

CO₂ NI YUTISH VA QAYTA ISHLASH*F.F.Rustamova**E-mail: rfarangiz810@gmail.com**H.K.Qurbonnazarova**E-mail: qurbonnazarovahusniya@gmail.com**Ilmiy rahbar: J.M.Suyunov**Termiz davlat universiteti*

Annotatsiya: Mazkur maqolada karbonat angidrid (CO₂) gazini yutish, saqlash va qayta ishlashning zamonaviy usullari, ularning ilmiy asoslari hamda sanoat va ekologiyadagi ahamiyati tahlil qilingan. Atmosferada CO₂ miqdorining ortishi global iqlim o'zgarishi va issiqxona effekti kuchayishining asosiy sabablaridan biri bo'lib, uni kamaytirishga qaratilgan innovatsion texnologiyalarni ishlab chiqish dolzarb masalaga aylangan. Maqolada kimyoviy absorbsiya, adsorbsiya, membranali ajratish, kriogen ajratish va biologik yutish usullari, shuningdek, CO₂ ni metanol, metan, sintetik yoqilg'ilar, polimerlar va boshqa qimmatli kimyoviy mahsulotlarga aylantirish texnologiyalari yoritilgan. Bundan tashqari, uglerodni ushlash, foydalanish va saqlash (CCUS) texnologiyalarining afzalliklari, mavjud muammolari va istiqbollari ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilingan.

Kalit so'zlar: karbonat angidrid, CO₂ ni yutish, CCUS, uglerodni ushlash, adsorbsiya, absorbsiya, membranali ajratish, kataliz, yashil kimyo, sintetik yoqilg'ilar, metanol, karbonatlash, iqlim o'zgarishi.

Abstract: This article reviews modern technologies for carbon dioxide (CO₂) capture, utilization, and storage, as well as their scientific principles and industrial significance. The increasing concentration of atmospheric CO₂ is one of the main causes of global climate change and the greenhouse effect, making the development of efficient carbon capture technologies a global priority. The paper discusses chemical absorption, adsorption, membrane separation, cryogenic separation, and biological CO₂ capture methods. Furthermore, technologies for converting captured CO₂ into methanol, methane, synthetic fuels, polymers, and other value-added chemicals are analyzed. The advantages, challenges, and future prospects of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technologies are also discussed.

Keywords: carbon dioxide, CO₂ capture, carbon capture utilization and storage, CCUS, adsorption, absorption, membrane separation, catalysis, green chemistry, synthetic fuels, methanol, climate change.

Аннотация: В данной статье рассмотрены современные технологии улавливания, хранения и переработки диоксида углерода (CO_2), их научные основы и практическое значение. Рост концентрации CO_2 в атмосфере является одной из основных причин глобального изменения климата и усиления парникового эффекта, что делает разработку эффективных технологий его улавливания и использования актуальной научной задачей. В статье проанализированы методы химической абсорбции, адсорбции, мембранного и криогенного разделения, а также биологического поглощения CO_2 . Особое внимание уделено технологиям переработки CO_2 в метанол, метан, синтетическое топливо, полимеры и другие ценные химические продукты. Рассмотрены преимущества, проблемы и перспективы технологий улавливания, использования и хранения углерода (CCUS).

Ключевые слова: диоксид углерода, улавливание CO_2 , CCUS, улавливание углерода, адсорбция, абсорбция, мембранное разделение, катализ, зелёная химия, синтетическое топливо, метанол, изменение климата.

Kirish: So‘nggi o‘n yilliklarda sanoatning jadal rivojlanishi, qazilma yoqilg‘ilardan keng foydalanish va urbanizatsiya jarayonlarining kuchayishi natijasida atmosferaga chiqarilayotgan karbonat angidrid (CO_2) miqdori keskin ortdi. CO_2 issiqxona gazlarining asosiy tarkibiy qismlaridan biri bo‘lib, uning atmosferadagi konsentratsiyasining oshishi global iqlim o‘zgarishi, o‘rtacha haroratning ko‘tarilishi, muzliklarning erishi, dengiz sathining ko‘tarilishi va ekstremal ob-havo hodisalarining ko‘payishiga sabab bo‘lmoqda. Shu sababli karbonat angidrid chiqindilarini kamaytirish va undan samarali foydalanish zamonaviy ekologiya, kimyo va energetika fanlarining eng dolzarb yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. Bugungi kunda CO_2 ni yutish va qayta ishlash texnologiyalari (Carbon Capture, Utilization and Storage – CCUS) sanoat korxonalaridan chiqayotgan karbonat angidridni ushlab qolish, uni saqlash yoki foydali mahsulotlarga aylantirish imkonini bermoqda. Ushbu texnologiyalar atmosferaga chiqariladigan issiqxona gazlari miqdorini kamaytirish bilan birga, uglerod resurslaridan samarali foydalanishga ham xizmat qiladi. Natijada CO_2 kimyoviy xomashyo sifatida metanol, metan, sintetik yoqilg‘ilar, karbonatlar, polimerlar va boshqa yuqori qiymatli mahsulotlar ishlab chiqarishda qo‘llanilmoqda. Karbonat angidridni ushlab qolishning eng keng tarqalgan usullariga kimyoviy absorbsiya, fizik adsorbsiya, membranali ajratish, kriogen ajratish va biologik yutish usullari kiradi. So‘nggi yillarda metall-organik karkaslar (MOFs), zeolitlar, aktivlangan uglerodlar, nanomateriallar va ion suyuqliklari asosidagi adsorbentlar yuqori samaradorligi sababli keng o‘rganilmoqda. Bundan tashqari,

elektrokimyoviy va fotokatalitik usullar yordamida CO₂ ni qayta tiklanadigan energiya manbalari ishtirokida foydali kimyoviy mahsulotlarga aylantirish texnologiyalari jadal rivojlanmoqda.

Materiallar va usullar: Mazkur tadqiqot CO₂ ni yutish va qayta ishlash texnologiyalari bo'yicha mahalliy va xorijiy ilmiy adabiyotlar, monografiyalar, xalqaro ilmiy jurnallarda chop etilgan maqolalar hamda ilmiy ma'lumotlar bazalarida e'lon qilingan tadqiqotlar asosida amalga oshirildi. Tadqiqot davomida ekologiya, kimyo, materialshunoslik, kimyoviy texnologiyalar va energetika sohalariga oid ilmiy manbalar tizimli ravishda o'rganildi hamda tahlil qilindi. Tadqiqotda adabiyotlarni tahlil qilish (literature review), qiyosiy tahlil (comparative analysis), tizimlashtirish (systematic analysis) va umumlashtirish (generalization) usullaridan foydalanildi. Ilmiy manbalarda keltirilgan ma'lumotlar asosida CO₂ ni ushlash, ajratish, saqlash va qayta ishlash usullarining samaradorligi, energiya sarfi, iqtisodiy ko'rsatkichlari va ekologik afzalliklari o'zaro taqqoslandi. Tadqiqot obyekti sifatida kimyoviy adsorbsiya (amin eritmalar asosida), fizik adsorbsiya (aktivlangan uglerod, zeolitlar, metall-organik karkaslar (MOFs), silikagellar), membranali ajratish, kriogen ajratish hamda biologik yutish usullari tanlandi. Shuningdek, CO₂ ni metanol, metan, sintetik yoqilg'ilar, karbonatlar va boshqa kimyoviy mahsulotlarga aylantirishning katalitik, elektrokimyoviy va fotokatalitik usullari ilmiy adabiyotlar asosida tahlil qilindi.

Kutilayotgan natijalar: Mazkur tadqiqot natijasida CO₂ ni yutish va qayta ishlashning zamonaviy texnologiyalari, ularning ilmiy asoslari hamda amaliy samaradorligi bo'yicha tizimli ilmiy ma'lumotlar shakllantirilishi kutilmoqda. Kimyoviy adsorbsiya, fizik adsorbsiya, membranali ajratish, kriogen ajratish va biologik yutish usullarining afzalliklari hamda cheklovlari qiyosiy tahlil qilinib, ularning qo'llanilish sohalari aniqlanadi. Tadqiqot davomida metall-organik karkaslar (MOFs), zeolitlar, aktivlangan uglerod, silikagel va boshqa zamonaviy adsorbentlarning CO₂ ni yutish samaradorligiga ta'siri baholanadi. Shuningdek, aminli eritmalar, ion suyuqliklari va nanomateriallar asosidagi yangi avlod sorbentlarining selektivligi, regeneratsiya imkoniyati va energiya tejamkorligi ilmiy jihatdan asoslanadi. Bundan tashqari, CO₂ ni metanol, metan, sintetik yoqilg'ilar, karbonatlar, polimerlar va boshqa yuqori qo'shimcha qiymatga ega kimyoviy mahsulotlarga aylantirishning katalitik, elektrokimyoviy va fotokatalitik usullarining samaradorligi tahlil qilinadi. Ushbu texnologiyalar uglerod chiqindilarini foydali resursga aylantirish, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish va aylanma iqtisodiyot tamoyillarini rivojlantirishga xizmat qilishi ilmiy jihatdan asoslanadi.

Xulosa: CO₂ ni yutish va qayta ishlash texnologiyalari global iqlim o'zgarishi va issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirishga qaratilgan eng muhim ilmiy-texnologik yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Ushbu texnologiyalar atmosferaga chiqarilayotgan karbonat angidrid miqdorini kamaytirish bilan birga, uni qimmatli kimyoviy xomashyo sifatida qayta ishlash imkonini beradi. Natijada ekologik muammolarni hal etish va resurslardan samarali foydalanish bir vaqtning o'zida ta'minlanadi.

Tahlillar shuni ko'rsatadiki, kimyoviy absorbsiya, fizik adsorbsiya, membranali ajratish, kriogen ajratish va biologik yutish usullari CO₂ ni ushlashning eng samarali texnologiyalari hisoblanadi. Metall-organik karkaslar (MOFs), zeolitlar, aktivlangan uglerod, ion suyuqliklari va boshqa zamonaviy adsorbentlardan foydalanish ushbu jarayonlarning samaradorligini sezilarli darajada oshirmoqda. Shu bilan birga, katalitik, elektrokimyoviy va fotokatalitik usullar yordamida CO₂ ni metanol, metan, sintetik yoqilg'ilar, polimerlar va boshqa foydali mahsulotlarga aylantirish texnologiyalari jadal rivojlanmoqda. CO₂ ni qayta ishlash texnologiyalarining keng joriy etilishi yashil kimyo tamoyillarini rivojlantirish, aylanma iqtisodiyot modelini qo'llab-quvvatlash hamda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanishga xizmat qiladi. Ushbu yondashuv sanoat korxonalarining uglerod izini kamaytirish, energiya samaradorligini oshirish va ekologik barqaror ishlab chiqarishni ta'minlashda muhim ahamiyatga ega.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Sally M. Benson, David R. Cole. CO₂ Capture and Storage. MRS Bulletin. – 2008. – Vol. 33. – P. 303–305.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage. – Cambridge University Press, 2005.
3. Bela Smit, J. Reimer, Curtis M. Oldenburg, Ian C. Bourg. Introduction to Carbon Capture and Sequestration. – Imperial College Press, 2014.
4. Mercedes Maroto-Valer (Ed.). Developments and Innovation in Carbon Dioxide (CO₂) Capture and Storage Technology. – Woodhead Publishing, 2010.
5. Roger A. Sheldon. Green Chemistry and Carbon Dioxide Utilization // Green Chemistry. – 2016.
6. Avelino Corma, P. Serna. Chemocatalytic Conversion of CO₂ into Chemicals // Science. – 2006.
7. Omar M. Yaghi, H. Furukawa. Metal–Organic Frameworks for CO₂ Capture // Science. – 2013.

8.Elsevier. International Journal of Greenhouse Gas Control. – CO₂ capture va CCUS bo'yicha ilmiy maqolalar, 2020–2025.

9.Elsevier. Journal of CO₂ Utilization. – CO₂ ni qayta ishlash texnologiyalari bo'yicha maqolalar, 2020–2025.