



Piroliz jarayonida olinadigan yoqilg'ilarga ta'sir qiluvchi omillar tahlili

G'ulom N. Uzoqov¹, Dilshod T. Raxmatov²

¹) t.f.d, prof., Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston; uzoqov66@mail.ru <https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

²) assistant, Toshkent davlat texnika universiteti, Toshkent, 100095, O'zbekiston; raxmatovdilshod0405@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-2214-9699>

Dolzarbli: hozirgi davrda atrof-muhitga sanoat va maishiy chiqindilar oqimi orqali yetkazilayotgan ekologik zararlari miqyosi tobora ortib bormoqda. Shu bilan birga, yer yuzidagi an'anaviy tabiiy yoqilg'i resurslarining zaxiralari yildan-yilga kamayib, energiya xavfsizligini ta'minlash masalasi dolzarb muammolardan biriga aylanmoqda. Mazkur muammolarga samarali yechim topish maqsadida olimlar tomonidan muqobil va ekologik jihatdan maqbul texnologiyalar ishlab chiqilmoqda. Ana shunday istiqbolli yechimlardan biri sifatida piroliz texnologiyasini ko'rsatish mumkin. Piroliz texnologiyasini samarali hamda har bir chiqindi turi uchun optimal bo'lgan modellarini ishlab chiqish va ularni amaliyotga joriy etish natijasida zararli chiqindilar oqimini foydali mahsulotlarga aylantirish, shuningdek energiya qiymati jihatidan tabiiy yoqilg'ilar bilan raqobatlasha oladigan piroyoqilg'ilar ishlab chiqarish orqali ekologik barqarorlik va energiya xavfsizligini ta'minlash imkoniyati yaratiladi.

Maqsad: piroliz jarayonida biomassa xom-ashyosiga turli harorat rejimlarining ta'siri natijasida hosil bo'ladigan mahsulotlar ulushi hamda ularning amaliy qo'llanish sohalari batafsil tahlil qilindi.

Usullar: piroliz jarayoni orqali olinadigan piro yoqilg'ilarni samarali olishda foydalanilgan usullarni tahlil qilindi va o'rganildi.

Natijalar: dunyo va respublikamiz olimlari tomonidan piroliz jarayonlari bo'yicha olib borilgan tajriba tadqiqotlari tahlil qilinib, ularda qo'llanilgan usullar hamda olingan natijalarga asoslangan nazariy bilimlar bayon etildi.

Kalit so'zlar: piroyoqilg'i, pirogaz, piroko'mir, piroyog', piroliz reaktori, biomassa, piroliz, bio-yog', biogaz, bio-ko'mir.

Анализ факторов, влияющих на виды топлива, получаемые в процессе пиролиза

Гулом Н. Узаков¹, Дилшод Т. Рахматов²

¹) д.т.н., проф, Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан; uzoqov66@mail.ru <https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

²) ассистент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, 100095, Узбекистан; raxmatovdilshod0405@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-2214-9699>

Актуальность: в настоящее время масштабы экологического ущерба, наносимого окружающей среде потоками промышленных и бытовых отходов, неуклонно возрастают. В то же время запасы традиционных природных топливных ресурсов на Земле из года в год сокращаются, вследствие чего обеспечение энергетической безопасности становится одной из актуальных проблем современности. В целях поиска эффективных решений данных проблем учёными разрабатываются альтернативные и экологически приемлемые технологии. Одним из таких перспективных решений является технология пиролиза. Разработка эффективных и оптимальных для каждого вида отходов моделей пиролизной технологии и их внедрение в практику позволяют преобразовывать потоки вредных отходов в полезные продукты, а также обеспечивать производство пиротоплив, способных конкурировать с природными видами топлива по энергетической ценности, что создаёт возможности для обеспечения экологической устойчивости и энергетической безопасности.

Цель: в ходе пиролизного процесса было детально проанализировано соотношение выходов продуктов, образующихся при воздействии различных температурных режимов на биомассу, а также области их практического применения.

Методы: проанализированы и изучены методы, использованные для эффективного получения пиролизного топлива в процессе пиролиза.

Результаты: были проанализированы экспериментальные исследования по процессам пиролиза, проведённые учёными мира и республики, а также изложены применённые в них методы и теоретические знания, основанные на полученных результатах.

Ключевые слова: пиротопливо, пирогаз, пироуголь, пиромасло, пиролизный реактор, биомасса, пиролиз, био-масло, био-газ, био-уголь.

For citation: G'N. Uzoqov, DT. Raxmatov Analysis of factors influencing the fuels obtained during the pyrolysis process. Scientific and technical journal of Problems of Energy and Sources Saving, 2026, no. 3, pp. 87-94.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.23207134>

Received: 22.01.2026
Revised: 17.02.2026
Accepted: 24.03.2026
Published: 25.09.2026

Copyright: © G'ulom N. Uzoqov, Dilshod T. Raxmatov, 2026. Submitted to Problems of Energy and Sources Saving for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Analysis of factors influencing the fuels obtained during the pyrolysis process

Gulom N. Uzakov¹, Dilshod T. Rakhmatov²

¹) DSc, Prof, Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan; uzoqov66@mail.ru <https://orcid.org/0009-0005-7386-8075>

²) assistant, Tashkent State Technical University, Tashkent, 100095, Uzbekistan; raxmatovdilshod0405@gmail.com <https://orcid.org/0009-0000-2214-9699>

Relevance: at present, the scale of environmental damage caused by the flow of industrial and household waste into the environment is steadily increasing. At the same time, reserves of conventional natural fuel resources on the Earth are decreasing year by year, making the issue of ensuring energy security one of the most pressing challenges. In order to find effective solutions to these problems, scientists are developing alternative and environmentally acceptable technologies. One of such promising solutions is pyrolysis technology. The development of efficient pyrolysis models optimized for each type of waste and their implementation in practice make it possible to convert harmful waste streams into useful products, as well as to produce pyro-fuels capable of competing with natural fuels in terms of energy value, thereby creating opportunities to ensure environmental sustainability and energy security.

Aim: during the pyrolysis process, the distribution of products formed as a result of the effects of different temperature regimes on biomass feedstock, as well as their fields of practical application, were analyzed in detail.

Methods: the techniques used for the efficient production of pyrolysis fuels through the pyrolysis process were analyzed and studied.

Results: experimental studies on pyrolysis processes conducted by researchers worldwide and within the Republic were analyzed, and the methods employed as well as the theoretical knowledge derived from the obtained results were presented.

Keywords: pyro fuel, pyro gas, pyrochar, pyro oil, pyrolysis reactor, biomass, pyrolysis, bio-oil, biogas, biochar.

1. Kirish (Introduction)

Tarixdan nazar soladigan bo'lsak piroliz texnologiyasi yog'ochni kislorodsiz yoki kislorod miqdori cheklangan muhitda qizdirish orqali ko'mir olish amaliyoti asosida shakllangan. Ushbu texnologiyaning rivojlanishiga metallurgiya sanoatining ehtiyojlari, yoqilg'i tanqisligi hamda kimyo fanining taraqqiyoti muhim turtki bo'lgan. Dastlab amaliy tajriba sifatida qo'llanilgan ushbu jarayon keyinchalik ilmiy asoslangan termo-kimyoviy texnologiya darajasiga ko'tarildi.

Piroliz jarayonida biomassa xom-ashyosiga tashqi issiqlik manbai orqali energiya uzatiladi va termo-kimyoviy parchalanish sodir bo'ladi. Ushbu jarayon yakunida uchta asosiy mahsulot hosil bo'ladi: qattiq yoqilg'i sifatida bioko'mir, suyuq yoqilg'i sifatida bioneft hamda gazsimon yoqilg'i hisoblangan pirogaz. Olingan mahsulotlar energetika, kimyo sanoati va ekologik texnologiyalarda keng qo'llanilishi bilan ahamiyatlidir [1].

Piroliz mahsulotlarining chiqishi, samaradorligi va sifati jarayonning harorat rejimi hamda isitish tezligiga bevosita bog'liq. Xususan, piroko'mirning yuqori sifatli chiqishi past harorat va past isitish tezligi sharoitida ta'minlanadi; suyuq mahsulotlar uchun past harorat, biroq yuqori isitish tezligi muhim; yoqilg'i gazini olish uchun esa yuqori harorat va nisbatan past isitish tezligi bo'lgan sharoitda samaraliroq amalga oshiriladi [2].

Piroliz texnologiyasini rivojlantirish yo'nalishida dunyo miqyosida bir qator olimlar, jumladan Luo, Chintala, Joarder, Ghenai, Zeaiter va boshqalar tomonidan turli yondashuvlar asosida tadqiqotlar olib borilgan. Ushbu olimlar piroliz texnologiyasining turli modellarini taklif etib, ularni har xil turdagi xom-ashyolarga qo'llash orqali ko'plab tajriba va ilmiy izlanishlar amalga oshirganlar [2].

Shuningdek, O'zbekiston olimlari tomonidan ham piroliz texnologiyalarini, xususan kichik quvvatli piroliz qurilmalarini joriy etish va takomillashtirish bo'yicha muhim ilmiy-amaliy ishlar olib borilmoqda. Bu yo'nalishda G'.N. Uzoqov, R.T. Rabbimov, X.A. Davlonov, X.A. Almardanov, S.G. Mamatqulova, D.B. Temirova va boshqa tadqiqotchilar tomonidan ilmiy izlanishlar olib borilib, yosh mutaxassislar va olimlarni tayyorlash orqali ushbu sohaning rivojiga munosib hissa qo'shilmoqda [3,4].

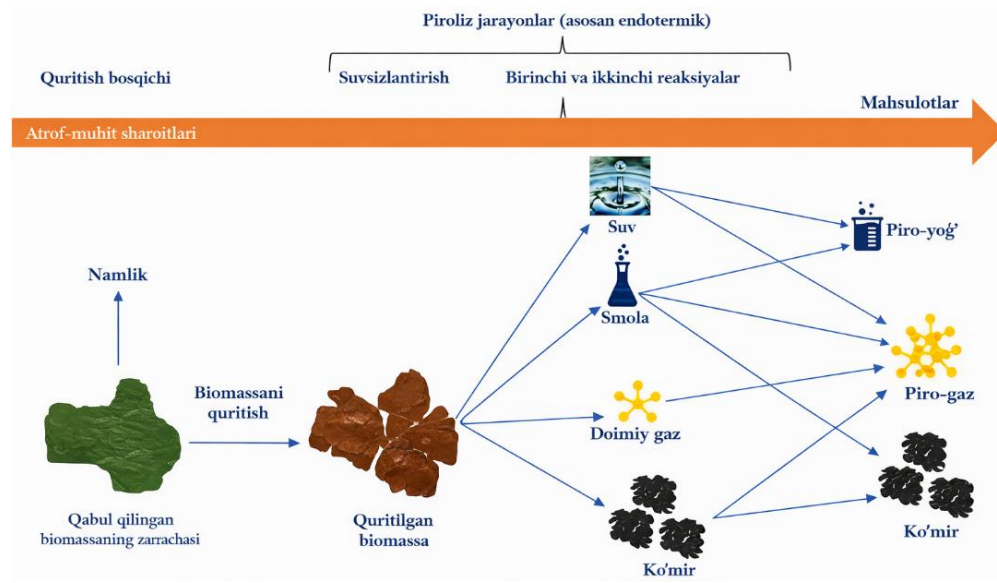
2. Materiallar va usullar (Methods and materials)

Biomassadan foydalanish orqali piroliz jarayonining asosiy bosqichlari va mahsulotlar hosil bo'lish mexanizmi ko'rsatilgan (1-rasm). Dastlab biomassa atrof-muhit sharoitida quritilib, undagi namlik kamaytiriladi. Keyingi bosqichda quritilgan biomassa suvsizlantirish jarayonidan o'tadi va piroliz reaksiyalari boshlanadi. Piroliz jarayonlari asosan endotermik bo'lib, birlamchi va ikkilamchi termo-kimyoviy reaksiyalar sodir bo'ladi. Natijada suv bug'lari, smola va doimiy gazlar ajralib

chiqadi. Ushbu moddalar keyinchalik kondensatsiya va ajratish orqali piroyoqilg'i (piroyog'), pirogaz va qattiq mahsulot — ko'mir hosil qiladi. Jarayon parametrlariga bog'liq holda mahsulotlar ulushi va sifati o'zgaradi.

Piroliz jarayonining asosiy mahsulotlaridan biri biomoy (bioneft) hisoblanadi. Hozirgi kunda dunyo miqyosida piroliz orqali biomoy olish hajmi va sifat ko'rsatkichlarini maksimal darajada oshirish maqsadida keng qamrovli ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Ushbu tadqiqotlarning asosiy yo'nalishi yuqori sifatli biomoy olishni ta'minlaydigan piroliz reaktorlarining turli konstruktiv yechimlarini ishlab chiqishga qaratilgan.

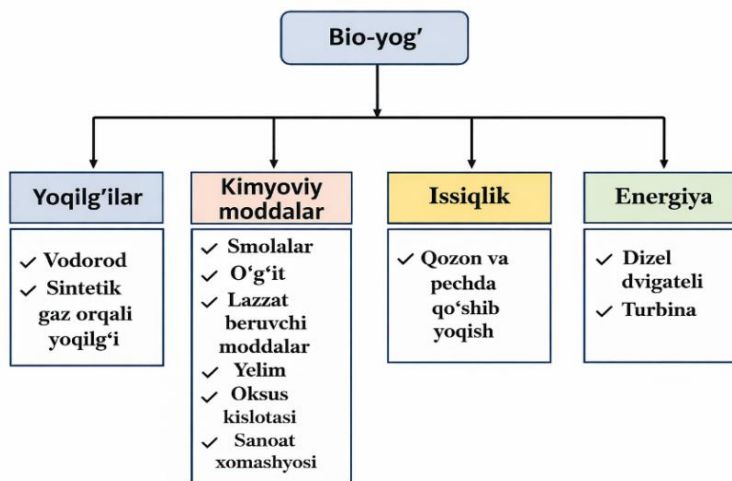
2-rasmda keltirilganidek, biomoy mahsuloti bir nechta amaliy yo'nalishlarda qo'llanilishi mumkin. Xususan, uni qayta ishlash orqali transport yoqilg'isi yoki kimyo sanoati uchun xom-ashyo sifatida foydalanish imkoniyati mavjud. Bundan tashqari, biomoy gaz turbinalari, elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi dvigatellar hamda issiqlik energiyasi olish uchun mo'ljallangan qozonxona qurilmalarida to'laonli yoqilg'i sifatida qo'llanilishi mumkin.



1-rasm. Biomassaning piroliz jarayoni texnologik sxemasi [5]

Fig.1. Technological scheme of the biomass pyrolysis process [5]

Bioko'mir biomassa pirolizi jarayonida, asosan lignin va gemitsellyuloza kabi tabiiy polimerlarning termal parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan qattiq, amorf uglerod asosli material hisoblanadi. Bioko'mirning fizik-kimyoviy xossalari bir qator operatsion va texnologik omillarga bog'liq bo'lib, ularga piroliz reaktorining turi va konstruktiv xususiyatlari, xom-ashyoning kimyoviy tarkibi, zarracha o'lchami va namlik darajasi, isitish tezligi, piroliz jarayonining davomiyligi, tizimdagi ishchi bosim hamda inert muhit (odatda azot yoki argon) gazining oqim tezligi kiradi [6-8].



2-rasm. Bio-yog'ning foydalanish sohalari [9-10]

Fig.2. Areas of bio-oil utilization [9-10]



Bioko'mir energiya sig'imi, tarkibidagi ozuqa elementlari hamda og'ir metallarning miqdoriga qarab turli sohalarda qo'llanilishi mumkin bo'lgan ko'p funksiyali mahsulot hisoblanadi. Bioko'mirning fizik-kimyoviy xossalari uning keng qamrovli amaliy qo'llanilishiga imkon yaratadi.

Energetika sohasida bioko'mir yuqori uglerod miqdoriga va katta energiya sig'imiga ega bo'lgan qattiq yoqilg'i sifatida to'g'ridan-to'g'ri yoqish orqali ishlatilishi mumkin. Bu jihatdan u an'anaviy qattiq yoqilg'ilarga ekologik jihatdan maqbul muqobil sifatida xizmat qiladi.

Qishloq xo'jaligida bioko'mir tuproqning fizik tuzilmasini yaxshilash, uning suv va ozuqa moddalarini ushlab turish qobiliyatini oshirish hamda unumdorligini ko'tarishda muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, bioko'mir og'ir metallarni adsorbsiyalash xususiyati tufayli degradatsiyalangan yoki ifloslangan tuproqlarda remediatsiya vositasi sifatida samarali qo'llaniladi.

Sanoat va kimyo texnologiyalarida bioko'mirning yuqori adsorbsion sirt maydoni uni katalitik tizimlar, filtrlash materiallari va boshqa yuqori qo'shimcha qiymatga ega mahsulotlar tarkibida qo'llash imkonini beradi.

Bundan tashqari, bioko'mir yoqilishi natijasida hosil bo'ladigan kulning kimyoviy tarkibi va fizik xossalari uni qurilish materiallari, xususan sement, beton va yo'l qoplamalari ishlab chiqarishda komponent sifatida qo'llash imkonini beradi. Ushbu yondashuv sanoat chiqindilaridan ikkilamchi xom-ashyo sifatida iqtisodiy va ekologik jihatdan samarali foydalanishga xizmat qiladi [11].

Biomassani piroliz qilish jarayonida hosil bo'ladigan gazsimon mahsulotlar ma'lum sharoitlarda kondensatsiyalanib, murakkab organik birikmalar majmuasidan iborat bo'lgan quyuc suyuq mahsulot — bioyog'ni hosil qiladi. Olingan bioyog' energiya va kimyo sanoatida ikki asosiy yo'nalishda qo'llanilishi mumkin.

Birinchi, bioyog' to'g'ridan-to'g'ri yoqilg'i sifatida ishlatilib, suyuq yoqilg'i asosida ishlovchi issiqlik va elektr energiyasi ishlab chiqarish tizimlarida, ayniqsa past haroratli yonish sharoitlarida samarali qo'llanilishi mumkin.

Ikkinchi, bioyog' keyingi termo-kimyoviy va katalitik ishlov berish jarayonlaridan o'tkazilib, asosan uglerod oksidi (CO) va vodorod (H₂) aralashmasidan iborat bo'lgan sintez gazini olish uchun xom-ashyo sifatida foydalaniladi. Olingan sintez gazi esa Fischer-Tropsch sintezi kabi organik kimyo jarayonlarida suyuq yoqilg'ilar va turli kimyoviy mahsulotlarni ishlab chiqarishda keng qo'llaniladi. Shuningdek, u vodorod manbai sifatida yoqilg'i elementlari texnologiyalarida ham muhim ahamiyatga ega [12].

Sintez gazi (pirogaz) biomassa pirolizi jarayonida asosan yuqori harorat sharoitlarida hosil bo'ladi. Odatda, sintez gazining faol ajralishi 600–900 °C harorat oralig'ida kuzatiladi, ayrim intensiv piroliz yoki gazifikatsiya rejimlarida esa bu ko'rsatkich 1000 °C gacha yetishi mumkin. Yuqori harorat ta'sirida biomassa tarkibidagi organik birikmalar chuqur termik parchalanib, vodorod (H₂), uglerod oksidi (CO), metan (CH₄) va karbonat angidrid (CO₂) kabi gazsimon komponentlar hosil bo'ladi. Hosil bo'lgan sintez gazi bir qator sohalarda keng qo'llaniladi. Energetika sohasida u ichki yonuv dvigatellari, gaz turbinalari va bug'-gaz kombinatsiyalangan qurilmalarida yoqilg'i sifatida ishlatilib, elektr va issiqlik energiyasi ishlab chiqarishda foydalaniladi.

Shu tariqa, sintez gazining yuqori haroratli piroliz sharoitlarida olinishi va uning ko'p tarmoqli qo'llanilishi biomassa pirolizi texnologiyasining energetik va sanoat salohiyatini yanada oshiradi hamda an'anaviy yoqilg'ilarga bo'lgan qaramlikni kamaytirishga xizmat qiladi.

Shunday qilib, biomassaning pirolizi natijasida olinadigan bioko'mir, bioyog' va sintez gazi keng qamrovli amaliy qo'llanish imkoniyatlariga ega bo'lib, ular energetika, qishloq xo'jaligi, sanoat tarmoqlari hamda ekologik muammolarni bartaraf etishda muhim ahamiyat kasb etadi.

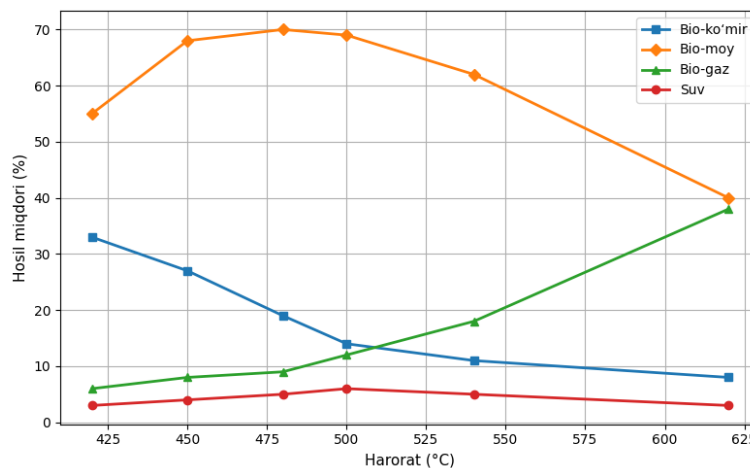
3. Natijalar (Results)

O'tkazilgan eksperimental tadqiqotlar natijalariga ko'ra, bioko'mir hosildorligi past haroratli piroliz sharoitida, xususan 450–500 °C harorat oralig'ida nisbatan yuqori qiymatlarga ega ekanligi aniqlandi. Ushbu harorat diapazonida uchuvchi komponentlarning ajralib chiqishi (devolatilizatsiya) sekin kechishi natijasida qattiq qoldiq — bioko'mir miqdorining ortishi kuzatiladi. Biroq piroliz haroratining oshishi bilan, ayniqsa 550–650 °C oralig'ida, devolatilizatsiya jarayonining jadallashuvi karbon asosli qattiq mahsulotlar ulushining sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Yuqori haroratli sharoitlarda bioko'mir hosildorligi past bo'lib, maksimal iqtisodiy rentabellik sarflangan mablag'ga nisbatan atigi 8–10 % ni tashkil etishi qayd etilgan. Olingan natijalar piroliz jarayonini maqsadga muvofiq tanlangan texnologik parametrlar asosida boshqarish zarurligini ko'rsatadi, chunki harorat rejimining o'zgarishi bioko'mirning miqdoriy chiqishi va sifat ko'rsatkichlariga bevosita ta'sir ko'rsatadi. Biomassaga piroliz jarayoni vaqtida berilayotgan issiqlik natijasida o'rtacha ajralib chiqayotgan piroyoqilg'ilarning hajmi va harorat ta'sir qilish qiymatlari 3-rasmda keltirilgan. [13].

Bioko'mirning aromatik uglerod tuzilmasi tarkibida vodorod (H), kislorod (O), azot (N), fosfor (P) va oltingugurt (S) kabi elementlar mavjud bo'lib, ular uning fizik-kimyoviy xossalari sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Ushbu komponentlar bioko'mirning issiqlik qiymati, reaktivligi, gidrofoblik darajasi,

elektr o'tkazuvchanligi hamda kislota-ishqoriy muhitga nisbatan barqarorligini belgilovchi asosiy omillar hisoblanadi. Mazkur elementlarning bioko'mir tarkibidagi nisbiy ulushi, asosan, foydalanilgan biomassa manbasining turiga — yog'och, o'simlik qoldiqlari, qishloq xo'jaligi chiqindilari yoki hayvon go'ngiga bog'liq holda farqlanadi. Shu bilan birga, piroliz jarayonining asosiy texnologik parametrlariga, jumladan harorat, bosim, isitish tezligi hamda inert muhitning ta'sir davomiyligiga ham kuchli bog'liqlik kuzatiladi.

Bioko'mirga katalitik yoki oldindan ishlov berish (fizik va kimyoviy faollashtirish) jarayonlari qo'llanilgandan so'ng, u turli yuqori qo'shimcha qiymatga ega mahsulotlar ishlab chiqarishda keng foydalaniladi.



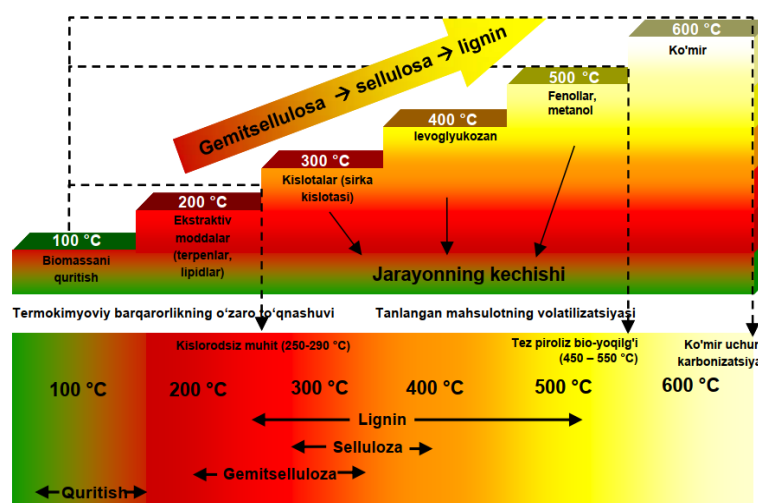
3-rasm. Haroratga bog'liq ravishda piroliz mahsulotlari chiqishining o'zgarishi [14]

Fig.3. Variation in pyrolysis product yields depending on temperature [14]

Xususan, faollashtirilgan uglerod sifatida suv va havoni tozalash, gaz adsorbtsiyasi hamda tibbiy va sanoat filtratsiya tizimlarida qo'llaniladi. Shuningdek, bioko'mir asosida yuqori strukturali uglerod materiallari, jumladan karbon nanotrubkalar va grafen kabi uglerod kristallari olinishi mumkin. Bundan tashqari, bioko'mir gazifikatsiya jarayonlari orqali metan, vodorod va uglerod oksidi aralashmalaridan iborat bo'lgan sintez gazini hosil qilish uchun xom-ashyo sifatida ishlatiladi [15].

4. Munozara (Discussion)

Piroliz usuli orqali olinadigan bioyog' tarkibi keng harorat oralig'ida (taxminan 300–400 °C da bug'lanadigan komponentlardan iborat) murakkab organik birikmalar aralashmasi hisoblanadi. Pirosuyuqlik (kondensatsiyalanadigan suyuq mahsulotlar) chiqishini maksimal darajada oshirish uchun nisbatan past haroratlar (450–550 °C) va yuqori isitish tezligi talab etiladi (4-rasm).



4-rasm. Biomassa tarkibiy qismlarining piroliz jarayonida haroratga bog'liq parchalanish mexanizmi [16-18]

Fig.4. Temperature-dependent decomposition mechanism of biomass components during the pyrolysis process [16-18]



Bunday sharoitlarda piroliz jarayonida ko'proq organik bug'lar hosil bo'lib, ular keyinchalik kondensatsiyalanib suyuq fazaga o'tadi. Adabiyotlarda bioyog' turli nomlar bilan uchraydi, jumladan piroliz moyi, xom bioyog', pirolitik smola, pirolin smola, pirolin suyuqlik, yog'och suyuqligi, yog'och yog'i, tutun kondensati hamda yog'och distillyati. Olingan bioyog' odatda to'q jigarrang, deyarli qora rangli suyuqlik bo'lib, uning tarkibi tanlangan biomassa turiga, piroliz jarayonining sharoitlariga, qo'llanilgan texnologik tizim va uskunalarga, shuningdek ko'mir va kondensatni ajratish samaradorligiga bog'liq holda o'zgaradi [19].

Piroliz jarayonidan so'ng olingan bioyog' vaqt o'tishi bilan yopishqoqlikning ortishi va bir qator fizik-kimyoviy o'zgarishlarga uchrashi bilan tavsiflanadi. Natijada, uning tarkibidagi uchuvchi komponentlar asta-sekin yo'qoladi. Biroq, bioyog'ni salqin sharoitda saqlash orqali ushbu eskirish jarayonini sezilarli darajada sekinlashtirish mumkin. Shuningdek, biomassa xom-ashyosida suvning mavjudligi bioyog'ning isitish qiymatini pasaytiradi hamda fazalarni ajratish jarayonini murakkablashtiradi [20-22].

Bioko'mirning morfologik va tarkibiy xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatuvchi muhim omillardan biri isitish tezligi bo'lib, u xom-ashyoga issiqlik ta'sirining davomiyligini belgilaydi. Xususan, mayda zarrachalardan foydalanish tez piroliz jarayoniga xos bo'lib, yuqori harorat ta'sirida qisqa vaqt davomida amalga oshiriladi va natijada mayin, nisbatan bir jinsli tuzilishga ega bioko'mir hosil bo'ladi. Aksincha, sekin piroliz sharoitida, yirik o'lchamli xom-ashyo qo'llanilganda, hosil bo'ladigan bioko'mirning tuzilishi qo'polroq va kamroq g'ovakli bo'lishi kuzatiladi [23]. Shuningdek, biomassa turi va uning geometrik o'lchamlari yakuniy mahsulot sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Yog'ochli biomassa asosida olinadigan bioko'mir odatda yuqori zichlikka va mustahkam tuzilishga ega bo'lsa, o'simlik qoldiqlari yoki hayvon go'ngi kabi xom-ashyolardan olingan bioko'mir nisbatan mo'rt va past zichlikli bo'lishi aniqlangan. Ilmiy tadqiqotlar natijalariga ko'ra, suyultirilgan qatlamli piroliz reaktorlarida harorat gradientining mavjudligi reaktorning turli zonalarida hosil bo'ladigan bioko'mir chiqishiga va sifatiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Bu holat reaktor ichidagi issiqlik taqsimoti va gaz oqimining barqarorligi bioko'mirning hosildorligi va sifatini belgilovchi muhim omillar ekanini ko'rsatadi [13].

Xulosa (Conclusion)

1. Tahlil qilingan barcha adabiyotlar shuni ko'rsatdiki, piroliz jarayoni orqali olinadigan piroyoqilg'ilar yaqin kelajakda qayta tiklanmaydigan tabiiy yoqilg'i resurslari o'rnini bosishi mumkin hamda barqaror va ekologik jihatdan maqbul energiya manbai sifatida keng qo'llanilish istiqboliga ega.

2. Piroliz texnologiyasi chiqindilarni foydali energiya manbalari va qimmatli resurslarga aylantirish imkonini berib, ularni qishloq xo'jaligi, kimyo sanoati, energetika, qurilish va boshqa sohalarida keng qo'llash orqali global chiqindilar oqimi muammosini qisman hal etishga xizmat qiladi.

3. Tahlil qilingan ilmiy tadqiqotlar natijalari shuni ko'rsatdiki, piroliz orqali olinadigan piroyoqilg'ilar sifatini oshirish asosan piroliz reaktorining konstruktiv xususiyatlari, tanlangan biomassa turi, xom-ashyoning kimyoviy tarkibi, zarracha o'lchami va namlik darajasi, isitish tezligi hamda jarayon davomiyligi kabi muhim texnologik parametrlar bilan belgilanadi.

Shu bois, piroliz texnologiyasini ilmiy asosda takomillashtirib borish va texnologik parametrlarni optimallashtirish qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish hamda chiqindilarni samarali boshqarish tizimini yaratishda muhim ahamiyat kasb etadi.

ADABIYOT

1. Raxmatov D. Quyosh kollektorli piroliz qurilmasining texnologik sxemasi. //Innovatsion texnologiyalar. – 2024. – T. 55. – №. 03.
2. Uzoqov G'. Raxmatov D. Yassi quyosh havo kollektorli piroliz qurilmasi yordamida chiqindilardan piro yoqilg'ilarni olish uchun kichik hajmli texnologiyani ishlab chiqish. //Muqobil energetika. – 2025. – T. 19. – №. 03.
3. Uzoqov G'.N., Davlonov X.A. Geliioisixxonalarning energiya tejamkor isitish tizimlari. // – Monografiya: Voris nashriyoti, 2019. – 143 b.
4. Uzokov G.N., Davlonov H.A., Holikov K.N. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. // Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika). – 2018. – Tom 54, Volume 6. – pp. 481–484.
5. Neves, D. et al. Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. Accessed in: 26 mar. 2019 A. [S. l.: s. n.] Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001>.
6. Brown R. Biochar production technology. In: Lehmann J, Joseph S, editors. Biochar for Environmental Management. London: Earthscan; 2009. Chapter 8.
7. González JF, Román S, Encinar JM, Martínéz G. Pyrolysis of various biomass residues and char

- utilization for the production of activated carbons. //Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2009; 85: 134-141.
8. Dawei A, Zhimin W, Shuting Z, Hongxing Y. Low-temperature pyrolysis of municipal solid waste: Influence of pyrolysis temperature on the characteristics of solid fuel. //International Journal of Energy Research. 2006;30: 349-357.
9. Demirbas, A. Effect of temperature on the yield of compounds present in bio-oils obtained from biomass samples by pyrolysis. //Fuel process. Technol. 2007, 88, 591–597.
10. Demirbas, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. //Prog. Energy burn. Sci. 2004, 30, 219–230.
11. Oladejo, J., Shi, K., Luo, X., Yang, G., & Wu, T. (2019). A review of sludge-to-energy recovery methods. //Energies, 12(1), 60.
12. Chen, G., Lock Yue, P., & Mujumdar, A. S. (2002). Sludge dewatering and drying. //Drying Technology, 20(4-5), 883-916.
13. Rocha JD, Olivares-Gómez E, Mesa-Pérez JM, Cortez LAB, Seye O, Brossard González LE. The demonstration fast pyrolysis plant to biomass conversion in Brazil. //In: Proceedings of World Renewable Energy Congress VII (WRC 2002); Cologne, Germany. 2002.
14. International Energy Agency. Annual Report, 2006: IEA Bioenergy: Task 34, Pyrolysis of Biomass. -Paris, France: International Energy Agency; 2006.
15. Bourke J, Manley-Harris M, Fushimi C, Dowaki K, Nunoura T, Antal Jr. MJ. Do all carbonised charcoals have the same structure? A model of the chemical structure of carbonized charcoal. //Industrial & Engineering Chemistry Research. 2007;46:5954-5967.
16. Klass DL. Energy consumption, reserves, depletion and environmental issues. In: Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Academic Press, San Diego, California, USA, ISBN 139780124109506, (1998), 1 – 27.
17. Wenzl HFJ. Further destructive processing of wood. In: The chemical technology of wood. Academic Press, New York and London. (1970), 253 – 300.
18. Goos AW. The thermal decomposition of wood. In: Wood Chemistry. Wise LE, Jahn EC. (Eds.), American Chemical Society monograph #97, 2nd edition, volume 2, (1952), 826 – 851
19. Oasmaa A, Meier D. Norms and standards for fast pyrolysis liquids: 1. Round robin test. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2005;73:323-334.
20. Fahmi R, Bridgwater AV, Donnison I, Yates N, Jones JM. The effect of lignin and inorganic species in biomass on pyrolysis oil yields, quality and stability. //Fuel. 2008;87: 1230-1240.
21. Shihadeh A, Hochgreb S. Diesel engine combustion of biomass pyrolysis oils. //Energy Fuels. 2000;14:260-274.
22. Abdullah N. An assessment of pyrolysis for processing empty fruit bunches [Thesis]. Birmingham, UK: Aston University; 2005.
23. Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, Bol R. Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research; CSIRO Land and Water Science Report. Canberra, Australia: CSIRO; 2009.

REFERENCES

1. Raxmatov, D. (2024). Technological Scheme of a Solar Collector-Based Pyrolysis Device. Innovative Technologies, Vol. 55, No. 03. (In Uzb).
2. Uzoqov, G., & Raxmatov, D. (2025). Development of a Small-Scale Technology for Producing Pyro Fuels from Waste Using a Flat-Plate Solar Air Collector-Based Pyrolysis Device. Alternative Energy, Vol. 19, No. 03. (In Uzb).
3. Uzoqov, G.N., & Davlonov, X.A. (2019). Energy-Efficient Heating Systems for Solar Greenhouses. Monograph. Voris Publishing House, 143 p. (In Uzb).
4. Uzokov, G.N., Davlonov, H.A., & Holikov, K.N. (2018). Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters. Applied Solar Energy (English translation of Geliotekhnika), Vol. 54, No. 6, pp. 481–484.
5. Neves, D., et al. (2011). Characterization and Prediction of Biomass Pyrolysis Products. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2011.01.001>.
6. Brown, R. (2009). Biochar Production Technology. In: Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.), Biochar for Environmental Management. London: Earthscan, Chapter 8.
7. González, J.F., Román, S., Encinar, J.M., & Martínez, G. (2009). Pyrolysis of Various Biomass Residues and Char Utilization for the Production of Activated Carbons. //Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 134–141.
8. Dawei, A., Zhimin, W., Shuting, Z., & Hongxing, Y. (2006). Low-Temperature Pyrolysis of Municipal Solid Waste: Influence of Pyrolysis Temperature on the Characteristics of Solid Fuel. //International Journal of Energy Research, 30, 349–357.
9. Demirbas, A. (2007). Effect of Temperature on the Yield of Compounds Present in Bio-Oils

Obtained from Biomass Samples by Pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 88, 591–597.

10. Demirbas, A. (2004). Combustion Characteristics of Different Biomass Fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30, 219–230.
11. Oladejo, J., Shi, K., Luo, X., Yang, G., & Wu, T. (2019). A Review of Sludge-to-Energy Recovery Methods. *//Energies*, 12(1), 60.
12. Chen, G., Lock Yue, P., & Mujumdar, A.S. (2002). Sludge Dewatering and Drying. *//Drying Technology*, 20(4–5), 883–916.
13. Rocha, J.D., Olivares-Gómez, E., Mesa-Pérez, J.M., Cortez, L.A.B., Seye, O., & Brossard González, L.E. (2002). The Demonstration Fast Pyrolysis Plant for Biomass Conversion in Brazil. */In: Proceedings of the World Renewable Energy Congress VII (WRC 2002)*, Cologne, Germany.
14. International Energy Agency. (2006). Annual Report 2006: IEA Bioenergy Task 34 – Pyrolysis of Biomass. -Paris, France: International Energy Agency.
15. Bourke, J., Manley-Harris, M., Fushimi, C., Dowaki, K., Nunoura, T., & Antal Jr., M.J. (2007). Do All Carbonised Charcoals Have the Same Structure? A Model of the Chemical Structure of Carbonized Charcoal. *//Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46, 5954–5967.
16. Klass, D.L. (1998). Energy Consumption, Reserves, Depletion and Environmental Issues. *In: Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals*. Academic Press, San Diego, California, USA, pp. 1–27.
17. Wenzl, H.F.J. (1970). Further Destructive Processing of Wood. *In: The Chemical Technology of Wood*. Academic Press, -New York and London, pp. 253–300.
18. Goos, A.W. (1952). The Thermal Decomposition of Wood. *In: Wise, L.E., & Jahn, E.C. (Eds.), Wood Chemistry, ACS Monograph No. 97, 2nd ed., Vol. 2*, pp. 826–851.
19. Oasmaa, A., & Meier, D. (2005). Norms and Standards for Fast Pyrolysis Liquids: 1. Round Robin Test. *//Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 73, 323–334.
20. Fahmi, R., Bridgwater, A.V., Donnison, I., Yates, N., & Jones, J.M. (2008). The Effect of Lignin and Inorganic Species in Biomass on Pyrolysis Oil Yields, Quality and Stability. *Fuel*, 87, 230–240.
21. Shihadeh, A., & Hochgreb, S. (2000). Diesel Engine Combustion of Biomass Pyrolysis Oils. *//Energy & Fuels*, 14, 260–274.
22. Abdullah, N. (2005). An Assessment of Pyrolysis for Processing Empty Fruit Bunches [Thesis]. Birmingham, UK: Aston University.
23. Sohi, S., Lopez-Capel, E., Krull, E., & Bol, R. (2009). Biochar, Climate Change and Soil: A Review to Guide Future Research. CSIRO Land and Water Science Report. Canberra, Australia: CSIRO.