

## NH<sub>4</sub>ZSM-5 SEOLITIDA VODOROD SULFID MOLEKULALARI ADSORBSIYASINING MIKROKALORIMETRIK TAHLILI

**Abdulxaev Tolibjon Dolimjonovich**

Namangan muxandislik-texnologiya inistituti, doktoranti (PhD)

E-mail: [abdulxayev1987@gmail.com](mailto:abdulxayev1987@gmail.com)

### ANNOTATSIYA

Vodorod sulfidi (H<sub>2</sub>S) zaharli gaz bo'lib, inson salomatligi va sanoat texnik jihozlariga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Pentatsil oilasiga mansub NH<sub>4</sub>ZSM-5 seoliti asosan katalizator sifatida foydalanilgan, ushbu tajriba orqali faqat katalizator emas balki adsorbent sifatida ham foydalanish mumkinligi isbotlandi. Bundan tashqari tabiiy gaz va biogaz tarkibidagi vodorod sulfidini (H<sub>2</sub>S) olib tashlash uchun samarali adsorbentlardan biri hisoblanadi. Seolitni qayta tiklash potensialini baholash ularni biogazni tozalash uchun adsorbsion jarayonlarda qo'llashdan oldin e'tiborga olish kerak bo'lgan muhim jihatidir. Buning uchun avvalombor bir necha bor regeneratsiya qilingan seolitning adsorbsiya miqdorlarini aniqlash bilan boradi. Adsorbsiya miqdorlarini hisoblab topishda eng qulay usullardan biri yuqori vakuumli adsorbsion qurilmada olingan natijalar hisoblanadi. Bunda adsorbsiya miqdoridan tashqari differensial issiqlik, izoterma, entropiya va termokinetikalarini ham aniqlash imkonini beradi. Bu usul yordamida sorbsion miqdorlariga qarab yutiladigan adsorbatning seolit strukturasi ta'siri bo'yicha ham nazariy ma'lumotlar olishning imkoni bor.

**Kalit so'zlar:** NH<sub>4</sub>ZSM-5 seoliti, vodorod sulfid, mikrokalorimetr, termodinamika, entalpiya, kinetika.

## МИКРОКАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ АДСОРБЦИИ МОЛЕКУЛ СЕРОВОДОРОДА В ЦЕОЛИТЕ NH<sub>4</sub>ZSM-5

**Абдулхаев Толибжон Долимжонович**

Наманган инженерно-технологический институт, докторант (к.ф.н.),

E-mail: [abdulxayev1987@gmail.com](mailto:abdulxayev1987@gmail.com)

### АННОТАЦИЯ

Сероводород (H<sub>2</sub>S) — ядовитый газ, оказывающий негативное влияние на здоровье человека и промышленное техническое оборудование. В качестве катализатора в основном использовался цеолит NH<sub>4</sub>ZSM-5, относящийся к семейству Pentacyl, этот эксперимент доказал, что его можно использовать не

только как катализатор, но и как адсорбент. Кроме того, это один из эффективных адсорбентов для удаления сероводорода ( $H_2S$ ) из природного газа и биогаза.. Прежде всего, необходимо несколько раз определить адсорбционное количество регенерированного цеолита. Одним из наиболее удобных способов расчета величины адсорбции являются результаты, полученные в высоковакуумной адсорбционной установке. Это позволяет определять дифференциальную теплоту, изотерму, энтропию и термокинетику в дополнение к значению адсорбции. С помощью этого метода можно получить теоретическую информацию о влиянии поглощенного адсорбата на структуру цеолита в зависимости от количества сорбента.

**Ключевые слова.** цеолит  $NH_4ZSM-5$ , сероводород, микрокалориметр, термодинамика, энтальпия, кинетика.

## MICROCALORIMETRIC ANALYSIS OF THE ADSORPTION OF HYDROGEN SULFIDE MOLECULES IN $NH_4ZSM-5$ ZEOLITE

**Abdulxaev Tolibjon Dolimjonovich**

Namangan Institute of Engineering and Technology, doctoral student (PhD),

E-mail: [abdulxayev1987@gmail.com](mailto:abdulxayev1987@gmail.com)

### ABSTRACT

Hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) is a poisonous gas that has a negative effect on human health and industrial technical equipment.  $NH_4ZSM-5$  zeolite belonging to the Pentacyl family was mainly used as a catalyst, this experiment proved that it can be used not only as a catalyst but also as an adsorbent. In addition, it is one of the effective adsorbents for removing hydrogen sulfide ( $H_2S$ ) from natural gas and biogas. Assessing the recovery potential of zeolites is an important aspect to consider before using them in adsorption processes for biogas treatment. First of all, it is necessary to determine the adsorption amount of the regenerated zeolite several times. One of the most convenient methods for calculating the adsorption value is the results obtained in a high-vacuum adsorption unit. This allows differential heat, isotherm, entropy and thermokinetics to be determined in addition to the adsorption value. Using this method, one can obtain theoretical information about the effect of absorbed adsorbate on the zeolite structure depending on the amount of sorbent.

**Key words.** Zeolite  $NH_4ZSM-5$ , hydrogen peroxide, microcalorimeter, thermodynamics, enthalpy, kinetics.

## KIRISH

Adsorbsion-kalorimetrik tadqiqot natijalari fizik adsorbsiyaning nazariy tushunchalarini ishlab chiqish uchun, hamda sorbsiya texnologiyasi jarayonlari va apparatlarini hisoblashda zarur bo'lgan o'rganilayotgan tizimlarning asosiy termodinamik funksiyalarini olishga imkon beradi. Seolitlarning asosiy faol markazi hisoblangan kationlar qutbli, qutbsiz va kvadрупol molekullarning adsorbsiyalanishida muhim o'rin egallaydi. Suv, metanol va ammiak kabi sinov molekullarining adsorbsiyasining asosiy termodinamik tavsiflarini aniqlash orqali bir xil rusumli kristallografik pozitsiyalardagi energetik jihatdan aktiv markazlar (kationlar) soni aniqlanadi [1].

## ADABIYOTLAR TAHLILI

Silikalit – mikrog'ovakli strukturaga ega, MFI tipidagi pentasilli seolitlar guruhiga mansubdir. Silikalitning strukturasi kremniy-kislorodli tetraedrlar 5 va 6 bo'lakli halqalardan iborat ikkilamchi strukturalarni shakllantiradilar. Bu ikkilamchi strukturalar, ehtimol, ultrakuch strukturasi mavjud bo'lib,  $550 \text{ sm}^{-1}$  chastotali tebranishlar uchun mas'uldirlar [2]. Qayd etish lozimki, Flanigen E.M. va boshqalar [3] silikalit va ZSM-5 seoliti strukturasi tadqiq qilganlarida molekulyar g'ovak kristall zanjirini shakllanishida 5 va 6 bo'lakli halqalarni birlashtiruvchi 4 bo'lakli halqalar (yutilish chizig'i  $820\text{-}750 \text{ sm}^{-1}$  da) mavjudligini aniqladilar. Bu hodisa keyingi strukturaviy tadqiqotlarda turli usullar yordamida isbotlangan.

Pentasilarning kristall zanjirining shakllanishida, kesimi 10-bo'lakli halqalardan iborat va to'g'ri burchak ostida kesishadigan kanallarning sistemasi shakllanadi. ZSM-5 seolitida bu tizim to'g'ri va zigzag shaklidagi kanallardan iboratdir [4].

## TADQIQOT METODOLOGIYASI

Adsorbsiya differensial issiqligi, differensial entropiyasi Tian-Kalve modelidagi DAK 1-1 kalorimetri asosida olingan tajriba natijalariga binoan hisoblandi. Adsorbsiya izotermasi aniqlashda hajmiy usulda foydalanildi. Adsorbsiya izotermasi aniqlik xatoligi 0,1% va issiqligi 1% gacha bo'ladi [5].

Adsorbat sifatida olingan vodorod sulfid, sorbsiyada foydalanishdan avval vakuum sharoitida tozalandi va quritildi. Shundan so'ng adabiyotlarda [6] keltirilgan ma'lumotlar bilan muvofiqligi aniqlandi.

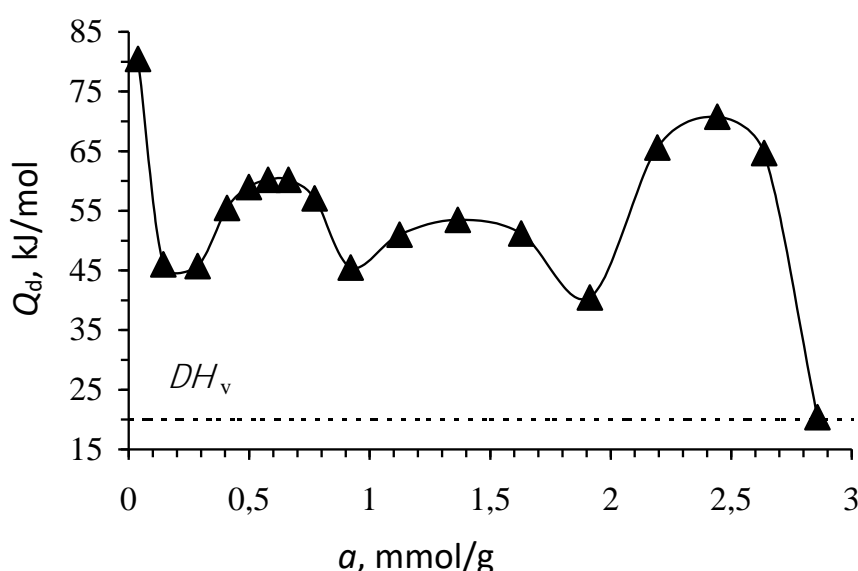
Yakubov Yu.Yu. va Baxranov X.N. lardan farqli ravishda zaxarli bo'lgan  $\text{H}_2\text{S}$  molekulasini  $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolitiga vodorod sulfid adsorbsiyasi olib borildi.

## TAHLILLAR VA NATIJALAR

Gazlarni kimyoviy qayta ishlashda chiqadigan oltingugurtli organik birikmalar, vodorod sulfidi va boshqa zararli qo‘shimchalarning mavjudligi, ya’ni katalizatorlarning zararlanishiga, mahsulot sifatining yomonlashuviga, quvurlar, uskunarlar va atmosferaning ifloslanishini keltirib chiqaradi.

Gazlar adsorbsiyasi bo‘yicha nazariy tadqiqot ishlari olib borishda yuqori vakuumli adsorbsion qurilmada adsorbent va adsorbatlarning o‘zaro ta’sirlashishi natijasida olinadigan tajriba natijalariga asoslanib, seolitlarning tuzilishi, aktiv markazlari soni, ularga asosli va kislotali xossalarni namoyon qiluvchi yutiluvchi molekularlarning strukturasi salbiy ta’sirlarini ham o‘rganish imkonini beradi.

$\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolitiga vodorod sulfidning adsorbsiyasi ( $a$ ) 303 K haroratda o‘rganilgan. Adsorbsiyaning differensial issiqligi qiymatlari (kJ) yuqori vakuumli adsorbsion-mikrokolorimetr qurilmasida olib borilgan va undan olingan natijalar asosida hisoblangan. Qurilma yuqori aniqlikda kichik qiymatlar uchun baratron, 0,1 mm.sm.ust.dan katta bosim ko‘rsatkichi uchun U-shaklidagi monometrda iborat yuqori vakuumga moslashtirilgan shishali apparat hisoblanadi. Adsorbent joylashtirilgan ampula, bosimni aniqlash uchun o‘lchov qismi, adsorbatlarni yig‘uvchi tashqi va ichki qism, ya’ni kapilyar nay va tashqi adsorbat joylash qismidan iborat. Tashqi qism ikkiga bo‘linib, biri suyuq, ikkinchisi gaz adsorbatlarni saqlaydi. Yuqori aniqlik va barqarorlikka ega bo‘lgan differensial adsorbsion DAK 1-1A markali kalorimetr qurilmasidan foydalanildi.

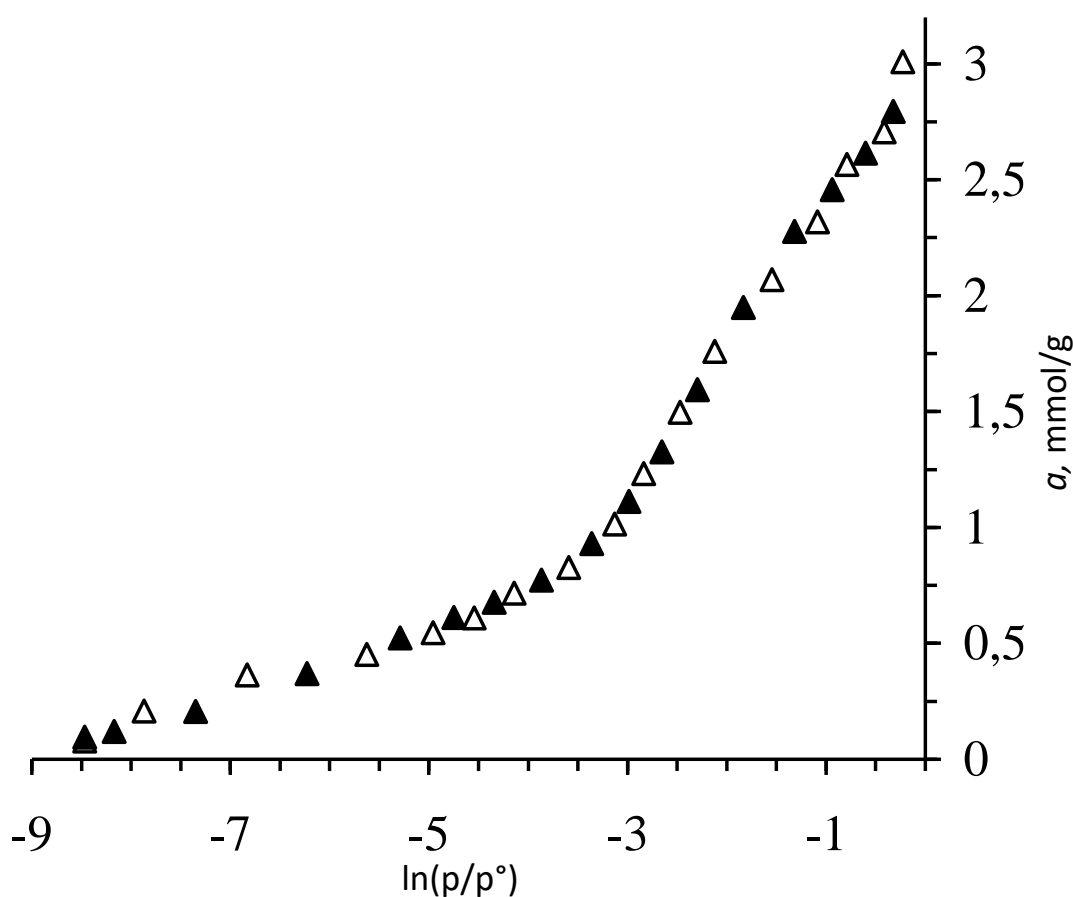


**1-rasm.**  $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolitida 303 K da  $\text{H}_2\text{S}$  adsorbsiyasi differensial issiqligi

$\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolitiga vodorod sulfid adsorbsiyasi differensial issiqligi 1-rasmda keltirilgan.  $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolitiga vodorod sulfidning dastlabki molekulari yutilishida adsorbsiya differensial issiqligi 80,45 kJ/molni tashkil qiladi. Keyingi vodorod sulfid molekulari to'yinishgacha adsorbsiyalanishi uch pog'onada boradi. Birinchi pog'onada vodorod sulfid molekulari adsorbsiyasi qiymatlari 0,14-0,92 mmol/g oraliqlarida boradi. Bunda adsorbsiya issiqligi o'zgarishlar bilan davom etadi, ya'ni birinchi pog'ona boshlanishida differensial issiqlik 40,01kJ/molni tashkil qiladi. Adsorbsiya miqdori 0,58 mmol/gga etganda issiqlik 60,20 kJ/mol gacha ko'tariladi. Yutilgan adsorbat molekulari miqdori 0,92 mmolga etganda issiqlik 45,50 kJ/mol gacha kamayish bilan boradi va seolitga vodorod sulfid molekulari adsorbsiyasining birinchi pog'onasi yakunlanadi. Birinchi pog'onada 0,78 mmol/g vodorod sulfid adsorbsiyalanadi. Birinchi bosqichda seolit matritsasida  $\text{H}_2\text{S}$  ning ammoniy kationlar bilan ion-molekulyar kompleksini shakllanishiga olib keladi va  $\text{H}_2\text{S}:\text{NH}_4^+$  monomer kompleksini hosil qilishidan dalolat beradi. Ushbu pog'onada adsorbsiya issiqligining ko'tarilishi, ya'ni 60,20 kJ/molga borishi seolit kanallarida bo'sh joylar ko'pligi sababli taqsimlanayotgan vodorod sulfid molekularini muvozanatga kelishiga biroz vaqt sarflanadi. Shundan ko'rinadiki dastlabki bosqichdagi adsorbsiya to'g'ri va zigzag kanallar tutashgan joyda sodir bo'ladi. Ikkinchi pog'ona 0,92-1,92 mmol/g oralig'ida boradi. Ikkinchi pog'ona 45,50 kJ/molga boshlanadi. Ikkinchi pog'onaning maqsimal differensial issiqligi 53,50 kJ/molni tashkil qiladi. Adsorbsiya miqdori 1,92 mmol/gga etganda 40,5 kJ/molga etadi. Ikkinchi pog'onada maksimal adsorbsiya issiqligining birinchi pog'onaga nisbatan kichikligi, bunda seolit kanallariga qisman to'ldirilganligi va ikkinchi bosqichda  $\text{NH}_4\text{ZSM-5}$  seolit matritsasida dimer kompleks  $2\text{H}_2\text{S}:\text{NH}_4^+$  hosil bo'lib vodorod sulfid molekularining harakati biroz sustlashishi bilan izohlanadi. Uchinchi pog'ona 1,92-2,86 mmol/g oraliqlarida boradi. Bu pog'onada vodorod sulfid molekularining maksimal adsorbsiya differensial issiqligi 70,80 kJ/molni tashkil qiladi. Adsorbsiya jarayoni oxirlashganda issiqlik, kondensatsiya issiqligiga tenglashadi va bu qiymat 20 kJ/mol, ya'ni vodorod sulfidning kondensatsiya issiqlik qiymati yaqinida kuzatiladi.

Adsorbsiya differensial issiqligining kondensatsiya issiqligidan yuqorida borishi  $3\text{H}_2\text{S}:\text{NH}_4^+$  ion-molekulyar kompleksi shakllanishi va bu komplekslar faqat to'g'ri va zigzag ko'rinishidagi kanallarning o'zida sodir bo'ladi.

Ma'lumki mikrog'ovakli seolitlarda adsorbsiya mikrog'ovaklarni hajmiy to'yinish nazariyasi mexanizmi orqali tavsiflanadi. Polyani nazariyasi qoidalarini va katta tajribaviy natijalardan foydalanib, umumlashtirish orqali, M. M. Dubinin va uning hamkasblari mikrog'ovakli adsorbentlarda adsorbsiya jarayonini yoritish uchun potensial qiymati bo'yicha adsorbsion xajmni taqsimlanish funksiyasi sifatida, Veybul taqsimlanish funksiyasidan foydalanish imkoniyati mavjudligini aniqlashdi.



**2-rasm.** 303 K da NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida H<sub>2</sub>S adsorbsiya izotermasi  $\Delta$ -tajriba qiymati;  $\blacktriangle$ -MHTN tenglamasi orqali hisoblangan nuqtalar

Adsorbsiya izotermasi to‘liq uch xadli MHTN tenglamasi bilan boshlang‘ich to‘yinishdan to‘oxirgi to‘yinishgacha tasvirlash mumkin deb ko‘rsatdi. Tenglama (2.5) ko‘rsatgichlaridan farqli ravishda uch hadli tenglamada 1, 2 va 3 indeksli ko‘rsatgichlar kationlar bo‘yicha o‘zaro ta‘sirini xarakterlaydi. Indeks 1 bilan ko‘rsatgichlari ular kationlarga kuchli ta‘sir etuvchi suv molekulasining adsorbilanishini, 2 indeksi bilan - kationlarga kam kuchli ta‘sir etuvchi, 3 indeksi bilan esa kationlarga kuchsiz ta‘sir etuvchi moddalarni xarakterlaydi. NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitda vodorod sulfidning adsorbsiya izotermasi yarim logarifmik koordinatalarda ifodalanadi.

2-rasmda NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida vodorod sulfid adsorbsiyasini yarim logarifmik koordinata izotermasi ko‘rsatilgan. Umumiy holda adsorbsiya izotermasi egiluvchan xarakterga ega. Kichik bosimlarda vodorod sulfid molekulalari seolit kanallardagi ammoniy ionlari bilan kuchli ta‘sirlashadi. Bu natijalardan qiziqarli holat shundan



iboratki, bir xil to‘yinishda adsorbsiya izotermasi va differensial issiqliklarini egri chizig‘ bosqichlarida bir-biri bilan korrelyasiyasini ta‘minlaydi.

NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida vodorod sulfid adsorbsiyasi izotermasi uch hadli tenglama bilan to‘la ta‘riflanadi MHTN:

$$a=0,9\exp[A/16,25]^3+1,55\exp[A/6,33]^3+0,71\exp[A/1,10]^1 \quad (2.6)$$

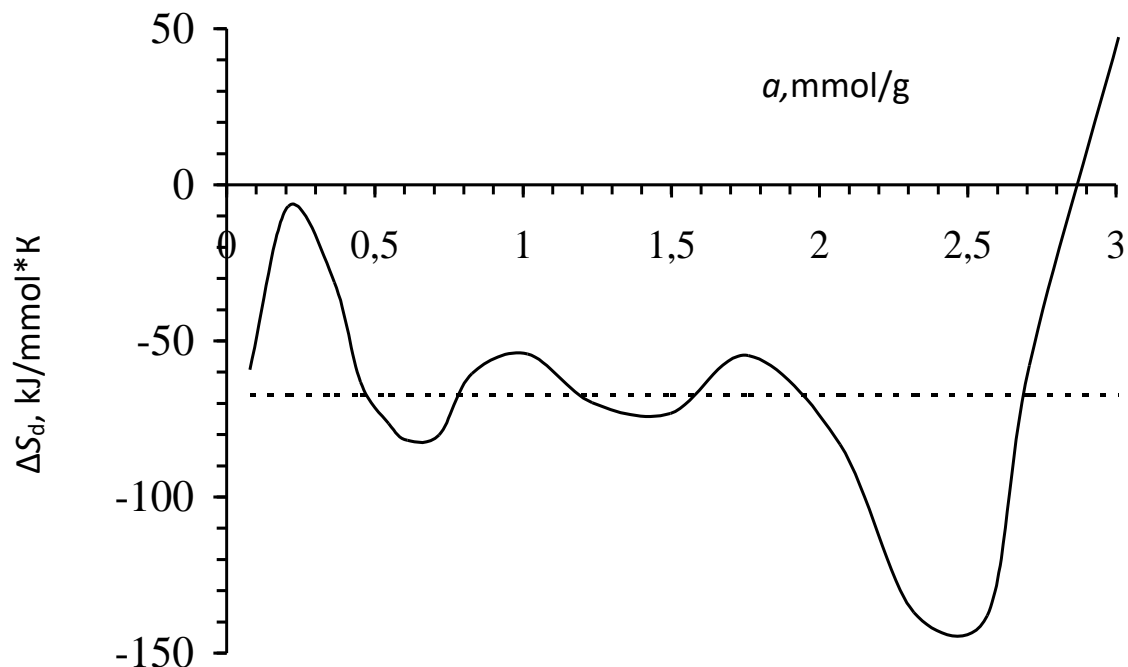
bunda  $a$ -mmol/g dagi adsorbsiya miqdori va  $A=RT\ln(P^\circ/P)$  1 mmol gazni sirtidan (bosim  $P^\circ$ ) muvozanat gaz fazasiga (bosim  $P$ ) o‘tkazish ishi (2.5). Tenglama ko‘rsatgichlaridan farqli ravishda (2.6) Tenglamada 1, 2 va 3 indeksli ko‘rsatgichlar kationlar bo‘yicha o‘zaro ta‘sir xarakteristikalaridir. Indeksli ko‘rsatgichlar 1 kationlarga kuchli ta‘sir etuvchi, 2 indeksi - kationlarga kam kuchli ta‘sir etuvchi va 3 indeksi - kationlarga kuchsiz ta‘sir etuvchi vodorod sulfid molekulasining adsorbsiyasini xarakterlaydi.

Bundan ko‘rinib turibdiki, vodorod sulfid - NH<sub>4</sub>ZSM-5 tizimida hisoblangan izoterma ning tajriba bilan yaxshi mutanosib holda bo‘lishi kelib chiqadi. Adsorbsiya izotermasi  $P/P_s=0,06$  (yoki 605,7 mm.sm.ust.) nisbiy bosimda 3,12 mmol/g gacha o‘rganildi. Seolitda vodorod sulfid adsorbsiyasining izotermasi qiymati quyidagicha bo‘ldi, ya‘ni nisbiy bosimda  $P/P_s=0,065$  da 3,08 mmol/g ga teng.

NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida vodorod sulfidning adsorbsiya entropiya o‘zgarishi izoterma va differensial qiymatlaridan foydalanib ( $\Delta S_d$ ) Gibbs-Gelmngolsning differensial molli entropiya tenglamasi yordamida hisoblandi va 3-rasmda ko‘rsatilgan.

$$\Delta S_a = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{-(Q_a - \lambda) + RT \ln 760/P}{T} \quad (2.7)$$

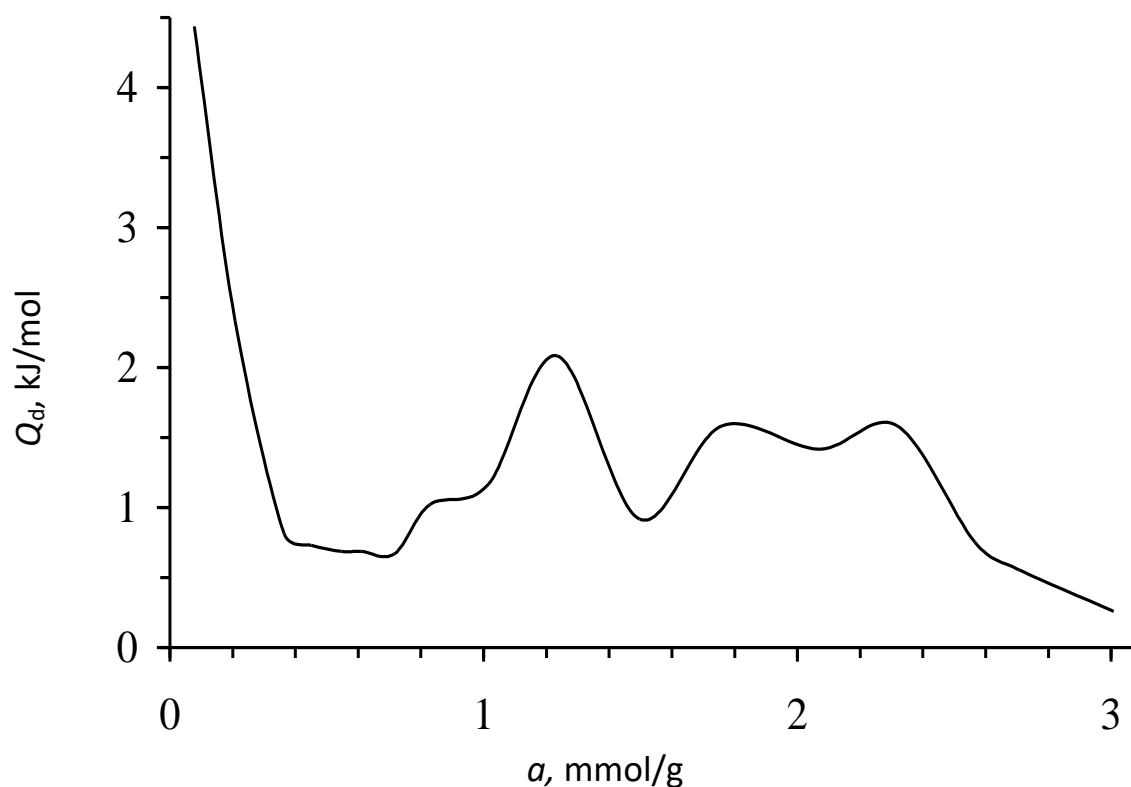
Vodorod sulfid adsorbsiya jarayonidagi entropiya o‘zgarishi standart sharoitdagi holati uchun hisoblandi. Bu erda  $\lambda$  kondensatsiya issiqligi hisoblanadi,  $\square H$  va  $\square G$  – standart holatdan adsorbsiyalangan holatga adsorbsiya vaqtida entalpiya va erkin energiyaning o‘zgarishi. Adsorbsiya entropiyasi qiymatlaridan shuni izohlashimiz mumkinki, NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitiga vodorod sulfid molekulari dastlabki pog‘onali qismlarida kuchli lokalizatsiyalanadi.



3-rasm.  $N_4ZSM-5$  seolitida 303 K da  $H_2S$  adsorbsiya entropiya

Yutilgan asdorbat molekularining asosiy qismi standart holat entropiyasidan kichik bo'lishi kuzatildi. O'rtacha integral entropiya grafigidan manfiy qiymatlarda borishi, yutilayotgan har har bir molekula vodorod sulfidning ion-molekulyar komplekslar hosil bo'lishida entropiya qiymatining keskin o'zgarishlarga olib kelishini kuzatishimiz mumkin. Shuningdek, adsorbsiyaning boshlang'ich yutilishda differensial issiqlik grafiga muvofiq, ( $\Delta S_d$ ) entropiya egri chiziqlari  $\sim 0,2$  mmol/g to'yinishgacha ko'tarilishi, keyin  $\sim 0,7$  mmol/g ga etganda entropiya qiymatini pasayishini va 2 mmol/gga etgunga qadar entropiya chizig'ini to'lqinsimon ko'rinishda bo'lishi kuzatildi. Entropiya  $-54,64$  J/mol\*K dan  $-138$  J/mol\*K gacha egilish bilan chiziqli pasayib borishini kuzatish mumkin. Adsorbsiyaning o'rtacha molekulyar entropiyasi  $-67,45$  J/mol\*K bo'lib, u suyuq vodorod sulfidning entropiyasidan ancha pastda va seolit kanallaridagi adsorbsiyalangan molekularning harakatini cheklanganligini ko'rsatadi. 2,5 mmol/gdan keyin vodorod sulfid molekulari harakatchan holatda o'tib, entropiya chiziqlarini ko'tarilishi kuzatiladi. Jarayon oxirlashganda esa vodorod sulfid molekulari kuchli harakatchan holatda o'tadi.





**4-rasm.** NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida 303 K da H<sub>2</sub>S adsorbsiya muvozanat vaqti.

Vodorod sulfidning seolit kanallaridagi birinchi kislorod atomining kation bilan (0,2 mmol/g gacha) kichik to‘yinish sohasida adsorbsiya muvozanatini o‘rnatish vaqti 0,8 dan 4,8 soatgacha ko‘tariladi. Seolit matritsasidagi ikkinchi kislorod atomining kationga adsorbsiyalanishida ham muvozanat vaqtini biroz oshishi kuzatiladi, ya’ni 0,8 dan 2,3 soatgacha ko‘tarilib, to‘lqinsimon ko‘rinishda maksimum va minimum chiziqlar hosil qiladi va H<sub>2</sub>S:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ion-molekulyar kompleksni shakllantiradi. Dimer kompleks 2H<sub>2</sub>S:NH<sub>4</sub><sup>+</sup> hosil bo‘lishida adsorbsiyalanish muvozanat issiqlik vaqti dastlab 1 soatgacha sekinlashadi, so‘ng qisman oshish bilan boradi. Har bir ion-molekulyar kompleks hosil bo‘lishida termokinetikani o‘zgarishi differensial issiqlik va entropiyalarga mos keladi. Jarayon oxirlashganda esa muvozanat vaqti 20 daqiqagacha pasayishi kuzatiladi.

## XULOSA

NH<sub>4</sub>ZSM-5 seolitida vodorod sulfid boshlang‘ich to‘yinishdagi adsorbsiyalanish issiqligi 80,45 kJ/molga teng bo‘ladi. Adsorbsiyaning differensial issiqligi uchta bosqichda boradi, har bir pog‘ona to‘lqinsimon ko‘rinishda, o‘ziga xos issiqlik issiqliklariga ega bo‘ladi. Adsorbsiya issiqligining pog‘onasimon tabiatli umumiy

ko‘rinishiga sabab adsorbat-adsorbent ion-molekulyar kompleksining kanallarida bo‘lishidir. H<sub>2</sub>S:adsorbsiya izotermasi MHTN tenglamasi bilan tasvirlandi. NH<sub>4</sub>ZSM-5 seoliti kanallarida vodorod sulfid molekulari kuchli adsorbsiyalanadi. Dastlabki adsorbat molekulari adsorbsiyasida muvozanat vaqti 4,8 soat, jarayon oxirida esa 20 daqiqagacha pasayishi kuzatildi.

#### FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI: (REFERENCES)

1. Bakhronov Kh., Ergashev O., Karimov Kh., Abdulkhaev T., Yakubov Y., Karimov A. Thermodynamic Characteristics of Paraxylene Adsorption in LiZSM-5 and CsZSM-5 Zeolites //1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science (ICPPMS-2021)". (Tashkent, 10-11June, 2021).Cite as: AIP Conference Proceedings 2432, 050056 (2022); Published Online: 16 June 2022.
2. Datka J., Tuznik E. Hydroxyl groups and sites in NaZSM-5 zeolites studied by i.r. spectroscopy//Zeolites. -1985. -v.5. -P.230-232.
3. Flanigen E.M., Bennet J.M., Grose R.W., Cohen J.P., Patton R.L., Kirdiner R.M. Silicalite a new hydrophobic crystalline silics molecular sieve//Nature. -1978. -v.271. -P.512-516.
4. Kokotailo G.T., Lawton S.L., Olson D.H., Meier W.M. Structure of synthetic zeolite ZSM-5//Nature. -1978. -v.272. -P.437- 438.
5. Mentzen B.F., Rakhmatkariev G.U. Host/Guest interactions in zeolitic nonostructured MFI type materials: Complementarity of X-ray Powder Diffraction, NMR spectroscopy, Adsorption calorimetry and Computer Simulations // Узб. хим. журнал, 2007. -№6. -С. 10-31.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с