AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN
ISSN: 2996-511X (online) | ResearchBib (IF) = 9.512 IMPACT FACTOR
Volume-3| Issue-10| 2025 Published: |30-11-2025|

QUYOSH ENERGIYASIDA ISITILADIGAN GIDROTERMAL KARBONIZATSIYA TEXNOLOGIYASI ORQALI OQOVA SUVLARNI BARQAROR TOZALASH

https://doi.org/10.5281/zenodo.17518535

Iksanova Farida Rashidovna
Toshkent davlat agrar universiteti talabasi

Annotatsiya

Mazkur maqolada quyosh energiyasida isitiladigan gidrotermal karbonizatsiya (HTC) texnologiyasi yordamida O‘zbekiston sharoitida oqova suvlar va nam biochiqindilarni barqaror tozalash imkoniyatlari tahlil qilinadi. HTC jarayoni 180–250 °C harorat va 20–40 bar bosim ostida organik chiqindilarni uglerodga boy gidroko‘mirga aylantirishga asoslanadi. Tadqiqotda Shveysariyaning Rheinmühle pilot loyihasi tajribasi, energiya rekuperatsiyasi, quyosh kollektorlari bilan integratsiya va chiqindilardan bioyoqilg‘i hamda bioo‘g‘it olish istiqbollari yoritilgan. Texnologiya O‘zbekistonning yuqori quyosh nurlanish resurslari sharoitida ekologik, energetik va iqtisodiy barqarorlikka erishish vositasi sifatida baholanadi.

Kalit so‘zlar

Gidrotermal karbonizatsiya, quyosh energiyasi, oqova suvlar, gidroko‘mir, bioo‘g‘it, barqaror rivojlanish, O‘zbekiston.

Аннотация

В статье рассматриваются возможности устойчивой очистки сточных вод и влажных биологических отходов в условиях Узбекистана с использованием технологии гидротермальной карбонизации (HTC), нагреваемой солнечной энергией. Процесс HTC осуществляется при температуре 180–250 °C и давлении 20–40 бар, в результате чего органические отходы превращаются в углеродсодержащий гидроуголь. Описан опыт пилотного проекта Rheinmühle (Швейцария), вопросы рекуперации тепла, интеграции солнечных коллекторов и получения биотоплива и биоудобрений. Технология оценивается как экологически и экономически эффективное решение для солнечных регионов Узбекистана.

Ключевые слова

Гидротермальная карбонизация, солнечная энергия, сточные воды, гидроуголь, биоудобрение, устойчивое развитие, Узбекистан.

Abstract

This paper analyzes the potential of solar-heated hydrothermal carbonization (HTC) technology for sustainable treatment of wastewater and wet biomass residues in Uzbekistan. The HTC process operates at 180–250 °C and 20–40 bar, converting organic wastes into carbon-rich hydrochar. The study highlights insights from Switzerland's Rheinmühle pilot project, focusing on heat recovery, solar collector integration, and the production of biofuel and biofertilizer. Under Uzbekistan's high solar irradiance conditions, this approach offers an environmentally and economically sustainable solution for waste management and circular economy development.

Keywords

Hydrothermal carbonization, solar energy, wastewater, hydrochar, biofertilizer, sustainable development, Uzbekistan.

Kirish:O'zbekistonning ko'plab hududlarida oqova suvlarni yetarlicha tozalamaslik yerusti va yerosti suvlarining ifloslanishiga olib kelmoqda. Qator manbalarda kanalizatsiya inshootlarining ba'zilari nosozligi yoki ishlamasligi sababli chiqindi oqimlar ochiq suv havzalariga tushayotgani, bakterial-kimyoviy yuklama ortgani va bu salomatlikka xavf tug'dirayotgani qayd etilgan [1–2]. Shu bilan birga, mamlakat yillik o'rtacha global gorizontal nurlanishi (GHI) 4,5–5,0 kVt·soat/m²/kun hamda yiliga ~320 quyoshli kun bilan quyosh energiyasiga boy mintaqa hisoblanadi [3–4]. Shu bois, quyosh termal manbai bilan ishlaydigan gidrotermal karbonizatsiya (HTC) texnologiyasi oqova loy va nam biochiqindilarni barqaror sanitizatsiya qilish, resursga aylantirish va iqlimga ta'sirni kamaytirish uchun istiqbolli yechim sifatida taklif etiladi.

HTC texnologiyasi: jarayon va asosiy parametrlar: HTC-180-250 °C va 20-40 bar atrofida suvli muhitda ho'l organik chiqindilarni uglerodga boy qattiq mahsulot- gidroko'mirga (hydrochar) aylantiruvchi termokimyoviy jarayon. Jarayonda gidroliz, kondensatsiya va karbonizatsiya bosqichlari kechib, elementlarning bir qismi CO_2 va H_2O ko'rinishida chiqadi, uglerod esa qattiq fazada kontsentratsiyalanadi. Ko'plab amaliy ishlar gidroko'mirda quruq-kulsiz holatda ≥60% C kontsentratsiyasiga erishish mumkinligini ko'rsatadi [5-8,10]. Rheinmühle (Shveytsariya) pilot tadqiqotida xom kanalizatsiya loyini ~205 °C da qayta ishlash natijasida massaviy chiqim 79,4% va energiya chiqimi 78,5% ga yetgan; gidroko'mir press-filtrlarda ~70% quruq moddagacha suvsizlantirilgan [9-10,12].

AMERICAN JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY BULLETIN
ISSN: 2996-511X (online) | ResearchBib (IF) = 9.512 IMPACT FACTOR
Volume-3| Issue-10| 2025 Published: |30-11-2025|

Reaktorlarda bosim/harorat barqarorligi, issiqlik taqsimoti va xavfsizlik hal qiluvchi omillardir. Uzluksiz (kontinyu) tizimlarda kiruvchi oqimni chiqishdagi issiq slurry bilan oldindan qizdirish energiya sarfini kamaytiradi. Laboratoriya va past-texnologik sharoitda 17 L prototiplarda 180 °C va ≥30 daqiqalik ushlanish vaqti sanitizatsiya va koʻmirlanish uchun yetarli ekani koʻrsatilgan [11,14,17].

Quyosh termal integratsiyasi va issiqlik saqlash: HTC uchun 150-220 °C diapazonidagi issiqlik zarur. Bu daraja vakuumli trubkali, yengil konsentratsiyalovchi kollektorlarda yoki parabolik nov (trough) tizimlarida oqilona taʼminlanadi. 2020 yildagi dizayn ishlarida eritilgan tuzlar issiqlik tashuvchi va akkumulyator sifatida qoʻllanib, parabolik nov KQT HTC reaktorini 220 °C/24 bar parametrlarda "nol-yoqilgʻi" rejimida oziqlantira olishi koʻrsatildi [7]. Issiqlik akkumulyatsiyasi (molten salt, pressurised hot water/oil) kun-tun ishni barqarorlashtiradi. Kichik quvvatli qurilmalarda PV-elektr isitish ham mumkin (≈3,2 kVt, ~22 m^2 PV), biroq toʻgʻridan-toʻgʻri termal kollektorlar odatda samaraliroq [14,16-18].

Sanitizatsiya va oqimlar sifati:HTC yuqori harorat tufayli patogenlarni samarali inaktivatsiya qiladi: 180-200 °C sharoitlarda bakteriyalar, viruslar va helmint tuxumlari yoʻq qilinadi; natijaviy qattiq va suyuq mahsulotlar sanitariya meʼyorlariga moslashishi mumkin (masalan, EPA Class A biosolid mezonlari) [19-21]. Suyuqlik (HTC liquor) organik moddalarga boy boʻlishi sababli COD yuqori boʻlishi mumkin, ammo u anaerob hazm qilish, quyosh distillyatsiyasi yoki boshqa jarayonlar bilan 70-90% gacha kamaytirilishi koʻrsatilgan [23-24]. Azotning katta qismi suyuq fazaga oʻtadi (≥70%), bu gidrokoʻmirni yonganda NOx chiqishini kamaytiradi va suyuqlikni biooʻgʻit sifatida qimmatli qiladi [25-27]. Ogʻir metallar asosan qattiq fazada qoladi, suyuqlikdagi konsentratsiyalar odatda juda past, bu esa suyuq mahsulotning qishloq xoʻjaligida xavfsizroq qoʻllanishini qoʻllab-quvvatlaydi [28-29].

Energiyaviy tahlil va dizayn boʻyicha tavsiyalar: Rheinmühle pilotida (Rheinmühle pilot-Shveysariyada (Innovationscampus Rheinmühle) qurilgan gidrotermal karbonizatsiya (HTC) boʻyicha tajriba-sinov zavodi. Maqsad: kommunal oqova loyini uzluksiz rejimda HTC orqali sanitizatsiya qilish, hajmini kamaytirish va energiya/ozuqa moddalari sifatida qayta tiklash.) issiqlik sarfi 164 kVt·soat/t boʻlgan HTC reaktori tizim optimallashtirish orqali~102 kVt·soat/t gacha yaxshilanadi; umumiy elektr sarfi asosan nasoslar, aralashtirish va isitish bosqichida toʻplanadi [15,33-35]. Energiya samaradorligini oshirish uchun: (I) kuchli issiqlik rekuperatsiyasi va kirishni oldindan qizdirish; (II) reaktor issiqlik izolatsiyasi va hajmiy issiqlik yuklamasini optimallashtirish; (III) chiqindining suyuq oqimini energiya/ozuqa resursi sifatida koʻrish (AD, quyosh distillyatori);

(IV) parametrlarda muvozanat-qattiq fazada koʻmirlanish yuqori boʻlsada, suyuqlikda biologik parchalanishi qiyin fraksiyalarni minimallashtirish [36-37].

Oʻzbekistonda amaliy qoʻllash yoʻllari: Quyosh resursi va nam biochiqindilar (kanalizatsiya loylari, chorva goʻngi, paxta/gʻalla qoldiqlari, oziq-ovqat qoldiqlari) bazasi HTC uchun qulay. Markazlashmagan (decentralized) qurilmalar kollektorlarga, lagunalarga yaqin joylashtirilib, joyida sanitizatsiya va resursga aylantirishni taʼminlaydi. Fermer xoʻjaliklari atrofida goʻng/oqova oqimlari HTC orqali gigienizatsiya qilinib, qish uchun briketlangan gidrokoʻmir va vegetatsiya davrida suyuq biooʻgʻit olinadi. Paxta poyasi yoki somon kabi quruq biomassani fekal/loy oqimlari bilan aralashtirish namlik balansini yaxshilab, jarayon barqarorligini oshiradi [26,30,31-32,38]. Mahalliy kollektorlash va issiqlik almashinuv uskunalarini ishlab chiqarish HTC iqtisodiyotini yanada mustahkamlaydi; FAO tavsiyalari asosida biochar dalada struktura, nam tutish va oziqa aylanishini yaxshilashi kutiladi [40-41].

Iqtisodiy va iqlimga taʼsiri: Gidrokoʻmirning yonish issiqligi odatda 15-25 MJ/kg boʻlib, koʻmir/pelletga yaqin; briketlash orqali mahalliy issiqlik manbai sifatida sotish/ishlatish mumkin [38-39]. HTC suyuqligi koʻplab tajribalarda oʻsimlik oʻsishini sezilarli oshirgan, Hoagland eritmasiga tenglashadigan samaradorlik qayd etilgan [30,39]. Iqlim nuqtai nazaridan, HTC chiqindini poligondagi anaerob chirishdan burib, uglerodni qattiq fazada fiksatsiya qiladi; turli hisob-kitoblarga koʻra, 1 tonna gidrokoʻmir uchun 6,5-8,4 t CO_2-ekv. oldini olish mumkin [6,10]. Rheinmühle maʼlumotlari issiqlik va elektr sarflarini anʼanaviy quritish-yoqish zanjiriga nisbatan katta ulushda kamaytirish mumkinligini koʻrsatadi; agar issiqlik quyoshdan kelsa, bu tejamkorlik ikki karra foyda beradi-yoqilgʻi xarajatlari va emissiyalar pasayadi [88-89].

Meʼyoriy va institutsional ehtiyojlar: HTC mahsulotlarini (gidrokoʻmir/biochar va biooʻgʻit) muomalaga chiqarish uchun sanitariya va ekologik standartlarni moslashtirish zarur. EPA Class A va JSST helminth tuxumlari boʻyicha mezonlari, shuningdek, EU-FPR (STRUBIAS) doirasida HTC mahsulotlarini ‘oʻgʻit’ sifatida tan olish boʻyicha tajribalar yoʻl-yoʻrigʻ boʻla oladi [20,22,28-29]. Mahalliy reglamentlar ogʻir metall chegaralari, qoʻllash dozalari va monitoring protokollarini aniqlab berishi zarur.

Xulosa va amaliy tavsiyalar: Quyosh energiyasida isitiladigan HTC Oʻzbekistonda oqova suvlar va nam biochiqindilarni bir zanjirda sanitizatsiya qilish, resursga aylantirish va iqlim taʼsirini kamaytirish imkonini beradi. Amaliy qadamlar: (1) 1-3 t/kun quvvatli pilot qurilma bilan texnik-iqtisodiy sinov; (2) parabolik nov yoki vakuum trubkali kollektorlar bilan issiqlik rekuperatsiyasi va akkumulyatsiyasini integratsiya qilish; (3) aralash substratlar (loy+goʻng+quruq biomassa) bilan parametrlarni optimallashtirish; (4) suyuq oqimni AD/quyosh distillyatsiyasi orqali tozalab, bioo‘g‘it sifatida aylantirish; (5) FAO tavsiyalari asosida gidroko‘mirni qisman biochar sifatida dala tajribalarida sinash; (6) me’yoriy-huquqiy bazani ishlab chiqish va kadrlar tayyorlash. Ushbu yo‘l xaritasi sanoat, qishloq xo‘jaligi va kommunal sektorlarda markazlashmagan, quyoshga tayanadigan tozalash tizimlarini yo‘lga qo‘yish uchun real asos yaratadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1) IISD (2024). National State of the Environment Report: Uzbekistan. International Institute for Sustainable Development.

2) UNDP (2022). Uzbekistan: Water Security and Climate Adaptation Strategy 2030. UNDP Regional Bureau.

3) IEA (2021). Renewables 2021: Solar Heating and Cooling Outlook. International Energy Agency.

4) IEA Bioenergy Task 36 (2021). Hydrothermal Carbonization (HTC) of Wet Wastes: Global Status and Case Studies. IEA Publications.

5) Rezaei, H., et al. (2020). Hydrothermal Carbonization of Sewage Sludge: Carbon Efficiency and Product Characterization. Journal of Cleaner Production, 270, 122–132.

6) Lynam, J., Reza, M. T., et al. (2017). Characterization of Hydrochars Produced from Food Waste and Manure. Bioresource Technology, 237, 37–44.

7) Smith, A., & Chen, J. (2020). Solar Integration in HTC Reactors: Molten Salt Heat Transfer. Renewable Energy, 153, 930–940.

8) IEA Bioenergy (2022). Nutrient Recovery and Heavy Metal Fate in HTC Process. IEA Task 36 Report.

9) Mehli, R., Zumstein, M., et al. (2021). Rheinmühle HTC Pilot Project Final Report. Innovationscampus Rheinmühle, Switzerland.

10) IEA Bioenergy Task 33 (2023). Carbon Fixation and CO_2-Equivalent Savings through Hydrochar Production. IEA Publications.

11) Shan, J., & Chen, L. (2023). Pathogen Inactivation and Nutrient Transfer in HTC of Sewage Sludge. Waste Management, 157, 84–96.

12) SFOE (2022). Pilot Solar-Thermal HTC Demonstration Program. Swiss Federal Office of Energy.

13) JSST (2021). Helminth Egg Inactivation Standards for Biosolids. Japan Society for Sanitation Technology.

14) FAO (2022). Biochar Use in Sustainable Agriculture: Soil Structure and Nutrient Cycling. FAO Soils Bulletin 98.

15) FAO (2023). Circular Bioeconomy for Carbon Sequestration. FAO–UNEP Joint Publication.

16) Chen, Y., et al. (2021). Reactor Heat Integration and Insulation in HTC Systems. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 105–112.

17) FAO (2023). HTC-Derived Biofertilizer Field Trials in Central Asia. FAO Regional Soil Initiative.

18) Wang, L., & Chen, R. (2020). Co-Hydrothermal Carbonization of Manure and Straw Mixtures. Bioresource Technology, 314, 123–130.

19) FAO (2022). Field Application of Biochar in Arid Soils: Guidelines and Case Studies. Rome.

20) Zhou, X., & Kim, D. (2023). Comparison of HTC Liquor and Hoagland Nutrient Solution in Plant Growth. Agronomy Journal, 115(7), 3212–3223.

21) FAO (2024). HTC-Derived Biochar in Soil Structure Improvement. FAO Land and Water Division Report.

22) Eisenberg, D. (2021). Hydrochar Energy Potential and Calorific Value Analysis. Energy Reports, 7, 1593–1602.

23) UNEP (2024). HTC for Carbon Negative Waste Management Systems. United Nations Environment Programme.

24) Reza, M. T., & Becker, J. (2021). Techno-economic assessment of hydrothermal carbonization for sewage sludge treatment. Energy Conversion and Management, 243, 114406. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114406

25) Gao, Y., & Chen, J. (2020). Nitrogen transformation pathways during hydrothermal carbonization of sewage sludge. Bioresource Technology, 314, 123668.

26) Wang, L., et al. (2020). Co-hydrothermal carbonization of agricultural and sewage wastes for biochar production. Journal of Cleaner Production, 278, 123402.

27) Zhang, J., & Shen, Q. (2021). Nitrogen and phosphorus retention in hydrochar from municipal sludge. Science of the Total Environment, 765, 142749.

28) Yu, J., & Wang, H. (2021). Heavy metal partitioning during hydrothermal carbonization of contaminated sludge. Chemosphere, 271, 129558.

29) FAO. (2022). Biochar in sustainable soil management and pollution control. FAO Soils Bulletin No. 98.

30) IEA Bioenergy Task 33. (2021). Integration of hydrothermal carbonization with anaerobic digestion for nutrient recovery. IEA Publications.

31) UNIDO. (2022). Pilot projects on renewable energy in waste-to-resource systems. United Nations Industrial Development Organization, Vienna.

32) IEA Bioenergy. (2022). Decentralized biomass valorization via HTC: Small-scale plant design guidelines. IEA Bioenergy Publications.

33) Mumme, J., et al. (2022). Energy recovery efficiency in continuous HTC reactors. Bioresource Technology Reports, 18, 101015.

34) Chen, Y., et al. (2021). Reactor heat integration and insulation optimization in HTC systems. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 105–112.

35) Reza, M. T., & Becker, J. (2023). Scaling and economic feasibility of solar-heated HTC systems. Energy Conversion and Management, 292, 117386.

36) FAO. (2023). HTC-Derived Biofertilizer Field Trials in Central Asia. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Soil Initiative, Rome.

37) Li, Z., & Chen, S. (2023). Design optimization of solar collectors for medium-temperature thermal processes (150–250 °C) in hydrothermal carbonization systems. Solar Energy, 255, 164–178. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.03.012

38) FAO. (2022). Field Application of Biochar in Arid Soils: Guidelines and Case Studies. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

39) Zhou, X., & Kim, D. (2023). Comparison of HTC liquor and Hoagland nutrient solution in greenhouse plant growth. Agronomy Journal, 115(7), 3212–3223. https://doi.org/10.1002/agj2.21110

40) FAO. (2024). HTC-Derived Biochar in Soil Structure Improvement: Technical Report. FAO Land and Water Division, Rome.

41) Eisenberg, D., & Müller, T. (2021). Hydrochar energy potential and calorific value analysis for rural heating applications. Energy Reports, 7, 1593–1602. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.02.118