

CO₂ GAZINI ADSORBSIYA QILISH UCHUN QO‘LLANILADIGAN SORBENTLAR VA ULARNING SAMARADORLIGI.

Tursunov S.A. *Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti “Kimyo muhandisligi” kafedrası tayanch doktoranti.* sarvarbektursunov3226@mail.ru

Xodjamkulov S.Z. *Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti “Kimyo muhandisligi” kafedrası doktori.*

Karimov M.U. *Toshkent kimyo texnologiyalari ilmiy-tadqiqot instituti. Texnika fanlari doktori, professor,*

ANNOTATSIYA

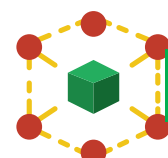
Ushbu ishda karbonat angidrid (CO₂) gazini adsorbsiya qilish uchun qo‘llaniladigan zamonaviy sorbentlar, ularning tuzilishi, adsorbsion xossalari va samaradorligi tahlil qilingan. Atmosferada CO₂ miqdorining ortib borishi va uning global iqlim o‘zgarishiga ta’siri yoritilib, ushbu gazni ushlash va ajratib olishning dolzarbligi asoslab berilgan.

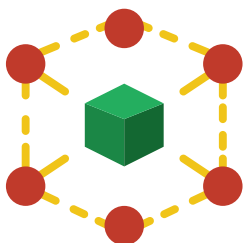
Tahlil natijalari CO₂ ni samarali ushlash uchun modifikatsiyalangan sorbentlardan foydalanish yuqori natija berishini ko‘rsatdi. Olingan ma’lumotlar karbonat angidridni ajratib olish va atmosferaga chiqarilishini kamaytirishga qaratilgan yangi adsorbentlar yaratish uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: karbonat angidrid, adsorbsiya, sorbent, zeolit, uglerodli sorbent, aminli adsorbent, selektivlik, regeneratsiya, CO₂ yutilishi.

Bugungi kunda Sanoat energetika va qishloq xo‘jaligining rivojlanishi atrof muhitda karbonat angidrid (CO₂) miqdorini oxirgi 10 yil davomida haddan ortiq oshib borishiga sabab bo‘lmoqda. Sanoat inqilobigacha bo‘lgan davrda atmosferadagi CO₂ konsentratsiyasi taxminan 280 ppm (million qismga nisbatan qism) ni tashkil etgan va buko‘rsatkich bugungi kunda 430–432 ppm dan ortib ketdi. O‘z navbatida bu ko‘rsatkich sanoatlashuvdan oldingi davrga nisbatan qariyb 50 % ga yuqori ekanligini ko‘rishimiz mumkin. Atmosferadagi karbonat angidridning bunday tez sur’atlarda ortishiga asosiy sabab: ko‘mir, neft va tabiiy gaz kabi qazib olinadigan yoqilg‘ilarning keng miqyosda yoqilishi hamda o‘rmonlarning qisqarishi bilan ifodalash mumkin [1; 3211–3288 b.].

Bu borada O‘zbekistonning karbonat angidrid (CO₂) ning tashqi muhitga chiqibketishi bo‘yicha ko‘rsatkichlari dunyo miqyosidagi ayni yo‘nalishdagi yirik davlatlarga nisbatan ancha past bo‘lsa-da, so‘nggi yillarda karbonat angidridning tashqi muhitga chiqibketishi hajmining o‘sib borayotganligini ko‘rishimiz mumkin. Statistik ma’lumotlariga ko‘ra, 2024-yilda O‘zbekistonda CO₂ karbonat angidridning tashqi muhitga chiqibketishi 148,5 mln tonnani tashkil etgan bo‘lsa, bu dunyo umumiy karbonat angidridning tashqi muhitga chiqibketishining 0,37 % ga teng keladi. Aholi jon boshiga to‘g‘ri keladigan karbonat angidridning tashqi muhitga chiqibketishi miqdori esa 4,27





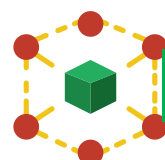
tonnani tashkil etib, bu ko'rsatkich dunyo o'rtacha darajasiga yaqin bo'lib, mamlakatda energiya resurslaridan foydalanish darajasi va sanoat ishlab chiqarishining ortib borayotganligi bilan ifodalanadi.

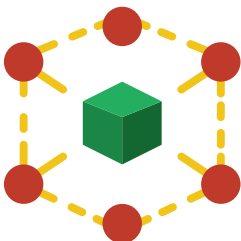
Dunyodagi eng ko'p atrof muhitga CO₂ chiqaruvchi davlatlari hisoblangan Xitoy, AQSh va Hindiston bilan taqqoslaganda, O'zbekistonning umumiy karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishi nisbatan past ko'rsatkich bo'lsada, biroq mamlakat iqtisodiyotining jadal rivojlanishi, aholi sonining ortishi, elektr energiyasiga bo'lgan talabning oshishi hamda sanoat korxonalarining kengayishi natijasida karbonat angidrid karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketish hajmi borgan sari oshib borayotganligi muammoning jiddiy ekanligini ko'rsatadi. Bu borada yetakchi bo'lgan elektr energiyasi ishlab chiqarish, neft-gaz sanoati, qurilish materiallari ishlab chiqarish va transport vositalarining ortib borishi karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishining asosiy sababchilaridandir. [2; 143227 b.]

2024-yilda karbonat angidrid (CO₂) ning tashqi muhitga chiqib ketishi bo'yicha dunyoning eng yirik 10 ta davlati.

1-jadval

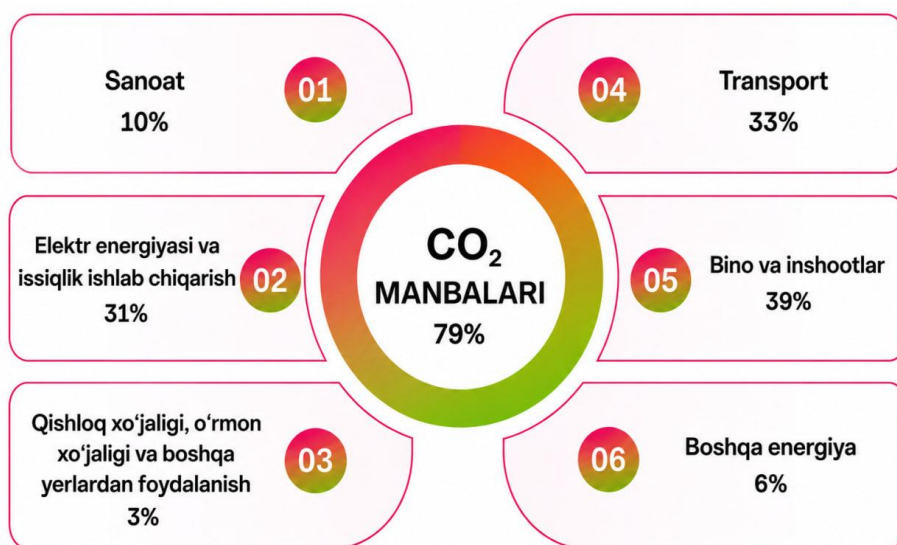
№	Davlat	CO ₂ karbonat angidridning tashqi muhitga chiqibketishi (tonna, 2024)	1 yillik o'zgarish	Aholi jon boshiga (t)	Jahon ulushi (%)
1	Xitoy	13 124 727 993	0,79 %	9,13	33,12 %
2	AQSh	4 632 164 876	0,30 %	13,59	11,69 %
3	Hindiston	3 153 829 130	4,62 %	2,19	7,96 %
4	Rossiya	2 009 154 097	3,12 %	14,06	5,07 %
5	Yaponiya	972 266 973	-3,01 %	7,79	2,45 %
6	Eron	828 989 585	1,58 %	9,62	2,09 %
7	Indoneziya	812 204 159	5,13 %	2,88	2,05 %
8	Saudiya Arabistoni	652 511 035	2,69 %	17,73	1,65 %
9	Janubiy Koreya	588 008 898	-0,40 %	11,29	1,48 %
10	Germaniya	579 935 607	-1,65 %	7,03	1,46 %





34	O'zbekiston	148,538,808	11.99%	4.27	0.37%
----	-------------	-------------	--------	------	-------

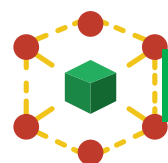
O'z navbatida O'zbekistonda issiqxona gazlari tarkibidagi karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishi 2024-yilda 227,5 mln tonna CO₂-ekvivalentni ko'rsatadi. Bu esa 1990-yilga nisbatan karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishi 39 % ga ortganini ifodalaydi. Shu bilan bir qatorda, kishi jon boshiga to'g'ri keladigan karbonat angidridning tashqi muhitga chiqishi 7,98 tonnadan 6,54 tonnagacha pasaygan bo'lsada, issiqxona gazlari tarkibida karbonat angidrid (CO₂) 65,3 % ulush bilan asosiy o'rinni egallaganini ko'rsatadi. Undan keyingi o'rinlarni metan (CH₄) 28,3 %, azot(I)-oksid (N₂O) 6,3 % va ftorlangan gazlar 0,1 % bilan egallaydi. Tarmoqlar bo'yicha esa karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishining eng katta qismini energetika, sanoat va qishloq xo'jaligi tashkil etadi. 1990–2024-yillar oralig'ida sanoat tarmoqlarida karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishi 241 % ga, transport tizimlarida karbonat angidridning tashqi muhitga chiqishi esa 154 % ga oshganligi. inova inshootlar tizimida karbonat angidridning tashqi muhitga chiqib ketishi 41 % ga pasayganligi kuzatilmoqda.[3; 270 b.]

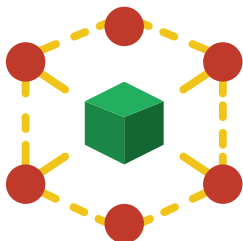


1-rasm. Turli sohalardan chiqadigan CO₂ chiqindilarining ulushi [4; 28-67 b.]

Ishlab chiqarish jarayonida katta miqdorda yoqilg'ilarni yoqish jarayonida hosil bo'ladigan CO₂ ni ushlab qolish uchun ishlab chiqiladigan texnologik jarayonlar va yaratiladigan texnologiyalar ham katta miqdordagi karbonat angidridni ushlab qolish uchun mo'ljallangan bo'lishi kerak. Bu esa jarayonda qo'llaniladigan qattiq sorbentlardan karbonat angidrid va zaharli gazlarni yutishda juda yuqori samaradorlik ko'rsatishini talab qiladi [5; 2097–2106 b.].

Bugungi kunda tadqiqotlar jarayonida yuqori sifatli samaradorlikka ega materiallar ishlab chiqarishda nanostrukturali materiallar asosida maxsulot olish va ishlab chiqarishga katta e'tibor berilmoqda. Bu kabi nanomateriallar bilan atmosferani karbonat angidrid va zaharli gazlardan keng ko'lamda tozalash, ularni ushlab turish, yoqilg'ilarning energiya samaradorligini oshirishda va resurslarni tejatishiga erishish mumkin [6; 12578–12586 b.].





Bugungi kunda karbonat angidridni o'ziga yutuvchi birikmalari tarkibiga, asos bo'la oladigan polimerlarning xiliga va sorbsiyalanishning asosiy usullariga ko'ra bir necha turlarga farqlash mumkin. Zamonaviy dunyo olimlari tomonidan ko'p yillik izlanishlar natijasida karbonat angidridni sorbsiyalovchi uchun yangi turli standart usullar va nanotexnologiyalar to'plamini taklif qilmoqda. Bularga misol qilib tabiiy silikatlarini modifikatsiyalash, metallorganik birikmalar, polimer membranalar sintezi, ion-suyuqlik membranalar va nanog'ovakli kremniy birikmalari sintezi asosiy yo'nalishlardan ekanligini ko'rsatish mumkin [7; 11465–11476 b.].

Sanoatda nafaqat ishlab chiqarish jarayonida hosil bo'lgan atmosferani zaharlovchi gazlar tarkibidan karbonat angidridnidan tozalash uchun, balki qazib olinadigan yonilg'ich gazlar tarkibidan karbonat angidridni ajratib olinishi natijasida ekologiya tozalik darajasini oshirish karbonat angidridni yutuvchi sorbentlardan keng qo'llanishga imkon beradi. Chunki, qazib olinadigan tabiiy gazlar tarkibida ham karbonat angidridning miqdori sezilarli darajada mavjud. Bu esa o'z navbatida qazib olinadigan tabiiy gaz tarkibidagi karbonat angidridni tozalashni talab qiladi. [8; 113–174 b.].

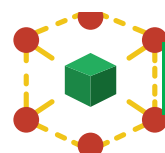
Tadqiqotchilar [Sayyof Yusuf](#) va [Haris Abdulloh Nur](#)lar olib borgan tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, monoetanolamin (MEA) bilan modifikatsiyalangan qisqichbaqa, krevetka va krablarning qobig'ida uchraydigan *xitin* moddasini kimyoviy qayta ishlash natijasida olingan xitozan va zeolit sorbentlari sirtiga CO₂ ni samarali yutishini aniqladilar. MEA miqdori ortgan sari adsorbsiya sig'imi ham paralel ravishda oshib borgan. Xususan, 3 % MEA bilan modifikatsiyalash natijasida CO₂ yutish qobiliyati 12 mg/g dan 19 mg/g gacha, zeolitning CO₂ ni yutish qobiliyati esa 7,5 mg/g dan 13 mg/g gacha oshirishni aniqlagan. Natijada xitozan asosidagi sorbentlarning zeolitga nisbatan yuqori adsorbsion faollikka ega ekanligini isbotlashdi. Shu bilan bir qatorda adsorbentlar uch marotaba qayta ishlatilgandan so'ng ham o'z adsorbsiya xususiyatlarini saqlashi aniqlangan, bu esa o'z navbatida ushbu adsorbentlarning regeneratsiya xossasi yaxshi ekanligini isbotlaydi [9; 19-164 b].

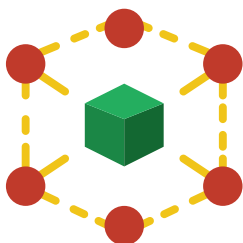
Quyidagi tadqiqot ishida aminlar asosida sintez qilinadigan qattiq adsorbentlar CO₂ ni yutish uchun eng samarali adsorbentlardan ekanligi o'rganib chiqilgan. Bu turdagi materiallarning yutug'ich past haroratda ham o'zini qayta tiklash qobiliyatining yuqori ekanligi (100 °C dan past), yutish sig'imining yuqori ekanligi va korroziyaning va yemirilish miqdorining kamligi adsorbentlarning afzalligi hisoblanadi. CO₂ adsorbent tarkibidagi amin guruhlari bilan o'zaro birikib, karbamat va bikarbonatli birikmalarini hosil qiladi.



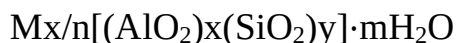
Bu kabi materiallarning samaradorligi amin miqdori, amin turi va g'ovak tashuvchining tuzilishi bilan baholanadi [10; 33259–33302].

Zeolitlar.



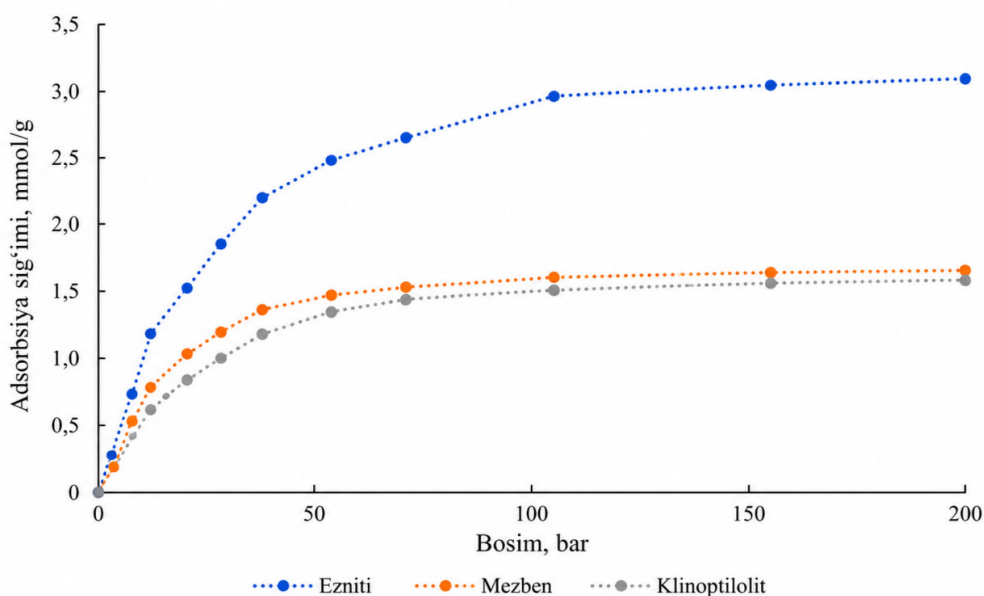


Tadqiqotchilarning aniqlashicha zeolitlar o'zining g'ovakli tuzilishi va qavatlar orasidagi zaryadlar taqsimoti natijasida yuqori adsorbsion xossasiga ega bo'lib, bugungi 170 dan ortiq zeolitlar asosidagi adsorbent mavjud va ular xalqaro ro'yhatdan o'tgan.



bu yerda M — Na^+ , K^+ , Ca^{2+} kabi kationlardir.

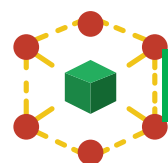
Zeolitlar asosidagi adsorbentlarning karbonat angidrid uchun sorbsion xususiyatlari XX - asrning 60-yillaridan o'rganilgan. Tarixiy manbalarga ko'ra ularning fizosorbsiyasiga silanol guruhlar bilan vodorod bog'lanish yordamida markaziy zaryadlarga bog'lanish natijasida kam miqdordagi (0.15 mmol/kg) xemosorbsiya natijasida karbonatlar va karboksilatlar hosil bo'lishi tushuntirib berilgan [11; 257–265,11; 1621–1628 b.].

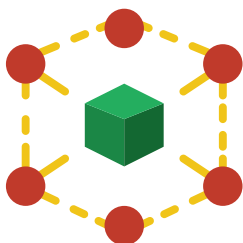


2-rasm. Ba'zi zeolitlarning adsorbsion izotermalari

Tabiiy holda uchraydigan zeolitlarning karbonat angidridni yutish sig'imi 2,7 mmol/g gacha yetadi. Lekin yuqori bosimlarda sig'im sekin astalik bilan ortadi. Past haroratlarda samarali hisoblanadi. Agar harorat 50°C dan ortirib borilsa zeolitlar eng yuqori yutish sig'imga ega bo'ladi. Shunda ham 13X zeolitida yutish sig'imi 4mmol/gr dan ortmasligi aniqlangan. Lekin harorat ortishi davom ettirilsa b sorbsion sig'imi tezlik bilan pasayadi (2-rasm) [12; 105–114 b.]

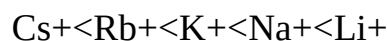
Ushbu tadqiqot ishida zeolitlarda o'zini qayta tiklash xossasi yaxshi bo'lganligi uchun harorat va bosim ta'sirida qayta regeneratsiyalash imkonini mavjudligi o'rganilgan. Lekin xemosorbsiya natijasida yutilgan suv orqali hosil bo'lgan bikarbonat holatiga o'tgan gazlar faqat yuqori haroratlarda desorbsiyalanish xossasiga ega ekanligi aniqlangan. Shu sababdan bosimni o'zgartirish natijasida to'liq qayta tiklanish deyarli ilojisiz bo'lganligi sababli 300°C dan yuqori haroratlarda adsorbent o'zini to'liq qayta tiklaydi. Zeolitlar past haroratlarda 5-6 marta sikldan keyin yutilish sig'im bir necha marta pasayishi kuzatildi [13; 571–576 b.]





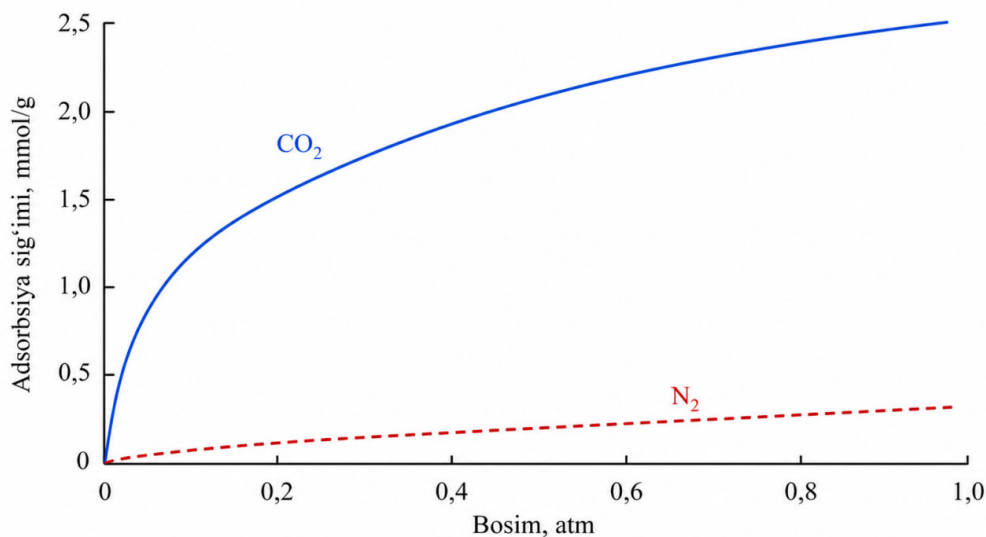
Izlanishlar natijasida zeolitlarda karbonat angidrid sorbsiyasining kinetikasi yaxshi o'rganilganligi natijasida odatda past haroatlarda dastlabki 20 sekund davomida yoq 70% sig'imning to'ldirilishiga erishish mumkin. Yutilish tezligiga ta'sir qiluvchi asosiy omillar sifatida g'ovaklar o'lchamlari muhim ahamiyat kasb etadi. Bundan tashqari barcha zeolitlarda ham yutilish jarayoni izotermik jarayon emasligi sababli harorat ta'sirida sorbsiya kinetikasi keskin o'zgarishga uchraydi[14; 186–195 b.].

Tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki zeolitlarni modifikatsiyalash orqali karbonat angidridning yutilish sig'imini bir necha barobar ortishi. Bundan tashqari ishqorlar ta'sirida kation almashinish reaksiyalari natijasida quydagi tartibda karbonat angidridga bo'lgan yutilish sig'im ortishi aniqlandi[15; 78–84 b.].



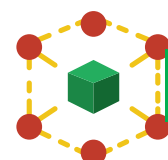
Uglerodli sorbentlar.

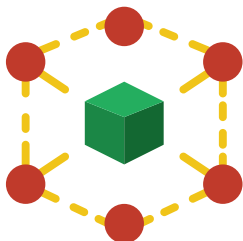
Tadqiqotchilarning aniqlashicha bugungi kunda uglerod asosidagi adsorbentlar butun dunyoda tannarxining arzonligi bilan alohida o'rin tutadi. Uglerodli sorbentlarning juda ko'p manbaalari dunyoning deyarli barcha hududlaridan topish mumkin. Shu sababli ko'mir, bitum, yog'och, neft, koks smolasi, polimer materillardan va uglerodning turli biologik massalardan foydalanib faollantirilgan ko'mir olish usullari takomillashib bormoqda [16; 1973–1979 b.]



3-rasm. Uglerod sorbentlarining uglerod (IV) oksidi va azot sorbsiyasiga bosimning ta'siri.

Tadqiqotchi Chue K.T tomonidan aniqlanishicha uglerod sorbentlarining yutilish sig'imi 2 mmol/g atrofida bo'ladi. Uglerodli sorbentlarning ham katta qismi zeolitlar sorbentlari kabi fizosorbsiyaga jarayoni orqali amalga oshadi. Bundan kelib chiqadiki harorat ortganda ularning sorbsion sig'imida yutilish kinetikasi tezlik bilan pasayadi. Ammo bosim ortishi natijasida sorbsion





sig‘im bir xil meyyorda sekinlik bilan ortadi. Ushbu holar Lengmyur izotermalariga to‘liq mos kelishini aniqladi [17; 591–598 b.].

XULOSA

Adabiyotlar tahlili shuni ko‘rsatdiki, karbonat angidridni adsorbsiya qilishda zeolitlar, uglerodli sorbentlar va aminlar bilan modifikatsiyalangan adsorbentlar yuqori samaradorlikka ega. Ular orasida aminli sorbentlar CO₂ ga nisbatan yuqori selektivligi va adsorbsion sig‘imi bilan ajralib turadi. Zeolitlar yaxshi regeneratsiyalanish xususiyatiga ega bo‘lsa, uglerodli sorbentlar iqtisodiy jihatdan qulay hisoblanadi. Shuning uchun CO₂ ni samarali ushlash uchun modifikatsiyalangan sorbentlar yaratish va ularning xossalari takomillashtirish dolzarb ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. **Global Carbon Budget 2025. Pierre Friedlingstein, Michael O'Sullivan, Matthew W. Jones, Robbie M. Andrew, Dorothee C. E. Bakker, <https://doi.org/10.5194/essd-18-3211-2026>**

2. Crippa, M., Guizzardi, D., Pagani, F., Banja, M., Muntean, M. et al., GHG emissions of all world countries - 2025 Report, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2025, [doi:10.2760/9816914](https://doi.org/10.2760/9816914), JRC143227.

3. JRC SCIENCE FOR POLICY REPORT. GHG EMISSIONS OF ALL WORLD COUNTRIES 2025. https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025?vis=co2tot#emissions_table

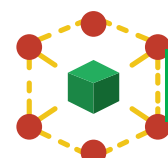
4. Sultan, N.S., Hieba, E.M., Hamed, R.R. et al. Carbon dioxide capture, utilization, and storage: recent approaches, challenges, and future prospects toward a carbon-free world. *Clean Techn Environ Policy* 28, 67 (2026). <https://doi.org/10.1007/s10098-025-03374-8>

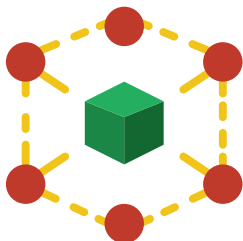
5. **Li Q., Zhang H., Peng F., Wang C., Li H., Xiong L., Guo H., Chen X.** Monoethanolamine-Modified Attapulgitite-Based Amorphous Silica for the Selective Adsorption of CO₂ from Simulated Biogas // *Energy & Fuels*. – 2020. – Vol. 34, No. 2. – P. 2097–2106.

6. Ramezanipour Penchah H., Ghaemi A., Ganadzadeh Gilani H. Benzene-Based Hyper-Cross-Linked Polymer with Enhanced Adsorption Capacity for CO₂ Capture // *Energy and Fuels*. American Chemical Society, 2019. Vol. 33, № 12. P. 12578–12586.

7. Taheri F.S., Ghaemi A., Maleki A. High Efficiency and Eco-Friendly TEPA-Functionalized Adsorbent with Enhanced Porosity for CO₂ Capture // *Energy and Fuels*. American Chemical Society, 2019. Vol. 33, № 11. P. 11465–11476.

8. Sridhar S., Smitha B., Aminabhavi T.M. Separation of carbon dioxide from natural gas mixtures through polymeric membranes - A review // *Separation and Purification Reviews*. 2007. Vol. 36, № 2. P. 113–174.





9. Yousaf, S., Noor, H.A., Ullah, M.W. *et al.* Comparative Analysis of the Efficiencies of Two Low Cost Adsorbents for Carbon Dioxide Capture. *Int J Environ Res* 19, 164 (2025). <https://doi.org/10.1007/s41742-025-00833-4>
10. Dang, H., Guan, B., Chen, J. *et al.* Research on carbon dioxide capture materials used for carbon dioxide capture, utilization, and storage technology: a review. *Environ Sci Pollut Res* 31, 33259–33302 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33370-2>
11. Pawlesa J., Zukal A., Čejka J. Synthesis and adsorption investigations of zeolites MCM-22 and MCM-49 modified by alkali metal cations // *Adsorption*. 2007. Vol. 13, № 3–4. P. 257–265
12. Seabra R. R.A.M., Gleichmann K. F.A.F.P., Rodrigues A.E. Adsorption equilibrium and kinetics of carbon dioxide, methane and nitrogen on binderless zeolite 4A adsorbents // *Microporous Mesoporous Mater.* 2019. Vol. 277. P. 105–114.
13. Siriwardane R. V., Shen M.S., Fisher E.P. Adsorption of CO₂, N₂, and O₂ on natural zeolites // *Energy and Fuels*. 2003. Vol. 17, № 3. P. 571–576.
14. Yucel H., Ruthven D.M. Diffusion of CO₂ in 4A and 5A zeolite crystals // *J. Colloid Interface Sci.* 1980. Vol. 74, № 1. P. 186–195.
15. Walton K.S., Abney M.B., LeVan M.D. CO₂ adsorption in y and X zeolites modified by alkali metal cation exchange // *Microporous Mesoporous Mater.* 2006. Vol. 91, № 1–3. P. 78–84.
16. Davini P. Flue gas treatment by activated carbon obtained from oilfired fly ash // *Carbon* N. Y. 2002. Vol. 40, № 11. P. 1973–1979.
17. Chue K.T. *et al.* Comparison of Activated Carbon and Zeolite 13X for CO₂ Recovery from Flue Gas by Pressure Swing Adsorption // *Ind. Eng. Chem Res.* 1995. Vol. 34, № 2. P. 591–598.

