

Orolova Gulsevar Mengniqul qizi

E-mail: [gulsevarorolova77@gmail.com](mailto:gulsevarorolova77@gmail.com)

Termiz davlat universiteti talabasi

**ANNOTATSIYA:** Ushbu ilmiy maqolada karbon dioksidni (CO<sub>2</sub>) adsorbsiya qilish va uni qayta ishlash jarayonlarida nanomateriallar asosidagi sorbentlarning roli o'rganilgan. Atmosferada CO<sub>2</sub> miqdorining ortib borishi global iqlim o'zgarishiga sabab bo'layotgan muhim omillardan biri hisoblanadi. Shu bois ushbu gazni samarali ushlab qolish va foydali mahsulotlarga aylantirish dolzarb ilmiy muammolardan biridir. Tadqiqotda aerogellar, grafen asosidagi materiallar, metall-organik karkaslar (MOF) va boshqa nanostrukturalarning adsorbsion xususiyatlari tahlil qilindi.

**KALIT SO'ZLAR:** karbon dioksid, adsorbsiya, nanomateriallar, sorbentlar, aerogel, MOF, kataliz, ekologiya.

**ABSTRACT:** This scientific article investigates the role of nanomaterial-based sorbents in the adsorption and conversion of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). The increasing concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere is one of the main factors contributing to global climate change. Therefore, the effective capture and conversion of this gas into valuable products is a critical scientific challenge. The study analyzes the adsorption properties of nanostructured materials such as aerogels, graphene-based materials, and metal-organic frameworks (MOFs).

**KEYWORDS:** carbon dioxide, adsorption, nanomaterials, sorbents, aerogel, MOF, catalysis, environment.

**АННОТАЦИЯ:** В данной научной статье рассматривается роль сорбентов на основе наноматериалов в процессах адсорбции и переработки диоксида углерода (CO<sub>2</sub>). Увеличение концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере является одним из ключевых факторов глобального изменения климата. В связи с этим эффективное улавливание и преобразование данного газа в полезные продукты представляет собой актуальную научную задачу.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** диоксид углерода, адсорбция, наноматериалы, сорбенты, аэрогель, MOF, катализ, экология.

## ASOSIY QISM

Karbon dioksidning (CO<sub>2</sub>) atmosferadagi miqdorining ortib borishi global ekologik muammolarning keskinlashuviga olib kelmoqda. Ushbu gazning issiqxona effekti hosil qilishdagi roli tufayli uning konsentratsiyasini kamaytirish va foydali

mahsulotlarga aylantirish zamonaviy kimyo fanining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylangan. CO<sub>2</sub> ni kamaytirish strategiyalarida adsorbsiya usuli alohida ahamiyatga ega bo'lib, ayniqsa nanomateriallar asosidagi sorbentlar bu jarayonni samarali amalga oshirish imkonini bermoqda. Nanomateriallarning o'ziga xos xususiyatlari, jumladan katta sirt maydoni, yuqori g'ovaklilik darajasi va sirt faol markazlarining mavjudligi CO<sub>2</sub> molekulalarini samarali bog'lashga xizmat qiladi.

Nanomateriallar asosidagi sorbentlar ichida aerogellar alohida o'rin egallaydi. Aerogellar juda past zichlikka ega bo'lib, ularning sirt maydoni juda katta qiymatlarga ega bo'lishi mumkin. Bu esa ularni gazlarni adsorbsiya qilish uchun juda qulay qiladi. Silika asosidagi aerogellar CO<sub>2</sub> ni fizik adsorbsiya qilishda yuqori samaradorlik ko'rsatadi. Shu bilan birga, ularning yuzasini amin guruhlar bilan funksionallashtirish orqali kimyoviy adsorbsiya samaradorligini ham oshirish mumkin. Amin guruhlar CO<sub>2</sub> bilan reaksiyaga kirishib, karbamatlar hosil qiladi, bu esa adsorbsiya jarayonining selektivligini oshiradi. Bunday funksionallashtirish aerogellar qayta tiklanish qobiliyatiga ham ega bo'lib, ular ko'p marotaba foydalanilishi mumkin.

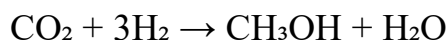
Grafen asosidagi nanomateriallar ham CO<sub>2</sub> ni ushlab qolishda istiqbolli materiallar qatoriga kiradi. Grafenning ikki o'lchamli tuzilishi va yuqori elektr o'tkazuvchanligi uni nafaqat adsorbent, balki katalitik jarayonlarda ham faol komponent sifatida ishlatish imkonini beradi. Grafen oksidi va uning hosilalari yuzasida mavjud kislorodli funksional guruhlar CO<sub>2</sub> molekulalari bilan o'zaro ta'sirlashadi va adsorbsiya jarayonini kuchaytiradi. Bundan tashqari, grafen asosidagi kompozit materiallar metall nanopartikullari bilan birgalikda qo'llanilganda CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash reaksiyalarida yuqori katalitik faollik namoyon qiladi.

Metall-organik karkaslar (MOFlar) esa nanomateriallar orasida eng istiqbolli sorbentlardan biri hisoblanadi. Ularning kristall tuzilishi yuqori darajada tartiblangan bo'lib, juda katta sirt maydoniga ega. MOFlarning tuzilishini boshqarish orqali ularning g'ovak o'lchamlarini va kimyoviy xossalarni moslashtirish mumkin. Bu esa CO<sub>2</sub> molekulalariga nisbatan yuqori selektivlikni ta'minlaydi. Masalan, amin funksional guruhlar bilan modifikatsiyalangan MOFlar CO<sub>2</sub> ni selektiv ravishda adsorbsiya qilishda juda samarali hisoblanadi. Shu bilan birga, MOFlar katalizator sifatida ham ishlatilishi mumkin, bu esa CO<sub>2</sub> ni metanol, metan yoki boshqa organik moddalar sintezida qo'llash imkonini beradi.

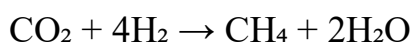
CO<sub>2</sub> ni adsorbsiya qilish jarayonlari asosan ikki turga bo'linadi, ya'ni fizik va kimyoviy adsorbsiya. Fizik adsorbsiya van-der-Vaals kuchlari asosida amalga oshadi va odatda past energiyali jarayon hisoblanadi. Kimyoviy adsorbsiya esa kuchliroq bog'lanishlar hosil bo'lishi bilan xarakterlanadi va yuqori selektivlikka ega bo'ladi. Nanomateriallar ushbu ikkala jarayonni ham samarali amalga oshira oladi. Ularning

sirt xususiyatlarini modifikatsiya qilish orqali kerakli adsorbsion mexanizmni tanlash mumkin.

CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash jarayonlarida nanomateriallar asosidagi sorbentlar katalizator sifatida ham keng qo'llanilmoqda. Masalan, CO<sub>2</sub> ning vodorod bilan reaksiyasi natijasida metanol hosil qilish jarayoni muhim sanoat ahamiyatiga ega. Ushbu jarayonda katalizator sifatida mis, rux va alyuminiy oksidlari asosidagi nanokompozitlar ishlatiladi. Reaksiya quyidagicha ifodalanadi:



Bundan tashqari, CO<sub>2</sub> ni metanga aylantirish jarayoni ham keng o'rganilgan. Bu jarayon Sabatye reaksiyasi deb ataladi va unda nikel asosidagi katalizatorlar ishlatiladi:



Nanomateriallar asosidagi katalizatorlar ushbu reaksiyalarning tezligini oshiradi va energiya sarfini kamaytiradi. Shu bilan birga, fotokatalitik va elektrokatalitik usullar ham CO<sub>2</sub> ni qayta ishlashda muhim ahamiyat kasb etadi. Masalan, titan dioksid (TiO<sub>2</sub>) asosidagi nanomateriallar yorug'lik ta'sirida CO<sub>2</sub> ni qayta ishlash reaksiyalarini amalga oshiradi.

Nanomateriallar asosidagi sorbentlarning yana bir muhim afzalligi ularning qayta tiklanish imkoniyatidir. Adsorbsiya jarayonidan so'ng CO<sub>2</sub> ni desorbsiya qilish orqali sorbentni yana qayta ishlatish mumkin. Bu esa iqtisodiy jihatdan samarali hisoblanadi. Shu bilan birga, ushbu materiallarning barqarorligi va uzoq muddatli ishlash qobiliyati ham muhim omillardan biridir.

## MUAMMOLAR VA ULARNING TAHLILI

Hozirgi kunda karbon dioksid (CO<sub>2</sub>) ni adsorbsiya qilish va qayta ishlash jarayonlari global miqyosda dolzarb bo'lishiga qaramasdan, ushbu sohada bir qator ilmiy, texnologik va iqtisodiy muammolar mavjud. Ushbu muammolarni chuqur tahlil qilish nanomateriallar asosidagi sorbentlarning amaliy qo'llanilishini yanada rivojlantirish uchun muhim ahamiyatga ega.

Eng asosiy muammolardan biri — CO<sub>2</sub> ni selektiv va yuqori samaradorlik bilan ajratib olishning murakkabligidir. Atmosfera va sanoat gaz aralashmalarida CO<sub>2</sub> bilan birga N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> va boshqa gazlar mavjud bo'lib, ularni bir-biridan ajratish katta energiya va yuqori selektiv sorbentlarni talab qiladi. Ko'plab nanomateriallar yuqori sirt maydoniga ega bo'lishiga qaramasdan, ularning selektivligi har doim ham yetarli darajada emas. Bu esa CO<sub>2</sub> ning boshqa gazlar bilan birga adsorbsiya bo'lishiga olib keladi va jarayon samaradorligini kamaytiradi.

Ikkinchi muammo — sorbentlarning regeneratsiya (qayta tiklanish) jarayonidagi energiya sarfi hisoblanadi. CO<sub>2</sub> ni sorbentdan ajratib olish, ya'ni desorbsiya jarayoni ko'pincha yuqori harorat yoki bosim o'zgarishini talab qiladi. Bu

esa texnologik jarayonni qimmatlashtiradi va energiya samaradorligini pasaytiradi. Ayniqsa, kimyoviy adsorbsiya jarayonlarida hosil bo'ladigan kuchli bog'lanishlarni uzish uchun ko'p energiya talab qilinadi.

Uchinchi muammo — nanomateriallarning uzoq muddatli barqarorligi va degradatsiyasi bilan bog'liq. Amaliy sharoitlarda sorbentlar namlik, harorat o'zgarishi va kimyoviy agressiv muhit ta'sirida o'z xossalarini yo'qotishi mumkin. Masalan, MOF (metall-organik karkaslar) materiallari yuqori adsorbsion xususiyatga ega bo'lsa-da, ularning ayrim turlari nam muhitda beqaror bo'lib qoladi. Bu esa ularning sanoat miqyosida qo'llanilishini cheklaydi.

To'rtinchi muammo — ishlab chiqarish va sintez jarayonlarining qimmatligi. Nanomateriallar, ayniqsa grafen, MOF va funksionallashtirilgan aerogellarni ishlab chiqarish murakkab texnologik jarayonlarni talab qiladi. Bu esa ularning keng ko'lamda sanoatga joriy etilishiga iqtisodiy to'siq bo'lib xizmat qiladi. Arzon xomashyo va soddalashtirilgan sintez usullarini ishlab chiqish hali ham dolzarb ilmiy vazifa bo'lib qolmoqda.

Beshinchi muammo — CO<sub>2</sub> ni faqat ushlab qolish emas, balki uni foydali mahsulotlarga aylantirish jarayonining past samaradorligidir. Hozirgi katalitik tizimlarda CO<sub>2</sub> ni metanol, metan yoki boshqa organik birikmalarga aylantirish jarayonlari ko'pincha past konversiya darajasiga ega. Bu esa jarayonning sanoat miqyosida keng qo'llanilishini cheklaydi. Shuningdek, selektivlik muammosi ham mavjud bo'lib, yon mahsulotlar hosil bo'lishi asosiy mahsulot chiqishini kamaytiradi.

## XULOSA

Ushbu ilmiy maqolada CO<sub>2</sub> ni adsorbsiya qilish va qayta ishlash jarayonlarida nanomateriallar asosidagi sorbentlarning roli chuqur tahlil qilindi. O'rganilgan natijalar shuni ko'rsatadiki, atmosferadagi karbon dioksid miqdorining ortishi global ekologik muammolarni keskinlashtirayotgan bir sharoitda uni samarali ushlab qolish va qayta foydalanish texnologiyalarini rivojlantirish muhim ilmiy-amaliy vazifa hisoblanadi.

Nanomateriallar, jumladan aerogellar, grafen asosidagi tuzilmalar va metall-organik karkaslar (MOF) CO<sub>2</sub> ni adsorbsiya qilishda yuqori sirt maydoni, rivojlangan g'ovak tuzilishi va sirt faolligi bilan ajralib turadi. Ushbu xususiyatlar ularni an'anaviy sorbentlarga nisbatan ancha samarali qiladi. Shuningdek, ularning kimyoviy va fizik xossalarini modifikatsiya qilish orqali selektivlik va adsorbsion sig'imni yanada oshirish mumkinligi aniqlandi.

Tahlillar shuni ham ko'rsatadiki, nanomateriallar faqat CO<sub>2</sub> ni ushlab qolishda emas, balki uni metanol, metan va boshqa organik birikmalarga aylantirish

jarayonlarida ham katalitik rol o'ynashi mumkin. Bu esa CO<sub>2</sub> ni chiqindi gaz sifatida emas, balki kimyoviy xomashyo sifatida qayta baholash imkonini beradi.

Biroq, ushbu sohada selektivlikning yetarli darajada emasligi, sorbentlarni regeneratsiya qilishdagi energiya sarfi, materiallarning uzoq muddatli barqarorligi va sanoat miqyosida qo'llashdagi iqtisodiy cheklovlar kabi muammolar mavjudligi aniqlandi. Ushbu muammolarni hal etish nanomateriallar kimyosi va katalitik jarayonlar sohasida yangi yondashuvlarni ishlab chiqishni talab etadi.

## FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Smith J.M., Van Ness H.C., Abbott M.M. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. McGraw-Hill Education, 2018.
2. Atkins P., de Paula J. *Atkins' Physical Chemistry*. Oxford University Press, 2014.
3. Davis M.E., Lobo R.F. "Zeolite and MOF-based adsorbents for CO<sub>2</sub> capture." *Microporous and Mesoporous Materials*, 2019.
4. Sumida K., Rogow D.L., Mason J.A., McDonald T.M., Bloch E.D., Herm Z.R., Bae T.H., Long J.R. "Carbon dioxide capture in metal-organic frameworks." *Chemical Reviews*, 2012.
5. Wang Q., Luo J., Zhong Z., Borgna A. "CO<sub>2</sub> capture by solid adsorbents and their applications." *Energy & Environmental Science*, 2011.
6. Figueroa J.D., Fout T., Plasynski S., McIlvried H., Srivastava R.D. "Advances in CO<sub>2</sub> capture technology." *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2008.
7. Choi S., Drese J.H., Jones C.W. "Adsorbent materials for carbon dioxide capture from large anthropogenic point sources." *ChemSusChem*, 2009.
8. Burrell J.W., Gadipelli S., Ford J., et al. "Graphene-based materials for gas adsorption applications." *Journal of Materials Chemistry A*, 2014.
9. Zhou H.C., Long J.R., Yaghi O.M. "Introduction to metal-organic frameworks." *Chemical Reviews*, 2012.