QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.152

ELAEAGNUS ANGUSTIFOLIA POYASI CHIQINDISIDAN ADSORBENT OLISH

Mukimova Dinara Ulug‘bekovna
Termiz davlat pedagogika instituti
11.00.05 – Atrof-muhitni muhofaza qilish va tabiiy resurslardan oqilona foydalanish ixtisosligi
1-bosqich tayanch doktoranti

Annotatsiya. Tadqiqotning maqsadi jiyda (Elaeagnus angustifolia L.) poyasi chiqindisidan termik-kimyoviy ishlov orqali uglerodli adsorbent olish va uning adsorbsion xossalarini baholashdan iborat. Mahalliy lignosellyulozali chiqindini qayta ishlash resurslardan oqilona foydalanish va ekologik yuklamani kamaytirish nuqtai nazaridan dolzarbdir. Xomashyo 505 °C da argon muhitida karbonizatsiya qilindi, karbonizat KOH bilan 1:0,5; 1:1; 1:2 va 1:3 massa nisbatlarida ishlanib, 800 °C da aktivatsiya qilindi. Kongo qizili adsorbsiyasi 497 nm da spektrofotometrik usulda, benzol bug‘I adsorbsiyasi esa eksikator sharoitida baholandi. Kongo qizili bo‘yicha 1:1 namuna besh konsentratsiya uchun o‘rtacha 82,19% adsorbsion samaradorlikni ko‘rsatdi. Benzol bug‘I bo‘yicha 1:3 namuna 6,36 mol/kg o‘rtacha qiymat bilan eng yuqori natijani berdi. Ishning ilmiy yangiligi jiyda poyasi chiqindisidan olingan bir xil karbonizat uchun KOH miqdorining suvli va gaz fazadagi adsorbsiyaga ta’sirini qiyosiy baholashdan iborat.

Kalit so‘zlar: Elaeagnus angustifolia L., jiyda poyasi, karbonizatsiya, KOH aktivatsiyasi, uglerodli adsorbent, Kongo qizili, benzol bug‘I, adsorbsion samaradorlik.

Аннотация. Цель работы – получение углеродного адсорбента из отходов стеблей Elaeagnus angustifolia L. Термохимической обработкой и оценка его адсорбционных свойств. Переработка местных лигноцеллюлозных отходов актуальна с позиции рационального использования ресурсов и снижения экологической нагрузки. Сырьё карбонизировали при 505 °C в атмосфере аргона, а карбонизат обрабатывали KOH в массовых соотношениях 1:0,5; 1:1; 1:2 и 1:3 и активировали при 800 °C. Адсорбцию Конго красного оценивали спектрофотометрически при 497 нм, а адсорбцию паров бензола – в эксикаторах. Образец 1:1 показал среднюю эффективность адсорбции Конго красного 82,19%. Для паров бензола максимальное среднее значение 6,36 моль/кг получено для образца 1:3. Научная новизна состоит в сравнительной оценке влияния количества KOH на водно- и газофазную адсорбцию для одного и того же карбонизата из стеблей E. Angustifolia.

Ключевые слова: Elaeagnus angustifolia L., стебель лоха узколистного, карбонизация, активация KOH, углеродный адсорбент, Конго красный, пары бензола, эффективность адсорбции.

Abstract. This study aimed to obtain a carbonaceous adsorbent from Russian olive (Elaeagnus angustifolia L.) stem waste by thermochemical treatment and to evaluate its adsorption properties. Valorization of local lignocellulosic waste is relevant to resource efficiency and environmental load reduction. The raw material was carbonized at 505 °C under argon, while the char was treated with KOH at mass ratios of 1:0.5, 1:1, 1:2 and 1:3 and activated at 800 °C. Congo red adsorption was evaluated spectrophotometrically at 497 nm, whereas benzene vapor adsorption was assessed in desiccators. The 1:1 sample showed a mean Congo red adsorption efficiency of 82.19%. The 1:3 sample gave the highest mean benzene vapor adsorption value of 6.36 mol/kg. The scientific novelty is the comparative assessment of KOH dosage on aqueous- and gas-phase adsorption using the same E. angustifolia stem-derived char.

Keywords: Elaeagnus angustifolia L., Russian olive stem, carbonization, KOH activation, carbonaceous adsorbent, Congo red, benzene vapor, adsorption efficiency.

KIRISH. Suv resurslarining organik bo‘yoqlar va boshqa texnogen ifloslantiruvchilar bilan ifloslanishi ekologik xavfsizlikning muhim muammolaridan biridir. Adsorbsiya usuli apparat jihatdan nisbatan sodda, turli konsentratsiyadagi ifloslantiruvchilarga moslashtirilishi mumkin va ko‘plab uglerodli materiallardan foydalanish imkonini beradi [1,6,7]. Shu sababli qimmat tijorat adsorbentlariga muqobil sifatida mahalliy biomassa chiqindilaridan sorbentlar olishga qiziqish ortib bormoqda.

Lignosellyulozali biomassa asosan sellyuloza, gemisellyuloza va lignindan tashkil topgan. Termik parchalanishda uchuvchan komponentlarning chiqishi va uglerodli karkasning shakllanishi kuzatiladi; keyingi fizik yoki kimyoviy aktivatsiya esa g‘ovak tuzilma va faol sirtning rivojlanishiga xizmat qiladi [1-4]. Kimyoviy aktivatsiyada reagent turi, reagentning karbonizatga nisbati, harorat va vaqt adsorbentning yakuniy xossalarini belgilovchi muhim omillardir [2,3,5].

Tadqiqot obyekti - jiyda (Elaeagnus angustifolia L.) poyasi chiqindisidan olingan karbonizat va KOH bilan aktivlangan uglerodli materiallar. Tadqiqot predmeti - karbonizat:KOH massa nisbatining Kongo qizili va benzol bug‘i adsorbsiyasiga ta’siri. Tadqiqot maqsadi - jiyda poyasi chiqindisidan ikki bosqichli termik-kimyoviy ishlov orqali adsorbent olish va uning suvli hamda gaz fazadagi adsorbsion xossalarini qiyosiy baholash.

Tadqiqot vazifalari: jiyda poyasini quritish va 505 °C da karbonizatsiya qilish; 0,8 mm fraksiyani ajratish; karbonizatni KOH bilan 1:0,5; 1:1; 1:2 va 1:3 nisbatlarda aktivlash; aktivatsiya mahsulotlarini neytrallash va yuvish; Kongo qizili adsorbsiyasini spektrofotometrik usulda baholash; benzol bug‘i adsorbsiyasini qiyoslash; tajriba natijalariga ko‘ra istiqbolli aktivatsiya rejimlarini aniqlash.

Mavzuga oid adabiyotlar sharhi

Biomassa qoldiqlaridan aktivlangan uglerod olish bo‘yicha sharhlarda qishloq xo‘jaligi chiqindilarining arzonligi, qayta tiklanuvchanligi va uglerodga boyligi ularni adsorbent

prekursorlari sifatida istiqbolli qilishi qayd etilgan [1]. Molina-Sabio va Rodríguez-Reinoso kimyoviy aktivatsiyada reagent va termik rejim g‘ovaklik rivojlanishiga bevosita ta’sir qilishini ko‘rsatgan [2]. Marsh va Rodríguez-Reinoso aktivlangan uglerodlarning adsorbsion xossalari sirt maydoni bilan bir qatorda g‘ovak o‘lchami va sirt kimyosiga ham bog‘liqligini umumlashtirgan [3].

Lignosellyulozali prekursorlarning alohida komponentlari karbon material shakllanishiga turlicha hissa qo‘shadi. Cagnon va hammualliflar gemisellyuloza, sellyuloza va ligninning termik parchalanish xususiyatlari aktivlangan uglerod hosil bo‘lish jarayoniga ta’sir qilishini ko‘rsatgan [4]. KOH bilan aktivatsiya sharoitlarini optimallashtirish bo‘yicha boshqa biomassa prekursorlarida ham reagent/xomashyo nisbati muhim boshqariluvchi omil ekani qayd etilgan [5].

Elaeagnus angustifolia L. biomassasiga bag‘ishlangan mavjud ishlarda asosan meva va urug‘ qismlari o‘rganilgan. Oleaster mevasidan KOH va $ZnCl_2$ yordamida aktivlangan uglerodlar olinib, aktivator turining material xossalariga ta’siri qiyoslangan [8]. Baytar va hammualliflar E. angustifolia urug‘idan H_3PO_4 yordamida aktivlangan uglerod olib, metilen ko‘ki va malaxit yashili adsorbsiyasini o‘rgangan [9]. E. angustifolia mevalarining kation va anion bo‘yoqlarni ajratish uchun biosorbent sifatida qo‘llanishi ham ko‘rsatilgan [12].

Kongo qizili kabi anion bo‘yoqlarni biomassaga asoslangan sorbentlar bilan ajratish bo‘yicha tadqiqotlarda g‘ovak tuzilma, sirt funksional guruhlari va eritma sharoitlari asosiy omillar sifatida muhokama qilinadi [10,11]. Ushbu maqolaning o‘ziga xosligi jiydaning meva yoki urug‘i emas, aynan poya chiqindisidan olingan karbonizatni KOH bilan to‘rtta massa nisbatida aktivlab, bir xil prekursorning Kongo qizili va benzol bug‘iga nisbatan adsorbsion xossalarini qiyoslashdan iborat. Bu yondashuv KOH sarfi va adsorbat tabiatiga bog‘liq optimal rejim bir xil bo‘lmasligini tajribaviy ko‘rsatishga imkon beradi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Tadqiqot eksperimental va qiyosiy-taqqoslash yondashuviga asoslandi. Barcha aktivlangan namunalar bir xil jiyda poyasi karbonizatidan tayyorlandi; o‘zgaruvchi omil sifatida karbonizat:KOH massa nisbati tanlandi. Natijalar Kongo qizili uchun besh boshlang‘ich konsentratsiya, benzol bug‘i uchun esa turli eksikator sharoitlarida olingan qiymatlar bo‘yicha qiyoslandi. Tajribaning umumiy ketma-ketligi 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Jiyda poyasi chiqindisidan adsorbent olish va adsorbsion baholashning tajribaviy sxemasi.

NATIJALAR VA ULARNING TAHLILI

Xomashyoni quritish va karbonizatsiya qilish

Jiyda poyasi chiqindisi quritish pechida 3 soat quritildi. Boshlang‘ich massa 2558.28 g, quritishdan keyingi massa 1403.54 g bo‘ldi. Demak, massa saqlanishi 54.86%, massa kamayishi esa 45.14% ni tashkil etdi.

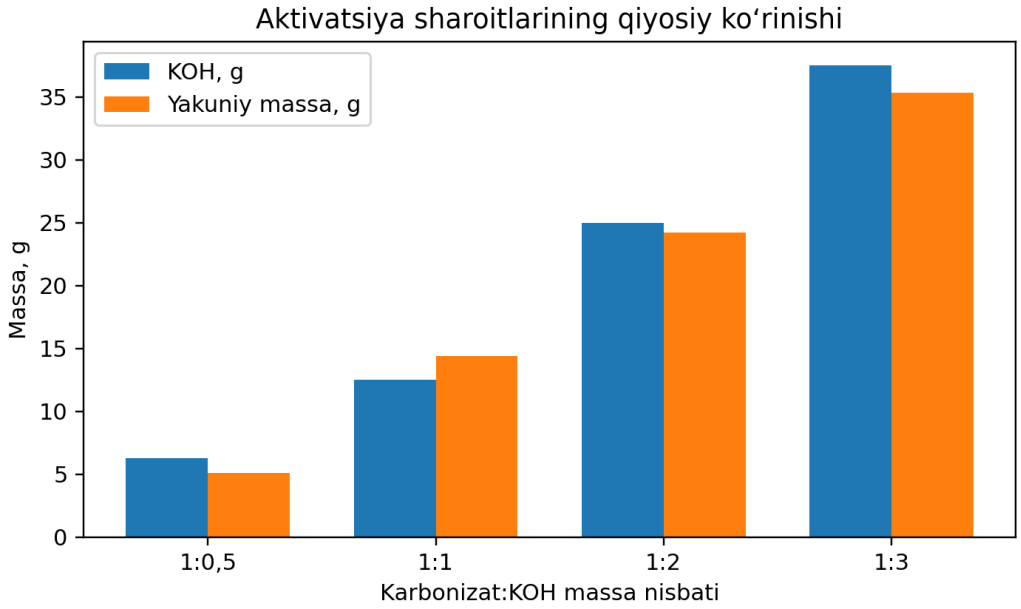
Karbonizatsiya uchun 429.99 g quruq poya olinib, 505 °C da 2 soat davomida piroliz qilindi. Qurilma rejimida 30 A tok kuchi qo‘llanildi; argon berilishi kislorod kirishini cheklash va uglerodli qoldiqning oksidlanishini kamaytirishga qaratildi. Natijada 77.05 g karbonizat olindi. Quruq xomashyoga nisbatan karbonizat unumi 17.92% bo‘ldi. Massa balansi bo‘yicha 352.94 g yoki 82.08% farq uchuvchan mahsulotlar va massaviy yo‘qotishlar ulushiga to‘g‘ri keladi; bu qiymat alohida yig‘ilgan kondensat massasi sifatida talqin qilinmaydi.

Karbonizatni elash va KOH bilan aktivatsiya qilish

Karbonizat chinni kosachada maydalandi va 9 xil elakdan o‘tkazildi. Tajriba uchun 0,8 mm fraksiya tanlandi. Har bir aktivatsiya tajribasiga 12,5 g karbonizat olindi. KOH miqdori mos ravishda 6,25; 12,5; 25,0 va 37,5 g bo‘lib, karbonizat:KOH massa nisbatlari 1:0,5; 1:1; 1:2 va 1:3 ni tashkil etdi. Aralashmalar 24 soat saqlandi, 105 °C da 2 soat quritildi va 800 °C da 2 soat termik aktivatsiya qilindi. Aktivatsiyadan keyin mahsulotlar 0,5 M HCl bilan neytrallandi, distillangan suvda uch marta yuvildi va pH 6,8-7,1 oralig‘iga keltirildi.

Namuna	Karbonizat, g	KOH, g	Suv, mL	0,5 M HCl, mL	pH	Yakuniy massa, g
1:0,5	12,5	6,25	30	100	6,9	5,1
1:1	12,5	12,5	60	200	6,8	14,4
1:2	12,5	25	80	400	7,1	24,2
1:3	12,5	37,5	100	620	6,8	35,3

1-jadval. KOH bilan aktivatsiya va neytrallash sharoitlari.



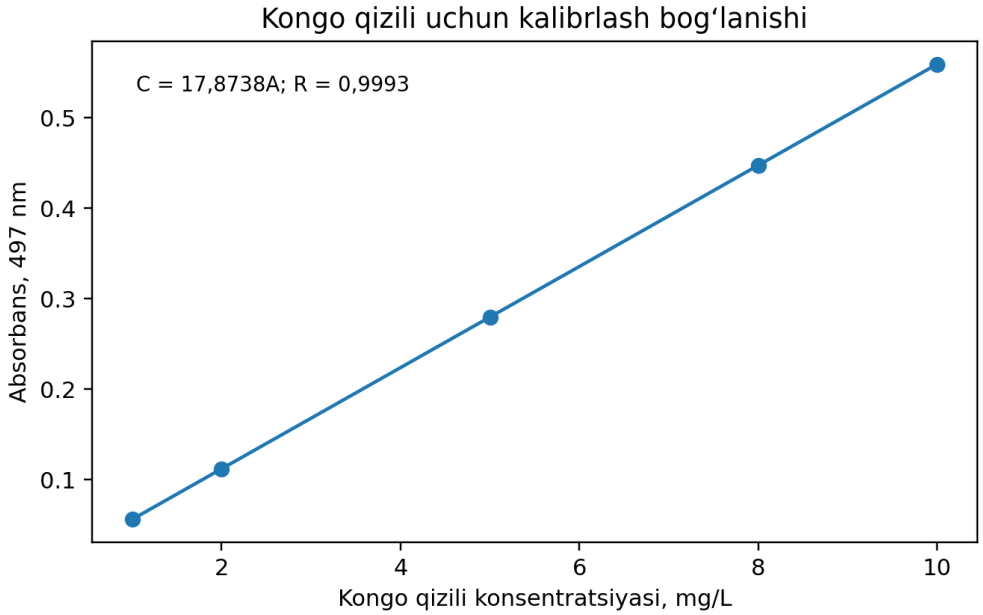
4-rasm. KOH sarfi va yuvish-quritishdan keyingi yakuniy mahsulot massasining qiyosiy ko‘rinishi.

1:1, 1:2 va 1:3 namunalarida yuvish-quritishdan keyingi qayd etilgan massa boshlang‘ich 12,5 g karbonizat massasidan yuqori bo‘lganligi sababli bu qiymatlar sof uglerod chiqimi sifatida emas, laboratoriya bo‘yicha qayta tiklangan yakuniy mahsulot

massasi sifatida berildi. Mineral qoldiq va kul ulushini alohida instrumental yoki gravimetrik baholash kelgusi ishlar uchun muhimdir.

Kongo qizili adsorbsiyasini aniqlash

Kongo qizili 1, 2, 5, 8 va 10 mg/L konsentratsiyalarda tayyorlandi. Har bir tajribada 50 mL eritmaga 0,05 g adsorbent qo‘shildi va 24 soat saqlandi. Absorbsiyasi 497 nm da o‘lchandi. Standard Curve rejimida C=17,8738A va R=0,9993 bog‘lanishi qayd etildi. 5-rasm ushbu tenglama asosidagi konsentratsiya-absorbans bog‘lanishini ko‘rsatadi.



5-rasm. Kongo qizili uchun 497 nm dagi kalibrlash bog‘lanishining grafik ifodasi.

Adsorbsion samaradorlik $\eta=(C_0-C_e)/C_0\times100$ formulasi, adsorbsiya sig‘imi esa $q_e=(C_0-C_e)V/m$ formulasi bilan hisoblandi. Ushbu tajribada V=0,050 L va m=0,050 g bo‘lgani uchun V/m=1 L/g; shu sababli q_e ning son qiymati C_0-C_e farqiga teng bo‘ladi.

Benzol bug‘i adsorbsiyasini aniqlash

Benzol bug‘i adsorbsiyasi eksikatorlarda baholandi. To‘rtta eksikatorning hajmlari bir xil bo‘lmagani sababli natijalar klassik parallel takrorlar sifatida emas, tavsifiy qiyoslash sifatida talqin qilindi. Har bir namuna uchun to‘rtta qayd etilgan qiymatdan arifmetik o‘rtacha va diapazon hisoblandi. 500 °C karbonizat aktivatsiyasiz nazorat materiali sifatida qiyoslashga kiritildi.

Tahlil va natijalar

Karbonizatsiya va boshlang‘ich fizik ko‘rsatkichlar

Quritish natijasida poya massasining 45,14% kamayishi xomashyo tarkibidagi namlik va quritish sharoitida ajraladigan uchuvchan komponentlarning chiqishi bilan bog‘liq. Keyingi karbonizatsiyada 429,99 g quruq poyadan 77,05 g karbonizat olinishi 17,92% unumga mos keladi. Lignosellyulozali biomassaning taxminan 500 °C atrofidagi termik parchalanishida gemisellyuloza va sellyulozaning katta qismi, shuningdek ligninning bir qismi parchalanib, gaz va kondensatlanuvchi mahsulotlar hosil qilishi sababli uglerodli qoldiq ulushi boshlang‘ich massadan sezilarli past bo‘lishi kutiladi [1,3,4].

Jiyda poyasining kul miqdori 0,845%, 500 °C karbonizatning kul miqdori esa 2,83% deb aniqlangan. Karbonizatsiyadan keyin kul ulushining nisbiy ortishi organik moddalarning uchuvchan mahsulotlarga aylanishi fonida mineral komponentlarning qattiq qoldiqda

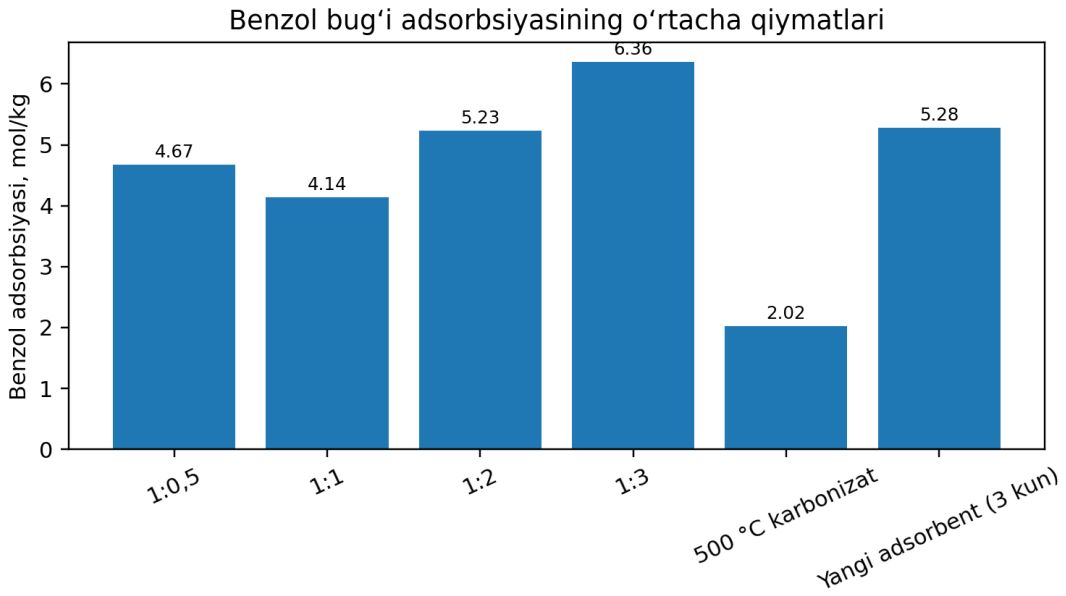
konsentratsiyalanishi bilan izohlanishi mumkin. 500 °C karbonizat namligi 118 °C da quritish orqali 4,95% deb qayd etilgan; ushbu rejim va hisoblash protokoli yakuniy nashrdan oldin laboratoriya jurnalidagi original metodika bilan moslashtirilishi lozim.

Benzol bug‘i adsorbsiyasi va aktivatsiya darajasining ta’siri

Namuna	Natijalar, mol/kg	O‘rtacha, mol/kg	Diapazon, mol/kg
1:0,5	4,84; 4,88; 4,48; 4,47	4,67	4,47-4,88
1:1	4,30; 4,40; 4,00; 3,87	4,14	3,87-4,40
1:2	5,00; 5,38; 5,37; 5,16	5,23	5,00-5,38
1:3	6,00; 6,80; 7,00; 5,65	6,36	5,65-7,00
500 °C karbonizat	1,83; 2,02; 2,28; 1,96	2,02	1,83-2,28
Yangi adsorbent (3 kun)	5,24; 5,17; 5,53; 5,17	5,28	5,17-5,53

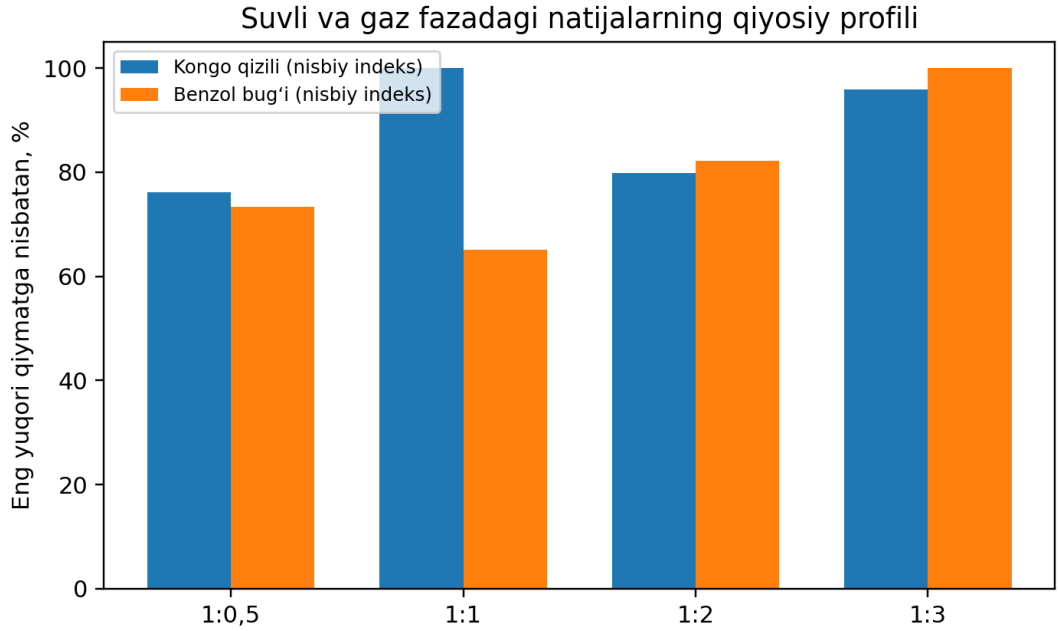
3-jadval. Benzol bug‘i adsorbsiyasi natijalarining tavsifiy qiyoslanishi.

Benzol bug‘i bo‘yicha aktivlangan namunalar orasida 1:3 nisbat 6,36 mol/kg o‘rtacha qiymat bilan eng yuqori natijani ko‘rsatdi. Keyingi o‘rinlarda 1:2 - 5,23 mol/kg, 1:0,5 - 4,67 mol/kg va 1:1 - 4,14 mol/kg qayd etildi. Aktivlanmagan 500 °C karbonizatning o‘rtacha qiymati 2,02 mol/kg bo‘lib, 1:3 namunaning o‘rtacha qiymati undan taxminan 3,15 marta yuqori. Bu qiyoslash KOH bilan keyingi yuqori haroratli ishlov benzol bug‘i adsorbsiyasi uchun foydali bo‘lganini ko‘rsatadi.



9-rasm. Benzol bug‘i adsorbsiyasining o‘rtacha qiymatlari.

Kongo qizili va benzol natijalari bir xil optimal nisbatni bermadi. Kongo qizili uchun 1:1, benzol uchun esa 1:3 eng yuqori o‘rtacha ko‘rsatkichni berdi. Bunday farq adsorbatlarning molekulyar o‘lchami va tabiatiga, g‘ovaklarning o‘lcham taqsimotiga hamda sirt funksional guruhlariga bog‘liq bo‘lishi mumkin [2,3]. Hozirgi ma’lumotlar BET, SEM yoki FTIR bilan tasdiqlanmagani sababli ushbu izoh ehtimoliy mexanistik talqin sifatida beriladi, qat’iy strukturaviy xulosa sifatida emas.



10-rasm. To‘rtta aktivlangan namunaning suvli va gaz fazadagi nisbiy adsorbsion profili (har bir ko‘rsatkich o‘z maksimumiga nisbatan normallashtirilgan).

Natijalarning statistik va metodik bahosi

Kongo qizili bo‘yicha mavjud qiymatlar hozircha har bir sharoit uchun alohida o‘lchov sifatida qayd etilgan. Shu sababli standart og‘ish, ishonch oralig‘i yoki ANOVA kabi statistik ko‘rsatkichlarni hisoblash uchun yetarli mustaqil parallel takrorlar mavjud emas. Benzol tajribalarida esa to‘rtta qiymat turli hajmdagi eksikatorlardan olingan; ularni bir xil sharoitdagi parallel takror deb qabul qilish metodik jihatdan to‘g‘ri bo‘lmaydi. Shu sababli maqolada benzol natijalari o‘rtacha va diapazon orqali tavsifiy tarzda qiyoslandi.

Keyingi bosqichda har bir KOH nisbati va har bir adsorbat uchun bir xil sharoitda kamida uchta mustaqil parallel tajriba o‘tkazish tavsiya etiladi. Bu o‘rtacha ± SD ko‘rinishida natija berish, farqlarning statistik ahamiyatini tekshirish va optimal nisbat haqidagi xulosani mustahkamlash imkonini beradi. Kongo qizili uchun pH, kontakt vaqti, adsorbent dozasi va boshlang‘ich konsentratsiya ta’sirini tizimli o‘rganish, keyin Langmuir/Freundlich izotermalari hamda mos kinetik modellarni baholash maqsadga muvofiq [7].

Ilmiy yangilik va amaliy ahamiyat

Tadqiqotning ilmiy yangiligi jiyda poyasi chiqindisidan olingan bir xil karbonizat asosida KOH ning to‘rtta massa nisbatini qiyoslash va hosil bo‘lgan materiallarning ikki turdagi adsorbat - suvli fazadagi Kongo qizili hamda gaz fazadagi benzol bug‘i - bo‘yicha xossalarini bir ish doirasida baholashdan iborat. Adabiyotlarda E. angustifolia ning meva va urug‘ qismlaridan sorbent olish bo‘yicha ishlar mavjud [8,9,12], mazkur ish esa poya chiqindisini adsorbent prekursoriga aylantirishga qaratilgan.

Amaliy jihatdan natijalar mahalliy daraxt chiqindisini qiymatli uglerodli materialga aylantirish imkoniyatini ko‘rsatadi. Biroq ushbu bosqichda real sanoat oqova suvi bilan tajriba o‘tkazilmagan; shuning uchun olingan natijalar materialning istiqbolini ko‘rsatadi, ammo sanoat miqyosidagi tozalash samaradorligini bevosita isbotlamaydi. Real oqova suv matritsalarida raqobatdosh ionlar, pH, organik aralashmalar va regeneratsiya sikllari ta’sirini o‘rganish keyingi amaliy bosqich bo‘lishi kerak.

XULOSA VA TAKLIFLAR

Jiyda (Elaeagnus angustifolia L.) poyasi chiqindisidan karbonizatsiya va KOH bilan kimyoviy aktivatsiya orqali adsorbsion xossalarga ega uglerodli materiallar olindi. 2558,28 g boshlang‘ich poya quritilgandan keyin 1403,54 g bo‘lib, massa saqlanishi 54,86% ni tashkil etdi. 429,99 g quruq poyaning 505 °C da 2 soat karbonizatsiyasidan 77,05 g karbonizat olindi va karbonizat unumi 17,92% bo‘ldi.

KOH bilan 1:0,5; 1:1; 1:2 va 1:3 massa nisbatlarida aktivatsiya qilingan namunalar Kongo qizili va benzol bug‘i bo‘yicha turlicha adsorbsion profil ko‘rsatdi. Kongo qizili uchun 1:1 namuna besh konsentratsiya bo‘yicha o‘rtacha 82,19% bilan eng yuqori adsorbsion samaradorlikni ko‘rsatdi; 1:3 namuna esa 8 mg/L da 86,12% ga erishdi va 10 mg/L da q_e=8,36 mg/g qiymat berdi. Benzol bug‘i bo‘yicha 1:3 namuna 6,36 mol/kg o‘rtacha qiymat bilan eng yuqori natijani ko‘rsatdi va aktivlanmagan 500 °C karbonizatga nisbatan taxminan 3,15 marta yuqori bo‘ldi.

Natijalar adsorbat turiga qarab optimal KOH nisbati farq qilishini ko‘rsatadi: suvli fazadagi Kongo qizili uchun 1:1, gaz fazadagi benzol uchun esa 1:3 nisbat istiqbolli. Keyingi tadqiqotlarda (1) bir xil sharoitda kamida uchta parallel tajriba; (2) BET sirt maydoni va g‘ovak o‘lchamlari; (3) SEM morfologiyasi; (4) FTIR orqali sirt funksional guruhlari; (5) Kongo qizili uchun pH, kinetika va izoterma tajribalari; (6) real oqova suv namunalari; (7) adsorbentning regeneratsiyasi va qayta foydalanish sikllarini o‘rganish tavsiya etiladi. Bu tahlillar adsorbsion mexanizmni asoslash, optimal aktivatsiya rejimini statistik tasdiqlash va materialning amaliy qo‘llanish chegaralarini belgilashga yordam beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Ioannidou O., Zabaniotou A. Agricultural residues as precursors for activated carbon production - A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2007;11(9):1966-2005. https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.03.013

2. Molina-Sabio M., Rodríguez-Reinoso F. Role of chemical activation in the development of carbon porosity. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2004;241:15-25.

3. Marsh H., Rodríguez-Reinoso F. Activated Carbon. Elsevier; 2006.

4. Cagnon B., Py X., Guillot A., Stoeckli F. Contributions of hemicellulose, cellulose and lignin to the formation of activated carbons from lignocellulosic precursors. Bioresource Technology. 2009;100:292-298.

5. Tan I.A.W., Ahmad A.L., Hameed B.H. Optimization of preparation conditions for activated carbons from coconut husk using response surface methodology. Chemical Engineering Journal. 2008;137:462-470.

6. Babel S., Kurniawan T.A. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: a review. Journal of Hazardous Materials. 2003;97:219-243.

7. Crini G., Badot P.-M. Sorption processes and isotherms. Progress in Polymer Science. 2008;33:399-447.

8. Characteristics and comparison of activated carbons prepared from oleaster (Elaeagnus angustifolia L.) fruit using KOH and $ZnCl_2$. Fuel. 2020;267:117232. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117232

9. Baytar O., Ceyhan A.A., Şahin Ö. Production of activated carbon from Elaeagnus angustifolia seeds using H_3PO_4 activator and methylene blue and malachite green adsorption. International Journal of Phytoremediation. 2021;23(7):693-703. https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1849015

10. Mesoporous activated carbon as a green adsorbent for the removal of heavy metals and Congo red: Characterization, adsorption kinetics, and isotherm studies. Journal of Contaminant Hydrology. 2021;243:103869.

11. Agarwal M., Maheshwari K., Solanki Y.S. Investigation of Dye Effluent Treatment Using Unmodified and Modified Biobased Sorbent and Its Process Economics. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste. 2022;26(1). https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000650

12. Effective and rapid removal of cationic and anionic dyes from aqueous solutions using Elaeagnus angustifolia L. fruits as a biosorbent. Desalination and Water Treatment. 2019;138:257-264. https://doi.org/10.5004/dwt.2019.23347