

**KARBONAT ANGIDRIDNI YUTUVCHI NANOSTRUKTURALI
AEROGOLLAR OLI SH TEXNOLOGIYASI**

Orolova Gulsevar Mengniqul qizi¹, Boboyeva Marjona Saidaxmadovna²

E-mail: gulsevarorolova77@gmail.com

E-mail: marjonaboboyeva440@gmail.com

Termiz davlat universiteti talabalari

ANNOTATSIYA: Mazkur maqolada karbonat angidridni yutuvchi nanostrukturali aerogellarni olish texnologiyasi, ularning tuzilishi, fizik-kimyoviy xossalari hamda adsorbsion samaradorligi tahlil qilingan. Aerogellar sol-gel texnologiyasi asosida sintez qilinib, yuqori g'ovaklilik, katta solishtirma sirt maydoni va rivojlangan nanostrukturaga ega materiallar sifatida o'rganildi. Tadqiqot davomida aerogellarni modifikatsiyalash usullari, quritish texnologiyalari hamda CO₂ adsorbsiyasiga ta'sir etuvchi omillar ko'rib chiqildi.

KALIT SO'ZLAR: Karbonat angidrid, nanostrukturali aerogel, sorbent, sol-gel texnologiyasi, adsorbsiya, yuqori g'ovaklilik, CO₂ yutilishi, amin modifikatsiyasi, ekologik texnologiyalar, nanomateriallar.

ABSTRACT: This article discusses the technology for producing nanostructured aerogels capable of carbon dioxide adsorption, as well as their structure, physicochemical properties, and adsorption efficiency. The aerogels were synthesized using sol-gel technology and investigated as materials with high porosity, large specific surface area, and developed nanostructure. The study examined aerogel modification methods, drying technologies, and factors affecting CO₂ adsorption. Aerogels modified with amino functional groups demonstrated high carbon dioxide adsorption efficiency. The obtained results indicate that these materials are promising sorbents for reducing atmospheric pollution, gas purification, and the development of environmentally safe technologies.

KEYWORDS: Carbon dioxide, nanostructured aerogel, sorbent, sol-gel technology, adsorption, high porosity, CO₂ capture, amino modification, environmental technologies, nanomaterials.

АННОТАЦИЯ: В данной статье рассмотрена технология получения наноструктурированных аэрогелей, поглощающих углекислый газ, а также их структура, физико-химические свойства и адсорбционная эффективность. Аэрогели синтезированы методом золь-гель технологии и исследованы как

материалы с высокой пористостью, большой удельной поверхностью и развитой наноструктурой. В ходе исследования изучены методы модификации аэрогелей, технологии сушки и факторы, влияющие на адсорбцию CO₂. Установлено, что аэрогели, модифицированные аминогруппами, эффективно поглощают углекислый газ.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Углекислый газ, наноструктурированный аэрогель, сорбент, золь-гель технология, адсорбция, высокая пористость, поглощение CO₂, аминная модификация, экологические технологии, наноматериалы.

ASOSIY QISM

Hozirgi kunda atmosfera tarkibida karbonat angidrid gazining ortib borishi global ekologik muammolarning asosiy sabablaridan biri hisoblanadi. Sanoat korxonalarini, issiqlik elektr stansiyalari va transport vositalaridan ajralib chiqayotgan CO₂ miqdorining ko'payishi issiqxona effekti kuchayishiga olib kelmoqda. Natijada global iqlim o'zgarishi, haroratning oshishi va ekologik muvozanatning buzilishi kuzatilmoqda. Shu sababli karbonat angidridni samarali ushlab qoluvchi va adsorbsiyalovchi yangi materiallarni yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar jadal rivojlanmoqda. Ana shunday istiqbolli materiallardan biri nanostrukturali aerogel sorbentlar hisoblanadi.

Nanostrukturali aerogellar yuqori g'ovaklilikka ega bo'lgan, juda kichik zichlikli va katta solishtirma sirt maydoniga ega materiallar sinfiga kiradi. Ularning ichki tuzilishi nanometr o'lchamdagi g'ovaklardan tashkil topgan bo'lib, bu xususiyat gaz molekularining material ichiga oson kirib borishini ta'minlaydi. Aerogellar ko'pincha kremniy dioksid, uglerod yoki polimer asosida sintez qilinadi. Ayniqsa kremniy dioksid asosidagi aerogellar yuqori termik barqarorligi, kimyoviy inertligi va adsorbsiya xossalari bilan alohida ahamiyat kasb etadi.

Karbonat angidridni yutuvchi nanostrukturali aerogellarni olishning eng samarali usullaridan biri sol-gel texnologiyasi hisoblanadi. Ushbu usulda dastlab kremniy alkoksidlari yoki natriy silikat asosidagi eritmalar tayyorlanadi. Keyinchalik gidroliz va kondensatsiya reaksiyalari natijasida kolloid sistema hosil bo'ladi. Ushbu sistema asta-sekin uch o'lchamli g'ovakli gel strukturasi aylanadi. Gel hosil bo'lish jarayonida muhit pH qiymati, harorat va reagentlar konsentratsiyasi katta ahamiyatga ega. Chunki ushbu omillar g'ovaklarning o'lchami va materialning yakuniy xossalari bevosita ta'sir ko'rsatadi.

Aerogel sintezining asosiy bosqichlari sol tayyorlash, gel hosil qilish, quritish, erituvchini almashtirish va quritishdan iborat. Qarish jarayonida gel strukturasi mustahkamlanadi va ichki bog‘lanishlar kuchayadi. Shundan so‘ng erituvchi modda kamroq sirt tarangligiga ega suyuqlik bilan almashtiriladi. Bu keyingi quritish bosqichida strukturaning yemirilishini kamaytiradi.

Aerogellarni olishdagi eng muhim bosqichlardan biri quritish hisoblanadi. Oddiy quritish usullarida kapillyar kuchlar ta‘sirida g‘ovakli struktura buzilishi mumkin. Shu sababli superkritik quritish texnologiyasi keng qo‘llaniladi. Superkritik holatda suyuqlik va gaz fazalari orasidagi chegara yo‘qoladi, natijada sirt tarangligi hosil bo‘lmaydi va aerogelning nanostrukturasi saqlanib qoladi. Ayrim hollarda muzlatib quritish usuli ham qo‘llaniladi. Bu usul iqtisodiy jihatdan nisbatan arzon bo‘lsa-da, hosil bo‘lgan materialning g‘ovaklilik darajasi superkritik quritishda olingan aerogellarga nisbatan pastroq bo‘lishi mumkin.

Karbonat angidridni samarali adsorbsiyalash uchun aerogellar ko‘pincha kimyoviy modifikatsiyaga uchratiladi. Ayniqsa amin funksional guruhlar bilan modifikatsiyalangan aerogellar CO₂ molekulalarini faol bog‘lash qobiliyatiga ega. Amin guruhlarini karbonat angidrid bilan kimyoviy ta‘sirlashib karbamat birikmalarini hosil qiladi. Shu sababli bunday aerogellar yuqori adsorbsiya sig‘imi bilan tavsiflanadi. Modifikatsiya qilish uchun etilendiamin, polietilenimin va boshqa amin tutuvchi birikmalar ishlatiladi.

CO₂ adsorbsiyasi jarayoniga bir qator omillar ta‘sir qiladi. Haroratning oshishi adsorbsiya samaradorligini pasaytirishi mumkin, chunki adsorbsiya jarayoni ko‘pincha ekzotermik xarakterga ega. Bosimning ortishi esa karbonat angidrid molekulalarining sorbent sirtiga ko‘proq yutilishiga olib keladi. Bundan tashqari aerogelning g‘ovak hajmi, sirt maydoni va funksional guruhlar soni ham adsorbsiya jarayonida muhim rol o‘ynaydi.

Nanostrukturali aerogellarning yuqori samaradorligi ularning katta solishtirma sirt maydoni bilan bog‘liq. Ayrim aerogellarning sirt maydoni 1000 m²/g dan ham yuqori bo‘lishi mumkin. Bu esa adsorbsiya markazlari sonining ko‘payishiga olib keladi. Shu bilan birga g‘ovaklarning nanoo‘lchamli tuzilishi gaz molekulalarining diffuziyasini tezlashtiradi va adsorbsiya jarayonini jadallashtiradi.

Karbonat angidridni ushlab qoluvchi aerogellar ekologik texnologiyalarda keng istiqbolga ega. Ular issiqlik elektr stansiyalaridan chiqayotgan gazlarni tozalash, sanoat korxonalarida zararli chiqindilarni kamaytirish hamda atmosfera ifloslanishini nazorat qilish tizimlarida qo‘llanilishi mumkin. Bundan tashqari, bunday sorbentlar tabiiy

gazni tozalash va vodorod energetikasi tizimlarida ham muhim ahamiyat kasb etmoqda.

MUAMMOLAR VA UNING TAHLILI

Karbonat angidridni yutuvchi nanostrukturali aerogellar ekologik muammolarni hal qilishda katta istiqbolga ega bo'lishiga qaramasdan, ularni sintez qilish, sanoat miqyosida ishlab chiqarish va amaliyotga joriy etishda bir qator muammolar mavjud. Ushbu muammolar texnologik, iqtisodiy, mexanik va ekologik omillar bilan bog'liq bo'lib, aerogel sorbentlarning keng qo'llanilish imkoniyatlarini ma'lum darajada cheklaydi.

Asosiy muammolardan biri aerogellarni sintez qilish texnologiyasining murakkabligidir. Sol-gel texnologiyasi bir necha ketma-ket bosqichlardan iborat bo'lib, har bir bosqich aniq nazoratni talab qiladi. Hidroliz va kondensatsiya reaksiyalarining noto'g'ri boshqarilishi g'ovaklarning notekis hosil bo'lishiga sabab bo'ladi. Natijada aerogelning sirt maydoni kamayadi va adsorbsiya samaradorligi pasayadi. Ayniqsa pH muhitining o'zgarishi, harorat va reagentlar konsentratsiyasi aerogel strukturasi sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli optimal texnologik parametrlarni tanlash muhim ilmiy masala hisoblanadi.

Aerogel ishlab chiqarishda quritish jarayoni ham eng murakkab bosqichlardan biri sanaladi. Oddiy atmosfera sharoitida quritilganda kapillyar bosim ta'sirida g'ovakli struktura deformatsiyalanadi yoki butunlay buziladi. Shu bois superkritik quritish texnologiyasi qo'llaniladi. Biroq ushbu usul yuqori bosim va maxsus uskunalarni talab qilgani sababli ishlab chiqarish xarajatlarini sezilarli darajada oshiradi. Bundan tashqari superkritik quritish energiya sarfining yuqoriligi bilan ham tavsiflanadi. Shu sababli iqtisodiy jihatdan arzon va energiya tejamkor quritish usullarini ishlab chiqish dolzarb masalalardan biri hisoblanadi.

Nanostrukturali aerogellarning yana bir muhim kamchiligi ularning mexanik mo'rtligidir. Yuqori g'ovaklilik material zichligini kamaytiradi, biroq shu bilan birga uning mustahkamligini pasaytiradi. Aerogellar tashqi bosim yoki mexanik zarba ta'sirida oson sinishi mumkin. Bu esa ularni transportirovka qilish va sanoat uskunalarda uzoq muddat qo'llashni qiyinlashtiradi. Mazkur muammoni hal qilish maqsadida polimer tolalar, uglerod nanotrubkalari va grafen asosida kompozit aerogellar yaratilmoqda. Bunday materiallar mexanik jihatdan mustahkamroq bo'lishiga qaramasdan, ularni ishlab chiqarish texnologiyasi yanada murakkablashadi.

Karbonat angidrid adsorbsiyasi jarayonida selektivlik muammosi ham mavjud. Sanoat gazlari tarkibida CO₂ dan tashqari suv bug‘lari, azot oksidlari, oltingugurt birikmalari va boshqa gazlar mavjud bo‘ladi. Ushbu komponentlar aerogel sorbent yuzasidagi faol markazlarni egallab, karbonat angidrid adsorbsiyasi samaradorligini kamaytiradi. Ayniqsa namlikning yuqori bo‘lishi amin modifikatsiyalangan aerogellarning faoliyatiga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi. Shu sababli yuqori selektivlikka ega va namlikka chidamli sorbentlarni yaratish muhim ilmiy yo‘nalish hisoblanadi.

Nanostrukturali aerogellarni ishlab chiqarishda iqtisodiy omillar ham muhim ahamiyatga ega. Kremniy alkoksidlari, organik erituvchilar va maxsus modifikatorlarning yuqori narxi tayyor mahsulot tannarxini oshiradi. Shu sababli arzon xomashyolar asosida aerogellar olish texnologiyalarini ishlab chiqish bo‘yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Ayniqsa natriy silikat va biopolimer asosidagi aerogellar iqtisodiy jihatdan istiqbolli variant sifatida qaralmoqda.

Ekologik xavfsizlik bilan bog‘liq muammolar ham mavjud. Ayrim sintez jarayonlarida toksik organik erituvchilar va kimyoviy reagentlardan foydalaniladi. Ushbu moddalar ishlab chiqarish chiqindilari tarkibida atrof-muhitga zarar yetkazishi mumkin. Shu sababli ekologik xavfsiz, “yashil kimyo” tamoyillariga asoslangan texnologiyalarni joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Biologik parchalanadigan materiallar asosidagi aerogellar ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

XULOSA

Karbonat angidridni yutuvchi nanostrukturali aerogellar ekologik xavfsizlikni ta‘minlash va atmosfera ifloslanishini kamaytirishda muhim ahamiyatga ega innovatsion materiallar hisoblanadi. Ularning yuqori g‘ovaklilik, katta solishtirma sirt maydoni va rivojlangan nanostrukturasi karbonat angidrid molekularini samarali adsorbsiyalash imkonini beradi. Ayniqsa amin funksional guruhlari bilan modifikatsiyalangan aerogellar CO₂ ni yutishda yuqori natijalar ko‘rsatmoqda.

Maqolada nanostrukturali aerogellarni sol-gel texnologiyasi asosida olish usullari, ularning fizik-kimyoviy xossalari hamda adsorbsiya samaradorligiga ta‘sir etuvchi omillar tahlil qilindi. Tadqiqotlar aerogellarning adsorbsiya xossalari ularning g‘ovak tuzilishi, sirt maydoni va kimyoviy modifikatsiyasiga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi. Shuningdek, superkritik quritish texnologiyasi aerogelning nanostrukturasi saqlashda muhim rol o‘ynashi aniqlandi.

Tahlillar davomida aerogel sorbentlarning ayrim muammolari ham ko'rib chiqildi. Jumladan, ishlab chiqarish tannarxining yuqoriligi, mexanik mo'rtlik, regeneratsiya murakkabligi va namlikka sezgirlik asosiy cheklovchi omillar sifatida qayd etildi. Shu bilan birga kompozit aerogellar yaratish, ekologik xavfsiz texnologiyalarni ishlab chiqish va biopolimer asosidagi sorbentlardan foydalanish ushbu muammolarni bartaraf etishning istiqbolli yo'nalishlari ekanligi aniqlandi.

Kelgusida karbonat angidridni yutuvchi aerogellarni takomillashtirish, ularning selektivligini oshirish va energiya tejamkor ishlab chiqarish texnologiyalarini yaratish muhim ilmiy vazifalardan biri bo'lib qoladi. Nanostrukturali aerogellar nafaqat gazlarni tozalash, balki energetika, kimyo sanoati va ekologik muhofaza tizimlarida ham keng qo'llanilishi mumkin bo'lgan istiqbolli funksional materiallar qatoriga kiradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Kistler S. S. Coherent Expanded Aerogels and Jellies. *Nature*, 1931.
2. Pierre A. C., Pajonk G. M. *Chemistry of Aerogels and Their Applications*. Chemical Reviews, 2002.
3. Hüsing N., Schubert U. *Aerogels – Airy Materials: Chemistry, Structure and Properties*. Angewandte Chemie International Edition, 1998.
4. Leventis N. *Three-Dimensional Core-Shell Superstructures: Mechanically Strong Aerogels*. *Accounts of Chemical Research*, 2007.
5. Fricke J. *Aerogels and Their Applications*. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1986.
6. Pekala R. W. *Organic Aerogels from the Polycondensation of Resorcinol with Formaldehyde*. *Journal of Materials Science*, 1989.
7. Dorcheh A. S., Abbasi M. H. *Silica Aerogel: Synthesis, Properties and Characterization*. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008.
8. Smirnova I., Gurikov P. *Aerogel Production: Current Status and Future Perspectives*. *Journal of Supercritical Fluids*, 2018.
9. Aegerter M. A., Leventis N., Koebel M. *Aerogels Handbook*. Springer, 2011.
10. Gupta P., Mehta R. *Carbon Aerogels and Their Applications in Environmental Engineering*. *Advanced Materials Research*, 2015.