

UDC 546.284:636.7

SCOPUS CODE 1606

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-97-107>

## ბუნებრივი რესურსის ბაზაზე მიღებული სორბენტებით CO<sub>2</sub>-ის ადსორბციისას შესაძლო პროცესთა თერმოდინამიკური ანალიზი

<b>ვლადიმერ გორდელაძე</b>	ქიმიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: v.gordeladze@gtu.ge
<b>მანანა კეკელიძე</b>	ქიმიისა და ბიოლოგიური ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: m.kekelidze@gtu.ge
<b>ნინო მუხადგვერდელი</b>	ქიმიისა და ბიოლოგიური ინჟინერიის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 69 E-mail: ninomukhadgverdeli@gmail.com

### რეცენზენტები:

**ო. მიქაძე**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: omiqadze@gtu.ge

**მ. რაზმაძე**, სტუ-ის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის ასოცირებული პროფესორი

E-mail: m.razmadze@mail.ru

**ანოტაცია.** ნაშრომში განხილულია საქართველოს ბუნებრივი რესურსების გამოყენებით (ძირითადად, ცეოლითის საფუძველზე) მიღებული სორბენტებით, ნახშირბადის დიოქსიდის ადსორბციისას, ზოგი სავარაუდო პროცესის შესაძლებლობა. მოკლედ არის დახასიათებული ძეგვის ადგილმდებარეობის საბადოს ცეოლითები. ნაჩვენებია აღებული სინჯების გასაშუალოებული ქიმიური შედგენილობა. კვლევისთვის შერჩეულია სავარაუდოდ შესაძლო რეაქციების სამი სერია. საცნობა-

რო წყაროების მიხედვით მოძიებულია რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების თერმოდინამიკური თვისებების სტანდარტული მოლური მნიშვნელობები. ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმუზაციის მეთოდით დადგენილია სავარაუდო რეაქციების თავისუფალი ენერჯისა და წონასწორობის მუდმივას სიდიდეები და ნიშნები 400-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში. მათი ტემპერატურული დამოკიდებულება გამოხატულია გრაფიკულად. რეაქციები შეფასებულია თერმოდინამიკური თვალსაზრისით.

**საკვანძო სიტყვები:** ადსორბცია; თერმოდინამიკური პარამეტრები; ნახშირბადის დიოქსიდი; რეაქცია; ტემპერატურა; ცეოლითი.

## შესავალი

XX ს-ის 70-იანი წლებიდან საქართველოს ცეოლითური საბადოები პრაქტიკულად სრულად მოძიებული და გახსნილი იყო. მათ მნიშვნელოვანი უპირატესობა აქვთ კლასიკურ ახალზელანდიურ საბადოებთან, რომელთა მილისებრი წყობა გეოთერმულ წყაროებს ახლავს თან. საქართველოში ცეოლითურ ბუდობებს სტატიფორმული მდგომარეობა აქვთ და ხელმისაწვდომებია ღია კარიერული მოპოვებისთვის. ხოლო, კლინოფთილოლითის შემცველობა მათში 60%-ს აჭარბებს, ამიტომ არ საჭიროებს გამდიდრებას. საქართველოში ცეოლითების მარაგი ოც მილიონ ტონას აღემატება[1].

ცეოლითები ალუმინსილიკატებია, რომელთა კარკასული აღნაგობის ფართობები (სიბრტყეები) გაჯერებულია  $H_2O$ -ს მოლეკულებითა და პერიოდული სისტემის პირველი და მეორე ჯგუფის იონებით ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ). მათ ახასიათებს ძვრადობა, რითაც იონური მიმოცვლა და დეჰიდრატაცია-ჰიდრატაცია ხდება შესაძლებელი. ბუნებრივი ცეოლითების კარკასული სტრუქტურა წვეროებით დაკავშირებული ტეტრაედრებია, ცენტრებში მოთავსებული სილიციუმითა და ალუმინით, ხოლო წვეროებში – ჟანგბადით. თითო ატომი ჟანგბადი ორი ტეტრაედრისთვის საერთოა. ტეტრაედრში კარკასის უარყოფითი მუხტი  $Si^{4+}$ -ის  $Al^{3+}$ -ით ჩანაცვლებით არის გამოწვეული. მათი კომპენსირება, სტრუქტურულ

არხებში  $H_2O$ -ს მოლეკულებთან ერთად მოფი 1 ან 2-მუხტიანი კათიონებით მიმდინარეობს. სხვა კათიონებით ამ კათიონთა ჩანაცვლება ელექტროქიმიური ეკვივალენტობის პრინციპის მიხედვით ხდება (მათ მიმოცვლით კათიონებს უწოდებენ). ეს სილიციუმისა და ალუმინის კათიონებს არ ეხება[2].

ცეოლითები ჰიდრატირებული ალუმინსილიკატებია. მინერალოგიაში „ცეოლითურ წყალს“  $H_2O$ -ს იმ რაოდენობას უწოდებენ, რომლის ცეოლითიდან მოცილება მისი სტრუქტურის დაშლის გარეშე შესაძლებელი. თუმცა, შესაძლებელია საწყისი მდგომარეობის მთლიანად აღდგენა, იმავე ოდენობის  $H_2O$ -ს შთანთქმით. ანუ მისი ჰიდრატაცია-დეჰიდრატაცია შექცევადი პროცესია. ცეოლითებში  $H_2O$  წარმოდგენილია ასოციატებისა და ცალკეული მოლეკულების სახით.

## ძირითადი ნაწილი

კვლევის მიზანია, ბუნებრივი კლინიფთილოლითური ცეოლითური ტუფის საფუძველზე და მასთან ერთად სხვა ბუნებრივი რესურსის გამოყენებით  $CO_2$ -ის მაღალი სორბციული უნარის მქონე ცვეთამედეგი სორბენტების შექმნა. პრობლემის არსი ნამწვი აირებით  $CO_2$ -ის ემისიის სიჭარბით გამოწვეული გლობალური დათბობის პრობლემის პრევენციის ხელშეწყობაა.

პირველ ცხრილში მოყვანილია ძველის ადგილმდებარეობის ცეოლითის საბადოდან აღებული ნიმუშების გასამუალოებელი ოქსიდური შედგენილებები. ნედლეულის ანალიზები ჩატარებულია კასპის ჰაიდელბერგცემენტის ქარხნის ლაბორატორიაში.

## ცეოლიტების ქიმიური შედგენილობა

მასალა	ოქსიდური შედგენილობა(მას.%)									
	ხ.დ.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
ცეოლიტი 1	13,92	55,26	13,61	5,37	5,29	1,45	0,10	1,94	2,32	0,74
ცეოლიტი 2	-	64,20	15,81	6,24	6,15	1,68	0,11	2,26	2,69	0,86

სადაც, ცეოლიტი-1 ძეგვის ადგილმდებარეობის ცეოლიტის საბადოს სხვადასხვა ნაკვეთიდან აღებული ნიმუშების გასაშუალოებული ოქსიდური შედგენილობაა; ცეოლიტი-2-ის ნიმუშების გასაშუალოებული ოქსიდური შედგენილობა ხურვებითი დანაკარგის გარეშე.

## I სერია

- $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$ ;
- $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$ ;
- $\text{K}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{CO}_3$ ;
- $\text{MgO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{MgCO}_3$ .

## II სერია

- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;
- $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2$ .

## III სერია

- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ ;
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
- $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2$ ;
- $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ .

ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის სიდიდისა და ნიშნის დადგენით შესაძლებელია, მუდმივი წნევისას მიმდინარე, ნებისმიერი რეაქციის თავისთავადობის და მიმართულების პროგნოზირება. ხოლო, წონასწორობის მუდმივის სიდიდისა და ნიშნის დადგენით – მსჯელობა რეაქციის შეუქცევადობაზე.

რეაქციის ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის ცვლილების განსაზღვრის მეთოდს ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმიზაციის მეთოდს უწოდებენ. რადგან,  $\Delta G^\circ$ -ს უარყოფითი მნიშვნელობები რეაქციის ენერგეტიკული შესაძლებლობის მაჩვენებელია.

განსახვავებენ  $\Delta G^\circ$ -ის განსაზღვრის კლასიკურ და გამარტივებულ ხერხებს (ულიხის პირველი და მეორე მიახლოებები, შვარცმან-ტემკინისა და კლასიკური მეთოდები). კლასიკურს უწოდებენ საშუალებას, რომელიც დამყარებულია თერმოდინამიკის ძირითად დებულებებზე. გამარტივებული, იმავე

ქვემოთ ნაჩვენებია ამ სორბენტებით CO<sub>2</sub>-ის ადსორბციისას, ზოგიერთი სავარაუდოდ შესაძლო პროცესის (რეაქციის) ჩამონათვალი და მათი თერმოდინამიკური ანალიზი:

დებულებებს ეფუძნება, მაგრამ მათში ანგარიშის გამარტივებისთვის (ჯიბსის თავისუფალი ენერჯის მინიმიზაციის მეთოდისადმი ექსპრესმეთოდის რანგის მინიჭებისთვის) მიიღება არაერთი დაშვება, რომლებიც, ამა თუ იმ ხარისხში მოქმედებენ გაანგარიშების შედეგების სიზუსტეზე. ამის მიუხედავად მათი გამოყენება შესაძლებელია, განსაკუთრებით თუ საჭიროა რეაქციის თერმოდინამიკური პარამეტრების თვისობრივი შეფასება[3,4].

საცნობარო ლიტერატურის მიხედვით მოძიებული, რეაქციაში მონაწილე ნივთიერებების თერმოდინამიკური პარამეტრების მნიშვნელობები და მათი გასაშუალოებული სიდიდეები მოცემულია დანართებში I(ცხრ. 1.1-1.7) და II(ცხრ. 2.1, 2.2) [5-9].

თერმოდინამიკური გათვლები ჩატარებულია ულიხის პირველი მიახლოებით 400-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში (ცხრილი 2,3).

სავარაუდო რეაქციების  $\Delta H^\circ_{298,6}$  (კკალ/მოლი) და  $\Delta S^\circ_{298,6}$  (კალ/მოლი·K)

სერია I			სერია II			სერია III		
N	$\Delta H^\circ_{298,6}$	$\Delta S^\circ_{298,6}$	N	$\Delta H^\circ_{298,6}$	$\Delta S^\circ_{298,6}$	N	$\Delta H^\circ_{298,6}$	$\Delta S^\circ_{298,6}$
1	-42,52	-39,72	1	-27,07	-31,90	1	151,56	92,44
2	-76,78	-36,26	2	-26,41	-13,58	2	109,09	52,72
3	-98,69	-39,21				3	136,11	84,62
4	-27,21	-41,84				4	-109,09	-52,72

სავარაუდო რეაქციების  $\Delta G^\circ_{T,6}$  (კკალ/მოლი) და  $LgK_{P,T}$  400-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში

N	თერმოდ. პარამეტრი	400 K	600 K	800 K	1000 K	1200 K
1	2	3	4	5	6	7
სერია-I						
1	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-26,63 14,55	-18,69 6,80	-10,74 2,93	-2,80 0,62	5,14 --0,94
2	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-62,13 33,90	-54,81 19,70	-47,48 12,90	-40 16 8,70	-32,88 5,90
3	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-83,01 45,30	-75,16 27,40	-67,32 18,40	-59,48 12,90	-51,63 9,40
4	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-10,47 5,70	-2,11 0,76	6,14 -1,67	14,63 -3,19	22,99 -4,19
სერია-II						
1	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-14,31 7,82	-7,93 2,89	-1,55 0,42	4,83 -0,90	11,21 -2,04
სს	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-21,01 11,48	-18,22 6,63	-15,55 4,26	-12,83 2,82	-10,11 1,86
2						
სერია-III						
1	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	114,58 -60,95	96,10 -35,00	77,61 -21,20	59,20 -12,92	40,63 -7,40
2	$\Delta G^\circ_{298,6} LgK_{P,T}$	88,00 -48,07	77,48 -28,22	66,91 -18,27	56,37 -12,32	45,82 -8,34
3	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	102,26 -55,86	85,34 -31,08	68,41 -18,68	51,49 -11,25	34,57 -6,29
4	$\Delta G^\circ_{T,6} LgK_{P,T}$	-88,00 48,07	-77,48 28,22	-66,91 18,27	-56,37 12,32	-45,22 8,34

1-2 სურ-ებზე ნაჩვენებია I და II სერიის რეაქციები  $\Delta G^\circ_{T,6-T}$  და  $LgK_{P,T-T}$  დამოკიდებულების გრაფიკული გამოსახულებები 400-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში. III სერიის 1-3 რეაქციების

თერმოდინამიკური მახასიათებლების მიხედვით პროცესები ენერგეტიკულად შეუძლებელია. რეაქცია 4-ში პროცესი თავისთავადი და შეუქცევადია.

**დასკვნა**

თერმოდინამიკური გათვლები ულიხის პირველი მიახლოებით 400-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში გვიჩვენებს, რომ:

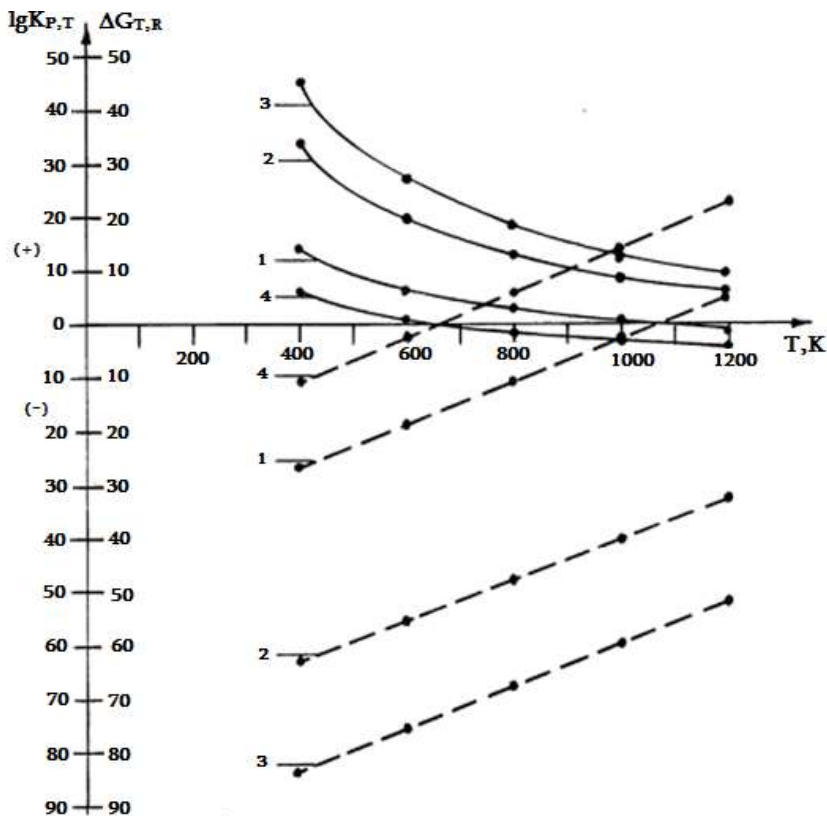
სერია I -- რეაქცია 1-ში პროცესი თავისთავადია 1060 K-მდე, შეუქცევადია 970 K-მდე, 970-1170 K ტემპერატურულ ინტერვალში შექცევადია სხვადასხვა ხარისხით; რეაქცია 2, 3-ში პროცესი თავისთავადი და შეუქცევადია; რეაქცია 4-ში პროცესი წონასწორობაშია 640 -ზე, თავისთავადია 640 K-მდე, შეუქცევადია 470 -მდე, 470-1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში შექცევადია სხვადასხვა ხარისხით.

სერია II -- რეაქცია 1-ში პროცესი წონასწორობაშია 850 K-ზე, თავისთავადია 850 K-მდე, შეუქცევადია 550 K-მდე, 550 -- 1200 K ტემპერატურულ

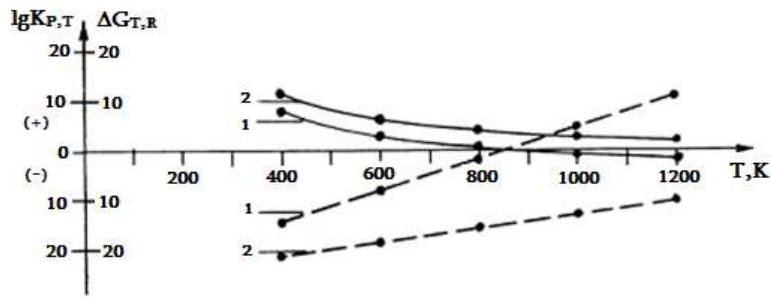
ინტერვალში შექცევადია სხვადასხვა ხარისხით; რეაქცია 2-ში პროცესი თავისთავადია, 800--1200 K ტემპერატურულ ინტერვალში შექცევადია სხვადასხვა ხარისხით.

სერია III -- რეაქცია 1, 2, 3-ში ენერგეტიკულად შეუძლებელია; რეაქცია 4-ში პროცესი თავისთავადი და შეუქცევადია.

კვლევა ხორციელდება შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური მხარდაჭერით, გრანტი AR-22-2017 “CO<sub>2</sub>-ს სორბენტები ბუნებრივ ცეოლითთა ბაზაზე, სინთეზის/გამოყენების/უტილიზაციის ტექნოლოგიური იდეის კონცეპციის ფორმულირება, გამოყენებითობის დადგენა და დამტკიცება ლაბორატორიულ გარემოში ექსპერიმენტაციით“.



სურ. 1. სერია I რეაქციების  $\Delta G^{\circ}_{T,6}$  -T(წყვეტილი) და  $LgK_{P,T}$  -T დამოკიდებულებები.



სურ. 2. სერია II რეაქციების  $\Delta G^{\circ}_{T,R}$  -T (წყვეტილი) და  $\lg K_{p,T}$  -T დამოკიდებულებები.

დანართი I

ცხრილი 1.1. ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები										
	CO					H <sub>2</sub>					
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	
$\Delta H^{\circ}_{f,298}$ კკალ/მოლი	-26,416	-26,40	-	-26,416	-26,40	0	0	0	0	0	
$\Delta G^{\circ}_{f,298}$ კკალ/მოლი	-32,82	-32,80	-	-32,78	-32,76	0	0	0	0	0	
$S^{\circ}_{f,298}$ კალ/მოლი·K	47,28	47,20	-	47,21	47,18	31,199	31,20	31,21	31,195	31,17	
$C^{\circ}_{p,298}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	6,96	6,96	-	-	-	-	6,89	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	6,6	-	-	6,78	-	6,5	-	-	6,52
	b·10 <sup>3</sup>	-	1,2	-	-	0,98	-	0,8	-	-	0,79
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-	-	-	-0,11	-	0,1	-	-	0,12

ცხრილი 1.2.

ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები										
	CO <sub>2</sub>					H <sub>2</sub> O					
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	
$\Delta H^{\circ}_{f,298}$ კკალ/მოლი	-94,05	-94,10	-94,05	-94,05	-93,99	-68,32	-68,30	-	-68,31	-68,27	
$\Delta G^{\circ}_{f,298}$ კკალ/მოლი	-94,26	-94,3	-94,26	-94,26	-94,19	-56,69	-56,70	-	-56,70	-56,66	
$S^{\circ}_{f,298}$ კალ/მოლი·K	51,06	51,1	51,06	51,07	51,03	-16,73	-16,70	-	16,75	21,48	
$C^{\circ}_{p,298}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	8,87	8,86	-	-	-	17,00	17,98	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	10,6	10,55	-	10,54	-	18,00	-	-	9,32
	b·10 <sup>3</sup>	-	2,1	2,16	-	2,16	-	-	-	-	18,31
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-2,1	-2,04	-	-2,04	-	-	-	-	2,86

**ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები**

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები									
	Na <sub>2</sub> O					K <sub>2</sub> O				
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-99,83	-	-99,40	-99,15	-99,83	-86,42	-	-86,40	-72,35	-
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-89,95	-	-90,00	-89,90	-90,58	-76,31	-	-76,22	-63,23	-
$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	17,50	-	17,40	17,99	17,93	23,45	-	23,50	25,00	-
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	16,50	16,45	-	-	-	18,20	-
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	-	15,40	-	18,42	-	-	-	-
	b·10 <sup>3</sup>	-	-	5,4	-	4,62	-	-	-	-
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-	-	-	-3,01	-	-	-	-

ცხრილი 1.4.

**ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები**

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები										
	MgO					CaO					
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-143,81	-143,80	-143,84	-143,76	-143,66	-151,89	-61,20	-151,9	-151,79	-151,69	
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-136,01	136,10	-136,13	-136,05	-135,97	-144,41	-54,10	-144,4	-144,25	-144,13	
$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	6,46	6,40	6,40	6,47	6,47	9,60	13,10	9,50	9,10	9,09	
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	8,89	8,89	-	-	-	10,05	10,04	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	10,20	10,18	-	11,70	-	9,70	11,67	-	11,85
	b·10 <sup>3</sup>	-	1,70	1,74	-	0,75	-	2,10	1,08	-	1,08
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-1,50	-1,48	-	-2,75	-	-	-1,56	-	-1,65

ცხრილი 1.5.

**ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები**

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები									
	CaCO <sub>3</sub>					Ca(OH) <sub>2</sub>				
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-288,27	-288,60	-288,45	-288,44	-288,25	-235,66	-235,60	-235,80	-235,45	-235,12
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-269,80	-270,00	-269,78	-269,69	-269,50	-214,58	-214,7	-214,33	-214,52	-214,37



$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	21,50	22,20	22,20	21,92	21,93	18,90	20,00	18,20	19,93	19,92	
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	19,95	19,96	-	-	-	20,91	20,90	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	25,00	24,98	-	24,96	-	19,10	19,79	-	25,12
	b·10 <sup>3</sup>	-	5,20	5,24	-	5,24	-	10,80	10,45	-	2,87
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-6,20	-6,20	-	-6,20	-	-	2,94	-	-4,54

ცხრილი 1.6.

ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები									
	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>					Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-	-	-	-	-559,85	-270,69	-	-270,30	-269,94	-270,09
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-	-	-	-	-514,00	-250,49	-	-250,40	-249,92	-250,36
$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	-	27,47	32,55	-	32,50	32,26	33,15
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	-	-	-	-	-	26,84	26,53
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	-	-	-	-	-	29,29	-	16,87
	b·10 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	9,66	-	32,39
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-	-	-	-	-	-5,18	-	-

ცხრილი 1.7.

ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	სხვადასხვა ლიტერატურაში მოყვანილი ნივთიერებათა თერმოდინამიკური პარამეტრები										
	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>					MgCO <sub>3</sub>					
	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-273,93	-	-273,93	-275,60	-274,72	-266,21	-266,10	-266,00	-261,92	-261,74	
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლი	-254,33	-	-253,50	-255,14	-254,34	-246,24	-246,10	-246,00	-241,90	-241,75	
$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	34,65	-	35,70	37,17	37,15	15,70	15,70	15,70	15,56	15,55	
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლი·K	-	-	-	27,35	27,33	-	-	-	18,19	18,18	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლი·K	a·1	-	-	19,19	-	19,18	-	18,60	18,62	-	18,61
	b·10 <sup>3</sup>	-	-	26,06	-	26,04	-	13,80	13,80	-	13,79
	c·10 <sup>-5</sup>	-	-	-	-	-	-	-4,20	-4,16	-	-4,16



დანართი II

ცხრილი 2.1.

ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	თერმოდინამიკური პარამეტრების გასაშუალოებული მონაცემები										
	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	CO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
	[5-9]	[5,6,8,9]	[5,6,8,9]	[5-9]	[5,7-9]	[5-7,8]	[5-9]	[5,7,-9]	[5,7-9]	[5,7-9]	
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლ	0	-68,31	-26,41	-94,06	-99,46	-81,70	-143,79	-151,86	-270,31	-274,45	
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლ	0	-56,70	-32,80	-94,27	-89,95	-7191	-136,07	-144,34	-250,27	-254,32	
$-S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლ·K	31,2	16,72	47,23	51,07	17,63	23,98	6,43	10,60	32,44	35,84	
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლ·K	-	17,00	6,96	8,87	16,50	18,20	8,89	10,05	26,84	27,35	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლ·K	a·1	6,50	18,00	6,60	10,58	15,40	-	10,19	10,69	29,29	19,19
	b·10 <sup>3</sup>	0,80	-	1,20	2,13	5,40	-	1,72	1,59	9,66	26,06
	c·10 <sup>-5</sup>	0,10	-	-	-2,07	-	-	-1,49	-1,56	-5,18	-

ცხრილი 2.2.

ნივთიერების თერმოდინამიკური პარამეტრები

პარამეტრები	თერმოდინამიკური პარამეტრების გასაშუალოებული მონაცემები				
	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Ca(OH) <sub>2</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
	[5-9]	[5-9]	[5-9]	[9]	
$\Delta H_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლ	-265,06	-288,44	-235,62	-559,85	
$\Delta G_{f,298}^{\circ}$ კკალ/მოლ	-245,06	-269,80	-214,53	-513,99	
$S_{f,298}^{\circ}$ კალ/მოლ·K	15,66	21,95	19,50	37,02	
$C_{p,298}^{\circ}$ კალ/მოლ·K	18,19	19,95	20,91	-	
$C_p = f(T)$ , კალ/მოლ·K	a·1	18,61	24,99	19,45	-
	b·10 <sup>3</sup>	13,80	5,22	10,63	-
	c·10 <sup>-5</sup>	-4,16	-6,20	2,94	-

## ლიტერატურა

1. Tvalchrelidze, A.G. (2006). *Mineral resources and mineral basis of Georgia*. M.: Ore and metals. (In Russian);
  2. Galogre, G. (2023). *Manufacture and testing of filter material modified with manganese dioxide for drinking water purification*. Tbilisi: Technical University. (In Georgian);
  3. Sarukhanishvili, A., Gogishvili, A., Gordeladze, V., Eristavi, D. (2007). *Gibbs free energy minimization method*. Georgia, Tbilisi: Technical University. (In Georgian);
  4. Sarukhanishvili, A., Gordeladze, V., Eristavi, D., Gogishvili, A. (2019). *Method of structural ingredients additivity for determination of thermodynamic properties of anhydrous silicates*. Georgia, Tbilisi: Technical University. (In Russian);
  5. Karpov, I.K., Kashik, S.A., Pampura, V.D. (1968). *Substance constants for thermodynamic calculations in geology and petrology*. Russia, Moscow: Nauka. (In Russian);
  6. Bulakh, A.G. (1974). *Methods of thermodynamics in mineralogy. Second edition revised and expanded*. Russia, Leningrad: Nedra. (In Russian);
  7. Babushkin, V.I., Matveev, G.M., Mchedlov-Petrocian, O.P. (1972). *Thermodynamics of Silicates. Third edition revised and expanded*. Russia, Moscow: Literature on Construction. (In Russian);
  8. *Thermal constants of substances*. (1965-1981). Russia, Moscow: USSR Academy of Sciences. (In Russian);
  9. Ravdel, A.A., Ponomareva, A.M. (Ed.). (1988). *Brief reference book of physical and chemical quantities*. Russia, Leningrad: Chemistry. (In Russian).
-

UDC 546.284:636.7

SCOPUS CODE 1606

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2024-1-97-107>

## Thermodynamic Analysis of Possible Processes During CO<sub>2</sub> Adsorption with Natural Resource-based Sorbents

**Vladimer Gordeladze** Department of Chemistry, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.  
E-mail: v.gordeladze@gtu.ge

**Manana Kekelidze** Department of Chemical and Biological Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.  
E-mail: m.kekelidze@gtu.ge

**Nino Mukhadgverdeli** Department of Chemical and Biological Engineering, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 69, M. Kostava str.  
E-mail: ninomukhadgverdeli@gmail.com

### Reviewers:

**O. Miqadze**, Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU  
E-mail: omiqadze@gtu.ge

**M. Razmadze**, Associate Professor, Faculty of Chemical Technology and Metallurgy, GTU  
E-mail: m.razmadze@mail.ru

**Abstract.** This research paper examines the potential mechanisms involved in the adsorption of carbon dioxide using sorbents derived from the natural resources found in Georgia (with a primary focus on zeolite-based materials). A succinct characterization of zeolites obtained from the Dzegvi deposit is provided, along with the presentation of the average chemical composition of the collected samples. The study identifies three distinct series of reactions for in-depth investigation. According to the referenced sources, the standard molar values of the thermodynamic properties of the substances involved in the reaction are sought. The Gibbs free energy minimization method is employed to ascertain both the magnitudes and directions of the free energy changes and equilibrium constants for the proposed reactions within the temperature range spanning 400 to 1200 Kelvin. Their temperature dependence is expressed graphically. Reactions are evaluated based on thermodynamic point of view.

**Keywords:** adsorption; carbon dioxide; reaction; temperature; thermodynamic parameters; zeolite.

---

*კანხილვის თარიღი 16.11.2023*

*შემოსვლის თარიღი 20.11.2023*

*ხელმოწერილია დასაბეჭდად 22.03.2024*