_0$  и разности  $(a_0 - a'_0)$  (рис. 2, 3; табл. 1) можно заметить, что их отношение  $a_0 : a'_0 : (a_0 - a'_0) = 1,56 : 0,64 : 0,92 = 5 : 2,06 : 2,95$  практически совпадает с отношением общего числа атомов в молекуле Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и чисел атомов алюминия и кислорода, т. е. 5 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : 2 (Al<sub>2</sub>) : 3 (O<sub>3</sub>).

3. В связи с приведёнными результатами представляют интерес данные, полученные, в двух сериях опытов по исследованию необратной адсорбции CO при -196°.

В одной из этих серий опытов было измерено количество CO, оставшейся на поверхности  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, после откачки при -196° (до достижения в системе давления 10<sup>-5</sup> мм рт. ст.) десорбирующейся части газа, предварительно адсорбированного в количестве, достаточном для монослойного заполнения обоих типов центров адсорбции. Это количество CO необратимо адсорбированной при -196°; измеренное после её десорбции при 20° составило 0,69 ммоль на грамм  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Поскольку, как уже было

## Дифференциальное определение двух типов центров адсорбции

установлено [3], на поверхности одного грамма этого образца  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  имеется 1,56 ммоль центров адсорбции, то измеренное количество  $\text{CO}$  соответствует необратимой адсорбции на 41,5% от их общего числа, что с точностью измерений (1–3%) совпадает с долей атомов  $\text{Al}$  от числа атомов  $\text{Al}$  и  $\text{O}$  в окиси алюминия.

Вместе с тем можно отметить, что необратимая адсорбция  $\text{CO}$  происходит на  $\text{Al}$ -центрах, в отличие  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , для которых этот процесс имеет место на  $\text{O}$ -центрах.

4. Для проверки заключения о том, что необратимая адсорбция обусловлена локализацией его молекул на одном из 2-х типов центров адсорбции, были сделаны следующие серии опытов.

В одной из них измерялась адсорбция  $\text{N}_2$  при  $-196^\circ$  на чистой поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и на том же образце, но покрытом необратимо адсорбированной  $\text{CO}$ . Данные этих измерений приведены на рис. 4 в коорди-

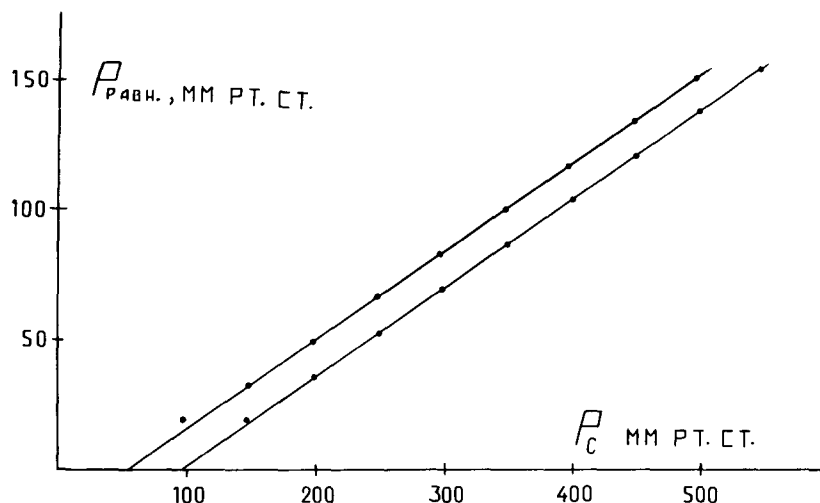


Рис. 4. Изотермы адсорбции азота на чистой поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и заблокированной несратимо адсорбированной  $\text{CO}$ , в координатах: общее количество азота в системе-равновесное давление его над адсорбентом.

натах, принятых в работе. [3]. Экстраполяция линейных участков соответствующих кривых на этом рисунке отсекает на оси абсцисс отрезки, величины которых ( $P_{\text{N}_2}$  мм рт. ст. в объеме  $V$  т. н. манометрической части установки) позволяет определить значения  $a_A$  для адсорбции азота в каждом из этих случаев по формуле (3).

$$a_A = \frac{P_{\text{N}_2} \cdot V \cdot 273}{T}$$

A



Р. Е. Мардалейшвили и С. Н. Хаджиев

где  $T$ —температура “тёплой” части установки (обычно—коматная).

На рис. 2 видно, что истинное количество вещества заполняющего монослой  $a_0$  в случае азота с достаточной точностью может быть определено по значениям адсорбции его, найденным как по способу точки А, так и по методу БЭТ, т. е. для адсорбции азота на  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  при  $-196^\circ$   $a_0 \approx a_{\text{БЭТ}} \approx a_A$ . Поэтому для характеристики изменения числа центров адсорбции чистой поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , обусловленного блокировкой части их необратимо адсорбированной  $\text{CO}$ , вместо отношения истинных количеств азота, заполняющего монослой в каждом из этих случаев, можно пользоваться значениями  $a_A$  или согласно уравнения 1-величинами давления азота, определяемыми экстраполяцией соответствующих кривых на рис. 4.

Для образца  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  с чистой поверхностью экстраполированное значение  $P_{\text{N}_2}$  составляет 96 мм рт. ст., тогда как в присутствии необратимо адсорбированной  $\text{CO}$  это значение  $P'_{\text{N}_2}$  уменьшается до 57 мм рт. ст.

При сопоставлении данных 3 и 4 серий опытов следует, что  $\text{CO}$  необратимо адсорбируется на 40% от общего количества центров адсорбции, оставляя при этом свободными 60% центров, на которых и происходит вторичная адсорбция азота.

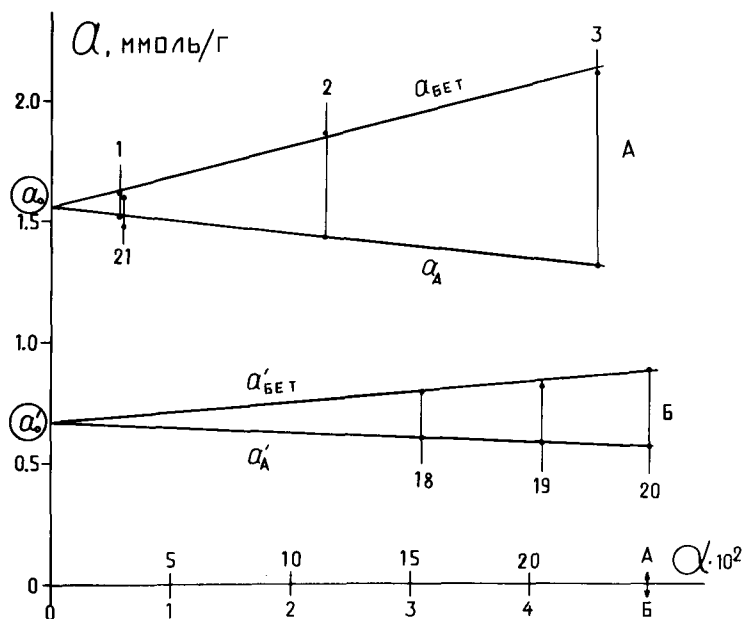


Рис. 5. Значение  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_A$  для адсорбции азота на чистой поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и на отравленной необратимо адсорбированными веществами.

## Дифференциальное определение двух типов центров адсорбции

5. Измерения, аналогичные предыдущим, были проведены при определении адсорбции азота при  $-196^\circ$  на поверхности чистого образца  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  и на том же образце после блокировки части его поверхности необратимо адсорбированными  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . На рис. 5 (в табл. 1) представлены значения  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{А}}$ , вычисленные по данным изотерм, от соответствующего значения  $\alpha$ . На этом рисунке представлены также данные для адсорбции аргона и кислорода, которые позволяют определить точное значение количества центров адсорбции на чистой поверхности окиси алюминия  $a_0$ , равное 1,56 ммоль на грамм  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ . По значениям  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_{\text{А}}$  для адсорбции азота на поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , частично заблокированной необратимо адсорбированными  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  или  $\text{CH}_3\text{COCH}_3$ , находим, что количество его, заполняющего монослой в этом случае составляет 0,62 ммоль/гр., т.е. примерно 40% от монослойной адсорбции  $\text{N}_2$  на чистой поверхности.

Таким образом, если первичная адсорбция исследованных в этой серии опытов веществ происходит на всех Al- и O-центрах адсорбции поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ , то необратимая адсорбция их имеет место на 60% от общего количества этих центров, а вторичная адсорбция азота происходит на оставшихся свободными 40% центрах адсорбции\*).

6. Представлялось интересным проверить, насколько установленные для адсорбции  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  закономерности имеют общий характер, т.е. выполняются ли они также и в случае других окисных адсорбентов. С этой целью были проведены опыты по изучению адсорбции различных веществ на  $\text{MgO}$  и  $\text{SiO}_2$ .

Очевидно, что в случае справедливости сделанных нами заключений для  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  также и для других окислов, два типа центров адсорбции должны быть обнаружены и на этих адсорбентах, причем соотношение их количеств  $a_0 : a'_0 : (a_0 - a'_0)$  должно составить:

на  $\text{MgO}$ —2 (MgO) : 1 (Mg) : 1 (O)

на  $\text{SiO}_2$ —3 (SiO<sub>2</sub>) : 1 (Si) : 2 (O<sub>2</sub>)

в отличие от  $\gamma_2\text{-AlO}_3$ , для которой это соотношение равно:

5 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) : 2 (Al<sub>2</sub>) : 3 (O<sub>2</sub>)

На рис. 6–9 в табл. 1 приведены результаты измерений адсорбции

\*) Заметим, что наличие на поверхности  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$  необратимо адсорбированной воды практически не изменяет адсорбционные свойства этого окисла по отношению к азоту. Это означает, что в этом случае азот адсорбируется, повидимому, не непосредственно на Al- и O-центрах, а при посредстве OH групп, количество которых то же, что и число “заблокированных” ими центров адсорбции.

Р. Е. Мардалейшвили и С. Н. Хаджиев

различных веществ на MgO и SiO<sub>2</sub>, аналогичных проведенным на  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. На основании этих данных можно заключить, что и в случае MgO и SiO<sub>2</sub> наблюдаются те же закономерности, что и для  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, причем соотношения экспериментально найденных величин  $a_0 : a'_0 : (a_0 - a'_0)$  равны:

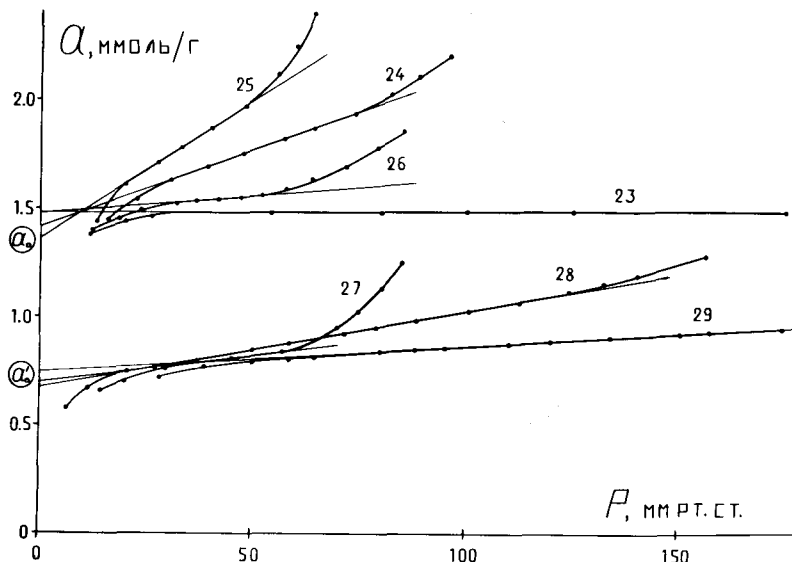


Рис. 6. Изотермы адсорбции различных веществ на MgO.

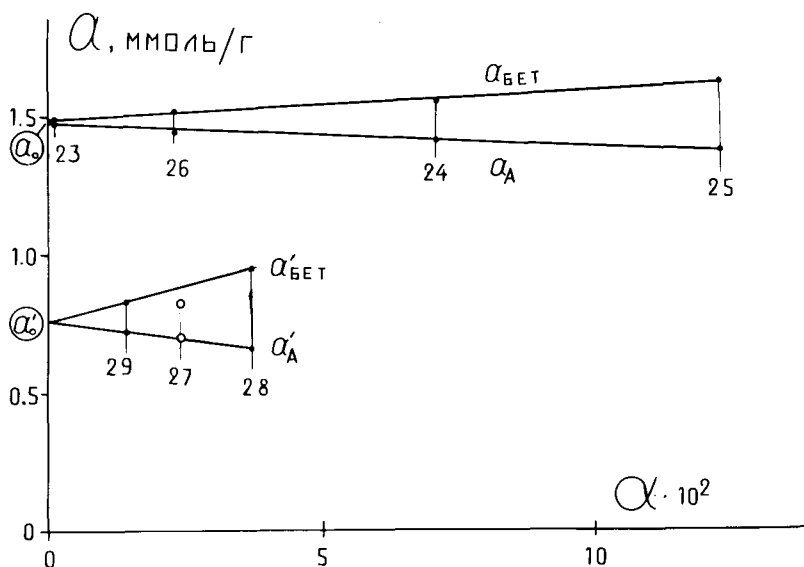
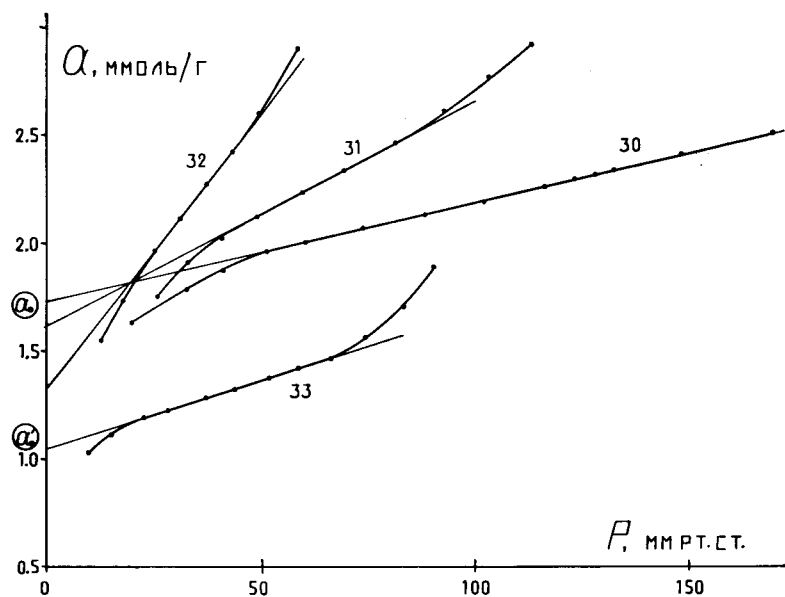
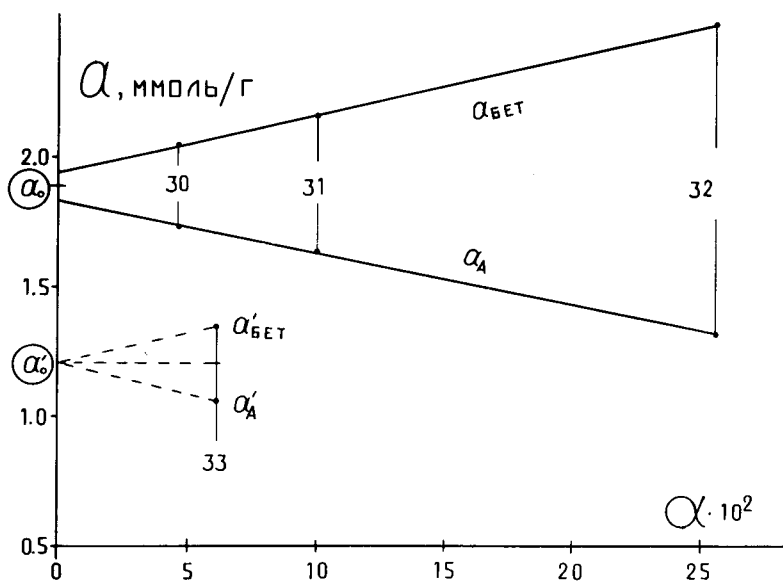


Рис. 7. Значения  $a_{\text{БЭТ}}$  и  $a_A$  для адсорбции на MgO.

## Дифференциальное определение двух типов центров адсорбции

Рис. 8. Изотермы адсорбции различных веществ на  $\text{SiO}_2$ .Рис. 9. Значения  $\alpha_{\text{BET}}$  и  $\alpha_{\text{A}}$  для адсорбции на  $\text{SiO}_2$   
(значение  $\alpha_0$  определено как  $1/2 (\alpha'_{\text{BET}} + \alpha_{\text{A}})$ ).

Р. Е. Мардалейшвили и С. Н. Хаджиев

для MgO—1,48 : 0,75 : 0,73 = 2 : 1,03 : 0,97

для SiO<sub>2</sub>—1,78 : 1,20 : 0,58 = 3 : 2,02 : 0,98

в удовлетворительном согласии с ожидаемыми значениями этих соотношений. То данные, полученные в опытах с  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, SiO<sub>2</sub> подтверждают сделанные нами на основании результатов первой серии опытов заключения о реальности двух типов центров адсорбции на поверхности окисных адсорбентов, а также—о равенстве соотношений количества каждого типа этих центров и количеств атомов основного элемента и кислорода в соответствующих окислах.

В связи с результатами нашего исследования можно отметить также, что явления обратимой и необратимой адсорбции на окисных адсорбентах очевидно обуславливаются различием прочности связи молекул адсорбата (или продуктов их превращения) с каждым из двух типов центров адсорбции. Поэтому можно ожидать, что возможность существования необратимой адсорбции определяется не только свойствами адсорбента и адсорбата, но также и температурой. (К настоящему времени опубликованы [6] еще некоторые результаты наших последующих исследований).

#### Литература

- 1) Р. Е. Мардалейшвили и С. Н. Хаджиев, This Journal, 16, 545 (1968).
- 2) S. BRUNAUER, P. H. EMMETT and E. TELLER, J. Am. Chem. Soc., 60, 309 (1938).
- 3) Р. Е. Мардалейшвили и К. А. Кригер, This Journal. 16, 537 (1968).
- 4) С. Брунауэр, "Адсорбция газов и паров" т. 1 ИЛ Москва 1948 г.
- 5) Б. Трепнел, "Хемосорбция" ИЛ Москва 1958 г.
- 6) Р. Е. Мардалейшвили и С. Н. Хаджиев, Вестник Моск. университета, сер химии № 3, 92, 1967, № 4, 15, 1967.