Registered in Germany **Europa Revue Journal**
ISSN: 1862-6564 **Vol. 6 No. 7 (2026) Published July 9, 2026**

THEORETICAL FOUNDATIONS OF ACTIVE COAL PRODUCTION TECHNOLOGY IN THE CONDITIONS OF KARAKALPAKSTAN

Yusupbaev Azamat

Nukus State Technical University, Nukus, Republic of Karakalpakstan, Uzbekistan

Abstract

This chapter provides a comprehensive analysis of the theoretical and technological foundations of activated coal production to improve the environmental situation and effectively recycle industrial waste in the region of the Republic of Karakalpakstan. Within the framework of the study, the region's agricultural and food industry waste (cotton stalks, rice husks, fruit seeds, etc.) is substantiated as a promising source of lignocellulose raw materials for activated carbon production. The work scientifically elucidates the physicochemical properties of activated carbon, its porous structure, adsorption mechanisms, and the specifics of activation processes. In particular, the advantages of physical and chemical activation methods, as well as the technological parameters of the pyrolysis and carbonization stages, are examined in detail. A continuous-cycle cycle and a technological scheme for obtaining high-quality granulated activated carbon from local raw materials are also presented.

Keywords

activated carbon, lignocellulose waste, adsorption, pyrolysis, carbonization, environmental efficiency, biomass, mathematical modeling.

QORAQALPOG‘ISTON SHAROITIDA FAOL KO‘MIR OLISH TEXNOLOGIYASINING NAZARIY ASOSLARI

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АКТИВНОГО УГЛЯ В УСЛОВИЯХ КАРАКАЛПАКСТАНА

©Yusupbaev A., *Nukus davlat texnika universiteti, Nukus, Qoraqalpog‘iston, O‘zbekiston, yusupbaevazamat01@gmail.com*

Annotatsiya: *Ushbu bobda Qoraqalpog‘iston Respublikasi mintaqasidagi ekologik vaziyatni yaxshilash va sanoat chiqindilarini samarali qayta ishlash maqsadida faol ko‘mir olishning nazariy va texnologik asoslari atroflicha tahlil qilingan. Tadqiqot doirasida mintaqadagi qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati*

chiqindilari (paxta poyasi, guruch qobig‘i, meva danaklari va boshqalar) faol ko‘mir ishlab chiqarish uchun istiqbolli lignotsellyulozali xom ashyo manbai sifatida asoslab berilgan. Ishda faol ko‘mirning fizik-kimyoviy xossalari, uning g‘ovak tuzilishi, adsorbsion mexanizmlari hamda aktivatsiya jarayonlarining o‘ziga xosliklari ilmiy jihatdan yoritilgan. Xususan, fizik va kimyoviy aktivatsiya usullarining afzalliklari, piroliz hamda karbonizatsiya bosqichlarining texnologik parametrlari batafsil ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, mahalliy xom ashyodan yuqori sifatli granulalangan faol ko‘mir olishning uzluksiz-davriy sikli va texnologik sxemasi keltirilgan.

Kalit so‘zlar: *faollashtirilgan ko‘mir, lignotsellyulozali chiqindilar, adsorbsiya, piroliz, karbonizatsiya, ekologik samaradorlik, biomassa, matematik modellashtirish.*

Аннотация: *В данной главе подробно проанализированы теоретические и технологические основы получения активированного угля с целью улучшения экологической ситуации в регионе Республики Каракалпакстан и эффективной переработки промышленных отходов. В рамках исследования обосновано, что отходы сельского хозяйства и пищевой промышленности региона (стебли хлопчатника, шелуха риса, косточки плодов и др.) являются перспективным источником лигноцеллюлозного сырья для производства активированного угля.*

В работе научно освещены физико-химические свойства активированного угля, его пористая структура, механизмы адсорбции и особенности процессов активации. В частности, подробно рассмотрены преимущества физических и химических методов активации, технологические параметры стадий пиролиза и карбонизации. Также приведены непрерывно-периодический цикл и технологическая схема получения высококачественного гранулированного активированного угля из местного сырья.

Ключевые слова: *активированный уголь, лигноцеллюлозные отходы, адсорбция, пиролиз, карбонизация, экологическая эффективность, биомасса, математическое моделирование.*

KIRISH

So‘nggi yillarda dunyo miqyosida ekologik muammolarning kuchayishi, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish hamda sanoat va qishloq xo‘jaligi chiqindilarini qayta

ishlash masalalari dolzarb ilmiy-amaliy yo‘nalishlardan biriga aylandi. Ayniqsa, suv va gazlarni tozalash, kimyo, farmatsevtika, oziq-ovqat hamda energetika sanoatida keng qo‘llaniladigan faol ko‘mir ishlab chiqarish uchun arzon, mahalliy va qayta tiklanuvchi xom ashyo manbalarini izlash muhim ahamiyat kasb etmoqda [1, 2].

Faol ko‘mir yuqori g‘ovaklikka, katta solishtirma sirt maydoniga va rivojlangan adsorbsion xususiyatlarga ega bo‘lgan uglerodli material hisoblanadi. U sanoat oqava suvlari, ichimlik suvlari, texnologik gazlar hamda turli xil organik va noorganik birikmalarni tozalash jarayonlarida samarali adsorbent sifatida qo‘llaniladi. Jahon amaliyotida faol ko‘mir ishlab chiqarishda toshko‘mir, yog‘och, kokos po‘chog‘i va boshqa uglerodga boy materiallardan foydalanilsa-da, so‘nggi yillarda biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan foydalanishga alohida e’tibor qaratilmoqda [1, 2].

Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati tarmoqlarining rivojlanishi natijasida katta miqdorda organik chiqindilar hosil bo‘ladi. Meva danaklari, urug‘ po‘choqlari, qishloq xo‘jaligi qoldiqlari va boshqa lignotsellyulozali biomassa chiqindilari ko‘pincha to‘liq qayta ishlanmasdan qolmoqda. Ushbu chiqindilarni faol ko‘mir ishlab chiqarishda xom ashyo sifatida qo‘llash ekologik muammolarni kamaytirish, chiqindilarni utilizatsiya qilish va yuqori qo‘shimcha qiymatga ega mahsulot olish imkonini beradi [5].

Mavjud ilmiy tadqiqotlarda biomassa asosida faol ko‘mir olish texnologiyalari, karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlarining mexanizmlari hamda adsorbsion xossalarga ta’sir etuvchi omillar keng o‘rganilgan. Biroq Qoraqalpog‘iston sharoitida mavjud biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish imkoniyatlari, ularning fizik-kimyoviy xususiyatlari hamda texnologik parametrlarini optimallashtirish masalalari yetarli darajada tadqiq etilmagan [2, 5].

Tadqiqot obyekti sifatida Qoraqalpog‘iston Respublikasida hosil bo‘layotgan biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilari tanlangan. Tadqiqot predmeti esa ushbu xom ashyolardan faol ko‘mir olish jarayonining nazariy asoslari, karbonizatsiya va aktivatsiya bosqichlari hamda hosil bo‘lgan mahsulotning adsorbsion xususiyatlaridan iborat.

Tadqiqotning maqsadi Qoraqalpog‘iston sharoitida biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyasining nazariy asoslarini o‘rganish, mahalliy xom ashyo resurslarining faol ko‘mir ishlab chiqarishdagi imkoniyatlarini baholash va samarali texnologik yechimlarni aniqlashdan iborat. Ushbu maqsadga erishish uchun biomassa tarkibining faol ko‘mir hosil bo‘lishiga ta’siri, karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlarining texnologik xususiyatlari hamda tayyor mahsulotning adsorbsion ko‘rsatkichlari tahlil qilinadi [5].

Tadqiqotning ilmiy yangiligi Qoraqalpog‘iston hududida mavjud biomassa resurslari va oziq-ovqat sanoati chiqindilarining faol ko‘mir olish uchun xom ashyo sifatidagi imkoniyatlarini kompleks baholash hamda mahalliy sharoitga mos texnologik yondashuvlarni asoslashdan iborat. Tadqiqot natijalari ekologik barqarorlikni ta’minlash, chiqindilarni samarali qayta ishlash va mahalliy adsorbentlar ishlab chiqarishni rivojlantirishga xizmat qiladi [5].

ADABIYOTLAR TAHLILI

Faol ko‘mir ishlab chiqarish texnologiyalari va uning adsorbsion xususiyatlarini o‘rganish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar uzoq yillardan buyon olib borilmoqda. Dastlabki ishlarda faol ko‘mir asosan toshko‘mir, yog‘och va torf kabi an’anaviy uglerodli materiallardan olinishi tadqiq qilingan bo‘lsa, keyingi yillarda qayta tiklanuvchi biomassa resurslari va organik chiqindilardan foydalanish masalalariga alohida e’tibor qaratilmoqda. Bu yo‘nalish nafaqat iqtisodiy samaradorlikni oshirish, balki ekologik muammolarni kamaytirish nuqtai nazaridan ham muhim ahamiyatga ega [1, 2].

Faol ko‘mir olishning nazariy asoslari va uning g‘ovak tuzilishining shakllanish mexanizmlari H. Marsh va F. Rodriguez-Reinoso tomonidan batafsil o‘rganilgan. Ularning tadqiqotlarida karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlarining harorat, vaqt va aktivlovchi reagentlarga bog‘liqligi ko‘rsatilib, faol ko‘mirning adsorbsion xossalari aynan g‘ovak tuzilishining rivojlanish darajasi bilan belgilanishi ta’kidlangan. Tadqiqotchilar aktivatsiya natijasida materialning solishtirma sirt maydoni bir necha yuz kvadrat metrdan ming kvadrat metr va undan yuqori qiymatlarga yetishi mumkinligini qayd etganlar [1].

Biomassa asosida faol ko‘mir olish texnologiyalari bo‘yicha Ioannidou va Zabaniotou tomonidan olib borilgan tadqiqotlarda qishloq xo‘jaligi chiqindilarining faol ko‘mir ishlab chiqarish uchun istiqbolli xom ashyo manbai ekanligi asoslangan. Mualliflar meva danaklari, yong‘oq po‘choqlari, guruch qobig‘i va boshqa lignotsellyulozali materiallar yuqori uglerod saqlashi sababli sifatli adsorbentlar olish imkonini berishini ko‘rsatganlar. Shuningdek, ushbu xom ashyolardan foydalanish chiqindilarni utilizatsiya qilish va ekologik yuklamani kamaytirishga xizmat qilishi ta’kidlangan [2].

Qator tadqiqotlarda faol ko‘mirning sifat ko‘rsatkichlariga karbonizatsiya haroratining ta’siri o‘rganilgan. Tadqiqotchilar karbonizatsiya haroratining oshishi bilan uchuvchan moddalar miqdori kamayishi va g‘ovak strukturaning rivojlanishi kuzatilishini aniqlaganlar. Biroq haddan tashqari yuqori haroratlarda uglerod karkasining qisman yemirilishi natijasida mahsulot chiqishi kamayishi mumkinligi qayd etilgan. Shu sababli karbonizatsiya jarayonining optimal parametrlarini tanlash faol ko‘mir ishlab chiqarish texnologiyasining muhim bosqichlaridan biri hisoblanadi [1, 3].

Mamishov o‘simlik xomashyosidan faol ko‘mir olishning fizik va kimyoviy usullarini qiyosiy tahlil qilgan. Faol ko‘mir ishlab chiqarishda aktivatsiya usullarini takomillashtirish bo‘yicha ham ko‘plab tadqiqotlar amalga oshirilgan. Fizik aktivatsiya jarayonlarida suv bug‘i va karbonat angidrid keng qo‘llanilib, ular yordamida rivojlangan mikrog‘ovak va mezog‘ovak strukturalar hosil qilinishi aniqlangan. Kimyoviy aktivatsiyada esa fosfat kislota, kaliy gidroksid va rux xlorid kabi reagentlardan foydalanilib, nisbatan past haroratlarda yuqori adsorbsion xususiyatlarga ega faol ko‘mir olish mumkinligi ko‘rsatilgan [4].

So‘nggi yillarda oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish bo‘yicha tadqiqotlar soni ortib bormoqda. Turli mamlakatlarda o‘rik, shaftoli, olcha va boshqa mevalar danaklari, shuningdek, yong‘oq po‘choqlari asosida tayyorlangan faol ko‘mirlarning adsorbsion xossalari o‘rganilgan. Tadqiqot natijalari ushbu materiallardan olingan faol ko‘mirlarning suv va gazlarni tozalash jarayonlarida samarali adsorbent sifatida qo‘llanishi mumkinligini ko‘rsatgan [2, 4].

O‘zbekiston va Qoraqalpog‘iston sharoitida ham mahalliy biomassa resurslaridan samarali foydalanish masalalariga bag‘ishlangan ilmiy ishlar mavjud. Mazkur tadqiqotlarda qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati chiqindilarining tarkibi, ulardan uglerodli materiallar olish imkoniyatlari hamda chiqindilarni qayta ishlashning ekologik jihatlari tahlil qilingan. Biroq faol ko‘mir olish texnologiyasining nazariy asoslarini mahalliy xom ashyo bazasi bilan bog‘liq holda kompleks o‘rganish masalalari hali yetarli darajada yoritilmagan [5].

Tahlil qilingan adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyalari bo‘yicha muhim ilmiy natijalarga erishilgan bo‘lsa-da, Qoraqalpog‘iston Respublikasida mavjud mahalliy xom ashyo resurslaridan foydalanish imkoniyatlari, karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlarining optimal parametrlarini aniqlash hamda olingan faol ko‘mirning adsorbsion xususiyatlarini baholash bo‘yicha tadqiqotlar yetarli emas. Shu sababli mazkur yo‘nalishda olib borilayotgan tadqiqotlar ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi hamda mahalliy adsorbentlar ishlab chiqarishni rivojlantirish uchun muhim ahamiyat kasb etadi [5].

TADQIQOT METODOLOGIYASI

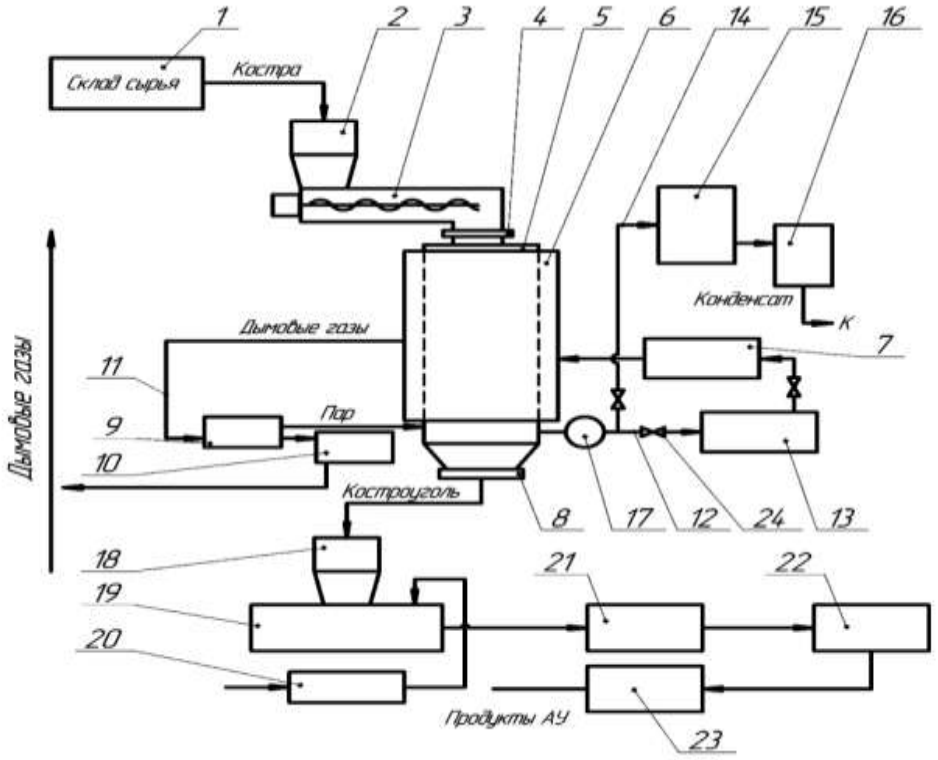
Mazkur tadqiqotda oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olishning texnologik jarayonlari va ularning samaradorligiga ta’sir etuvchi asosiy omillar o‘rganildi. Tadqiqotning metodologik asosini biomassa chiqindilarini karbonizatsiyalash, bug‘ yordamida aktivatsiyalash hamda granullangan faol ko‘mir olish texnologiyasini tahlil qilish tashkil etdi [3-5].

Tadqiqot obyekti sifatida oziq-ovqat sanoati chiqindilari, jumladan meva danaklari uvoqlari, yong‘oq po‘stlog‘i, sholi qobig‘i va boshqa lignotsellyulozali biomassa materiallari tanlandi. Ushbu xom ashyolar yuqori uglerod saqlashi va rivojlangan g‘ovak tuzilishga ega adsorbentlar olish imkoniyatini berishi sababli tadqiqot uchun tanlab olindi [2, 5].

Faol ko‘mir olish texnologiyasi bug‘li fizik aktivatsiyaga asoslangan bo‘lib, texnologik jarayon xom ashyoni tayyorlash, karbonizatsiya, aktivatsiya, granulyatsiya va quritish bosqichlarini o‘z ichiga oladi. Tadqiqotda foydalanilgan texnologik sxema

Puchkov va hammualliflar tomonidan tavsiya etilgan texnologiya asosida moslashtirildi [3]. Tadqiqotda foydalanilgan texnologik sxema 1-rasmda keltirilgan.

1-rasm. Oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olishning bug‘li fizik aktivatsiyaga asoslangan texnologik sxemasi.



Karbonizatsiya jarayoni germetik reaktorda vakuum muhitida amalga oshirildi. Reaktor ichidagi havo vakuum nasosi yordamida chiqarilib, kislorodsiz muhit hosil qilindi. Shundan so‘ng xom ashyo 700–900 °C harorat oralig‘ida qizdirilib, 1–1,5 soat davomida termik parchalanishga uchratildi. Jarayon natijasida uchuvchan komponentlar ajralib chiqib, uglerodga boy karbonizat hosil bo‘ldi [1, 3, 5].

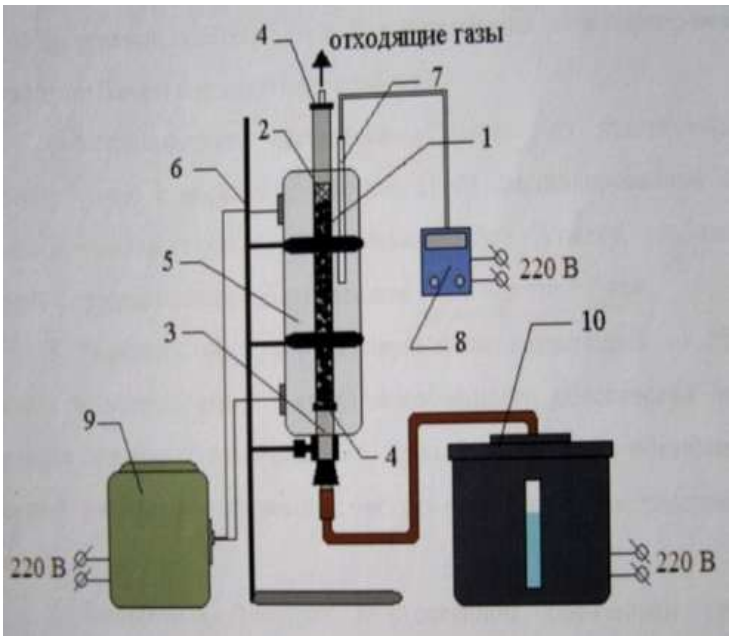
Karbonizatsiya vaqtida hosil bo‘lgan piroliz gazlari alohida yig‘ilib, issiqlik generatoriga qayta uzatildi. Ushbu yondashuv texnologik tizimning energiya samaradorligini oshirish va qo‘shimcha yoqilg‘i sarfini kamaytirish imkonini beradi [3, 5].

Karbonizatsiyadan so‘ng karbonizat bug‘ yordamida aktivatsiyalandi. Aktivatsiya jarayonida yuqori haroratdagi suv bug‘i uglerod yuzasidagi amorf qatlamlarni qisman gazlashtirib, rivojlangan mikrog‘ovak va mezog‘ovak tizimini shakllantirdi. Natijada adsorbsion xususiyatlari yuqori bo‘lgan faol ko‘mir hosil qilindi. Aktivatsiyalangan

mahsulotning solishtirma sirt maydoni 800–1100 m²/g gacha yetishi mumkinligi aniqlandi [1, 4].

Aktivatsiya jarayonlarini o‘rganishda laboratoriya tajriba qurilmasidan foydalanildi. Faol ko‘mir olishning umumiy texnologik ketma-ketligi Mamishov tomonidan tavsiya etilgan usullar asosida ishlab chiqildi [4]. Qurilma po‘lat reaktor, elektr pech, bug‘ generatori, termopara va haroratni nazorat qiluvchi o‘lchov asboblaridan tashkil topgan bo‘lib, uning sxemasi 2-rasmda keltirilgan.

2-rasm. Suv bug‘i yordamida aktivatsiya jarayonini o‘rganish uchun laboratoriya qurilmasi sxemasi.



Tajribalarda karbonizat namunalarini turli haroratlarda aktivatsiyalash, qizdirish tezligi va suv bug‘ining sarfini o‘zgartirish orqali texnologik parametrlarning faol ko‘mir sifatiga ta’siri baholandi. Karbonizatlarni qizdirish tezligi 5–20 °C/min oralig‘ida o‘zgartirilib, bug‘ sarfi va aktivatsiya sharoitlarining adsorbsion xossalarga ta’siri o‘rganildi [4, 5].

Olingan natijalarni baholashda faol ko‘mirning adsorbsion faolligi, g‘ovak tuzilishi, mahsulot chiqishi va texnologik samaradorligi asosiy mezon sifatida qabul qilindi. Tadqiqot davomida olingan ma’lumotlar qiyosiy tahlil qilinib, faol ko‘mir olish uchun maqbul texnologik sharoitlarni aniqlashga xizmat qildi 5].

TAHLIL VA NATIJALAR

Tadqiqot davomida oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyasining asosiy bosqichlari hamda ularga ta’sir etuvchi texnologik parametrlar tahlil qilindi. Olingan natijalar karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlari faol ko‘mirning g‘ovak tuzilishi, adsorbsion faolligi hamda mahsulot chiqishiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatishini ko‘rsatdi [1, 5].

Biomassa asosidagi xom ashyolar tarkibida sellyuloza, gemitsellyuloza va ligninning mavjudligi karbonizatsiya jarayonining samaradorligini belgilovchi asosiy omillardan biri hisoblanadi. Karbonizatsiya bosqichida xom ashyo tarkibidagi uchuvchan komponentlarning ajralib chiqishi natijasida uglerodga boy karbonizat hosil bo‘ladi. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, karbonizatsiya haroratining 700–900 °C oralig‘ida olib borilishi karbonizatning g‘ovak tuzilishini shakllantirish uchun qulay sharoit yaratadi. Ushbu harorat oralig‘ida lignotsellyulozali materiallarning termik parchalanishi to‘liqroq kechib, keyingi aktivatsiya bosqichi uchun mos uglerodli matritsa hosil bo‘ladi [1, 3, 5].

Karbonizatsiya jarayonida hosil bo‘lgan piroliz gazlarining qayta ishlatilishi texnologiyaning muhim afzalliklaridan biri hisoblanadi. Piroliz natijasida hosil bo‘ladigan yonuvchan gazlar issiqlik generatoriga yo‘naltirilishi natijasida tizimning energiya sarfi kamayadi va qurilmaning avtotermik ishlash imkoniyati vujudga keladi. Bu esa faol ko‘mir ishlab chiqarish tannarxini pasaytirish bilan birga texnologiyaning iqtisodiy samaradorligini oshiradi [3, 5].

Faol ko‘mir sifatini belgilovchi eng muhim bosqichlardan biri aktivatsiya jarayoni hisoblanadi. Suv bug‘i yordamida olib borilgan fizik aktivatsiya davomida uglerod yuzasidagi amorf qatlamlarning qisman gazlanishi natijasida rivojlangan mikrog‘ovak va mezog‘ovak tizimi shakllanadi. Tadqiqot natijalari bug‘li aktivatsiya usuli yordamida solishtirma sirt maydoni 800–1100 m^2/g gacha bo‘lgan faol ko‘mir olish mumkinligini ko‘rsatdi. Bunday ko‘rsatkichlar faol ko‘mirning adsorbsion xossalari yuqori ekanligini tasdiqlaydi [1, 4, 5].

Aktivatsiya jarayonining samaradorligi qizdirish tezligi va suv bug‘ining sarfiga ham bog‘liq. Tajribalar davomida karbonizat namunalarining 5–20 °C/min tezlikda qizdirilishi hamda bug‘ sarfining o‘zgartirilishi faol ko‘mirning sifat ko‘rsatkichlariga

turlicha ta’sir ko‘rsatishi aniqlandi. Qizdirish tezligining ortishi aktivatsiya vaqtini qisqartirgan bo‘lsa-da, ayrim hollarda g‘ovaklarning notekis shakllanishiga sabab bo‘lishi mumkin. Shu bois optimal qizdirish rejimini tanlash faol ko‘mirning adsorbsion sig‘imini oshirishda muhim omil hisoblanadi [4, 5].

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, faol ko‘mirning adsorbsion xususiyatlari uning g‘ovak tuzilishi bilan bevosita bog‘liq. Aktivatsiya darajasi ortishi bilan mikrog‘ovaklar soni va umumiy sirt maydoni ortadi, natijada adsorbentning turli ifloslantiruvchi moddalarni yutish qobiliyati yaxshilanadi. Biroq aktivatsiyaning haddan tashqari kuchayishi uglerod skeletining yemirilishiga va mahsulot chiqishining kamayishiga olib kelishi mumkin. Shuning uchun aktivatsiya jarayonining texnologik parametrlarini optimallashtirish zarur hisoblanadi.

Mahalliy biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan foydalanishning yana bir muhim jihati ularning iqtisodiy va ekologik samaradorligidir. Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati rivojlanganligi sababli katta miqdorda organik chiqindilar hosil bo‘ladi. Ushbu chiqindilarni faol ko‘mir ishlab chiqarishda qo‘llash chiqindilar hajmini kamaytirish, atrof-muhitga salbiy ta’sirni pasaytirish hamda import qilinadigan adsorbentlar o‘rnini bosuvchi mahalliy mahsulotlar ishlab chiqarish imkonini yaratadi [5].

O‘rganilgan ilmiy manbalar va texnologik ma’lumotlar asosida faol ko‘mir olish jarayonining asosiy texnologik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda umumlashtirildi.

1-jadval. *Faol ko‘mir olish jarayonining asosiy texnologik parametrlari*

Ko‘rsatkich	Qiymati
Karbonizatsiya harorati	700–900 °C
Karbonizatsiya davomiyligi	1–1,5 soat
Aktivatsiyalovchi muhit	Suv bug‘i
Qizdirish tezligi	5–20 °C/min
Solishtirma sirt maydoni	800–1100 m²/g
Tayyor mahsulot shakli	Granullangan faol ko‘mir

Manba: muallif ishlanmasi

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatadiki, oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan bug‘li fizik aktivatsiya usuli yordamida yuqori adsorbsion xususiyatlarga ega faol ko‘mir olish mumkin. Texnologiyaning energiya jihatidan samaradorligi, mahalliy xom ashyo resurslaridan foydalanish imkoniyati va ekologik afzalliklari uni amaliyotga joriy etish istiqbollarini kengaytiradi.

Faol ko‘mir ishlab chiqarishda fizik va kimyoviy aktivatsiya usullari keng qo‘llaniladi. Har ikkala usulning o‘ziga xos afzallik va kamchiliklari mavjud. Fizik aktivatsiyada asosan suv bug‘i yoki karbonat angidrid qo‘llanilsa, kimyoviy aktivatsiyada fosfor kislotasi, kaliy gidroksid va boshqa reagentlardan foydalaniladi. Ushbu usullarning asosiy texnologik ko‘rsatkichlari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval. *Faol ko‘mir olishda fizik va kimyoviy aktivatsiya usullarining taqqoslanishi*

Ko‘rsatkich	**Fizik aktivatsiya**	**Kimyoviy aktivatsiya**
Aktivlovchi modda	Suv bug‘i, CO_2	H_3PO_4, KOH, NaOH
Harorat	800–1000 °C	400–700 °C
Ekologik xavfsizlik	Yuqori	O‘rta
Energiya sarfi	Yuqori	Nisbatan past
Reagentlarni yuvish	Talab qilinmaydi	Talab qilinadi
G‘ovak hosil qilish samarasi	Yuqori	Juda yuqori
Sanoatda qo‘llanishi	Keng	Cheklangan

Manba: muallif ishlanmasi

Jadval ma’lumotlaridan ko‘rinib turibdiki, kimyoviy aktivatsiya nisbatan past haroratlarda amalga oshirilishi bilan ajralib turadi. Biroq reagentlarni utilizatsiya qilish zarurati mavjudligi sababli ekologik va texnologik jihatdan murakkabroq hisoblanadi. Fizik aktivatsiya esa yuqori harorat talab qilsa-da, ekologik xavfsizligi va texnologik soddaligi tufayli mahalliy biomassa xom ashyolarini qayta ishlashda istiqbolli usul sifatida baholanadi.

MUHOKAMA

Tadqiqot natijalari biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyasi yuqori adsorbsion xususiyatlarga ega mahsulot ishlab chiqarish

imkonini berishini ko‘rsatdi. O‘rganilgan adabiyotlar hamda texnologik ma’lumotlar tahlili shuni tasdiqlaydiki, faol ko‘mirning sifati asosan karbonizatsiya va aktivatsiya jarayonlarining parametrlariga bog‘liq bo‘ladi. Ayniqsa, aktivatsiya harorati, davomiyligi va aktivlovchi muhitning tabiati g‘ovak tuzilishining shakllanishida hal qiluvchi ahamiyatga ega [1,4].

Bug‘li fizik aktivatsiya jarayonida uglerod yuzasida rivojlangan mikrog‘ovak va mezog‘ovak tizimi hosil bo‘lishi natijasida adsorbentning solishtirma sirt maydoni sezilarli darajada ortadi. Tadqiqot natijalarida qayd etilgan 800–1100 m^2/g sirt maydoni ko‘rsatkichlari xalqaro adabiyotlarda keltirilgan faol ko‘mirlar xossalariga mos keladi. Bu esa oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan yuqori sifatli adsorbentlar olish mumkinligini tasdiqlaydi [1].

Fizik va kimyoviy aktivatsiya usullarining qiyosiy tahlili fizik aktivatsiya usulining ekologik afzalliklarga ega ekanligini ko‘rsatdi. Kimyoviy aktivatsiya ayrim hollarda yuqori g‘ovaklik hosil qilsa-da, reagentlarni neytrallash va utilizatsiya qilish zarurati qo‘shimcha xarajatlarni keltirib chiqaradi. Shu sababli ekologik xavfsizlik va texnologik soddalik nuqtai nazaridan bug‘li fizik aktivatsiya usuli mahalliy sharoitlar uchun maqbul hisoblanadi.

Qoraqalpog‘iston Respublikasida qishloq xo‘jaligi va oziq-ovqat sanoati rivojlanganligi sababli katta miqdorda biomassa chiqindilari hosil bo‘ladi. Mazkur chiqindilarni faol ko‘mir ishlab chiqarishda qo‘llash nafaqat chiqindilar hajmini kamaytiradi, balki iqtisodiy qiymatga ega bo‘lgan mahsulot olish imkonini ham yaratadi. Bundan tashqari, mahalliy xom ashyodan foydalanish import qilinadigan adsorbentlarga bo‘lgan ehtiyojni qisqartirishi mumkin.

Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, oziq-ovqat sanoati chiqindilarini chuqur qayta ishlash asosida faol ko‘mir ishlab chiqarish texnologiyasini amaliyotga joriy etish ekologik va iqtisodiy samaradorlikni oshirishga xizmat qiladi. Kelgusida faol ko‘mirning adsorbsion xususiyatlarini eksperimental sharoitlarda yanada chuqurroq o‘rganish, turli xom ashyo turlarini qiyosiy baholash hamda texnologik parametrlarni optimallashtirish muhim ilmiy yo‘nalishlardan biri bo‘lib qoladi.

XULOSA VA TAKLIFLAR

O‘tkazilgan tadqiqotlar va ilmiy adabiyotlar tahlili asosida Qoraqalpog‘iston sharoitida biomassa hamda oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyasining nazariy asoslari o‘rganildi. Tadqiqot natijalari asosida quyidagi xulosalarga kelindi:

Oziq-ovqat sanoati chiqindilari, jumladan meva danaklari, yong‘oq po‘choqlari, sholi qobig‘i va boshqa lignotsellyulozali biomassa materiallari faol ko‘mir ishlab chiqarish uchun istiqbolli xom ashyo manbalari hisoblanadi.

Faol ko‘mir olish jarayonida karbonizatsiya va aktivatsiya bosqichlari mahsulotning fizik-kimyoviy hamda adsorbsion xususiyatlarini belgilovchi asosiy texnologik omillar ekanligi aniqlandi.

Karbonizatsiya jarayonini 700–900 °C harorat oralig‘ida olib borish uglerodga boy karbonizat hosil bo‘lishini ta’minlaydi va keyingi aktivatsiya bosqichi uchun qulay sharoit yaratadi.

Suv bug‘i yordamida amalga oshiriladigan fizik aktivatsiya natijasida rivojlangan mikrog‘ovak va mezog‘ovak tuzilishga ega, solishtirma sirt maydoni 800–1100 m^2/g gacha bo‘lgan faol ko‘mir olish mumkinligi aniqlandi.

Piroliz jarayonida hosil bo‘ladigan gazlarni qayta foydalanish texnologiyaning energiya samaradorligini oshiradi hamda ishlab chiqarish tannarxini kamaytirishga xizmat qiladi.

Mahalliy biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan foydalanish ekologik muammolarni kamaytirish, chiqindilarni samarali utilizatsiya qilish hamda import o‘rnini bosuvchi adsorbentlar ishlab chiqarish imkonini yaratadi.

Tadqiqot natijalari asosida quyidagi takliflar ishlab chiqildi:

Qoraqalpog‘iston Respublikasida hosil bo‘layotgan biomassa va oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir ishlab chiqarish bo‘yicha tajriba-sanoat qurilmalarini yaratish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Mahalliy xom ashyo asosida olingan faol ko‘mirlarning adsorbsion xususiyatlarini zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullari yordamida chuqur o‘rganish tavsiya etiladi.

Faol ko‘mir ishlab chiqarish texnologiyasida energiya tejamkor va ekologik xavfsiz bug‘li fizik aktivatsiya usullaridan keng foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Olingan adsorbentlarni ichimlik suvi tayyorlash, oqova suvlarni tozalash, gazlarni adsorbsiyalash va boshqa sanoat jarayonlarida qo‘llash bo‘yicha amaliy tadqiqotlarni kengaytirish zarur.

Biomassa chiqindilarini qayta ishlash asosida mahalliy adsorbentlar ishlab chiqarishni rivojlantirish hududning ekologik barqarorligi va iqtisodiy samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Shunday qilib, Qoraqalpog‘iston sharoitida oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish texnologiyasini rivojlantirish ekologik, iqtisodiy va texnologik jihatdan istiqbolli yo‘nalishlardan biri bo‘lib, mahalliy resurslardan samarali foydalanish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. **Marsh H., Rodriguez-Reinoso F.** Activated Carbon. – Amsterdam: Elsevier Science, 2006. – 536 p.

2. **Ioannidou O., Zabaniotou A.** Agricultural residues as precursors for activated carbon production – A review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2007. – Vol. 11, No. 9. – P. 1966–2005.

3. **Puchkov E.M., Galkin A.V., Ushchapovskiy I.V.** Технология производства сорбентов из костры масличного льна // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20, № 5. – С. 517–525. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.5.517-525.

4. **Mamishov A.A.** O‘simlik xomashyosidan faollashtirilgan ko‘mir olish usullari // Бюллетень науки и практики (Bulletin of Science and Practice). – 2020. – № 61. DOI: 10.33619/2414-2948/61/28.

5. **Yusupbaev A.** Oziq-ovqat sanoati chiqindilaridan faol ko‘mir olish jarayonini sun’iy intellekt asosida boshqarish va optimallashtirish texnologiyasi (Qoraqalpog‘iston sharoitida): bitiruv malakaviy ishi. – Nukus, 2026.