ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -7

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 7

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

PAVLOVNIYA TOMENTOZA XOMASHYO CHIQINDILARI ASOSIDA FAOLLASHTIRILGAN UGLERODLI SORBENTLARNING STRUKTURAVIY VA MIKROTUZILISH XUSUSIYATLARI

Jumayeva D.J.
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Axrorova R.O.
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Barnoyeva S.B.
O‘zRFA Umumiy va noorganik kimyo instituti
Abduraximov A.X
Toshkent kimyo-texnolgiya instituti
Hamroqulova K.H.
Mirzo Ulug‘bek nomidagi O‘zbekiston Milliy universiteti

Annotatsiya. Mazkur tadqiqotda Pavlovniya Tomentoza daraxti chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning strukturasi, element tarkibi va morfologik xususiyatlari kompleks ravishda o‘rganildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi faollashtirish jarayonlari natijasida shakllangan uglerodli matritsaning morfologiyasi va element tarkibini baholash hamda ularning sorbsion xususiyatlarga ta’sirini aniqlashdan iborat bo‘ldi. Sorbent namunalari Pavlovniya Tomentoza yog‘och chiqindilarini karbonlashtirish va keyingi faollashtirish orqali olindi. Na’munalarning element tarkibi energiya-dispersion rentgen spektroskopiyasi (EDS), morfologik xususiyatlari esa transmission elektron mikroskopiya (TEM) usullari yordamida tadqiq qilindi. EDS tahlillari natijasida sorbent tarkibida uglerodning yuqori ulushi (94–96 at.%) saqlanib qolganligi aniqlandi, bu esa biomassaning yuqori darajada karbonlashganligini tasdiqladi. Shu bilan birga kislorod hamda Mg, Al, Si, K, Ca va Fe kabi mineral elementlarning kam miqdorlarda mavjudligi qayd etildi. TEM tahlillari natijalari faollashtirish jarayoni davomida yuqori dispersli amorf uglerodli matritsa, qatlamsimon uglerodli fragmentlar va nanomiqyosdagi agregatlar shakllanganligini ko‘rsatdi. Morfologik tadqiqotlar uglerodli strukturada nano va submikron darajada rivojlangan tuzilish mavjudligini hamda faollashtirish jarayonining uglerod matritsasi qayta tashkillanishiga olib kelishini tasdiqladi. Element tarkibi va morfologik tahlil natijalarining o‘zaro muvofiqligi sorbentlarda yuqori uglerodli, rivojlangan va barqaror struktura shakllanganligini ko‘rsatdi. Olingan natijalar Pavlovniya Tomentoza chiqindilari yuqori sorbsion xususiyatlarga ega bo‘lgan uglerodli materiallar sintezi uchun istiqbolli xomashyo ekanligini tasdiqladi. Aniqlangan morfologik va strukturaviy xususiyatlar mazkur sorbentlarni suv va gaz muhitlarini tozalash, organik ifloslantiruvchilarni sorbsiya qilish hamda ekologik texnologiyalarda qo‘llash uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Kalit so‘zlar: Pavlovniya Tomentoza, faollashtirilgan uglerodli sorbent, TEM, EDS, morfologiya, element tarkibi, karbonlashish, uglerod matritsasi, sorbsion materiallar.

Аннотация. В данном исследовании проведено комплексное изучение структуры, элементного состава и морфологических характеристик активированных углеродных сорбентов, полученных на основе отходов древесины павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa*). Основной целью работы являлась оценка морфологии и элементного состава углеродной матрицы, сформированной в процессе активации, а также определение их влияния на сорбционные свойства материала. Образцы сорбентов были получены путем карбонизации отходов древесины *Paulownia tomentosa* с последующей активацией. Элементный состав образцов исследовали методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDS), а морфологические особенности — методом просвечивающей электронной микроскопии (TEM). Результаты EDS-анализа показали, что в составе сорбентов сохраняется высокая доля углерода (94–96 ат.%), что подтверждает высокую степень карбонизации биомассы. Одновременно были выявлены небольшие количества кислорода, а также минеральных элементов Mg, Al, Si, K, Ca и Fe. Результаты TEM-исследований показали, что в процессе активации формируются высокодисперсная аморфная углеродная матрица, слоистые углеродные фрагменты и наноразмерные агрегаты. Морфологический анализ подтвердил наличие развитой структуры на нано- и субмикронном уровнях, а также свидетельствовал о существенной реорганизации углеродной матрицы в ходе активации. Согласованность результатов элементного и морфологического анализа указывает на формирование сорбентов с высоким содержанием углерода, развитой пористой структурой и высокой стабильностью. Полученные результаты подтверждают, что отходы древесины *Paulownia tomentosa* являются перспективным сырьем для синтеза углеродных материалов с высокими сорбционными характеристиками. Выявленные морфологические и структурные особенности служат научной основой для применения данных сорбентов при очистке водных и газовых сред, извлечении органических загрязнителей и разработке экологических технологий.

Ключевые слова: *Paulownia tomentosa*, активированный углеродный сорбент, TEM, EDS, морфология, элементный состав, карбонизация, углеродная матрица, сорбционные материалы.

Abstract. This study presents a comprehensive investigation of the structure, elemental composition, and morphological characteristics of activated carbon sorbents produced from *Paulownia tomentosa* wood waste. The main objective was

ISSN 3030-3907

to evaluate the morphology and elemental composition of the carbon matrix formed during the activation process and to determine their influence on the sorption properties of the obtained materials. The sorbent samples were prepared through carbonization of *Paulownia tomentosa* wood waste followed by activation treatment. The elemental composition of the samples was analyzed using Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), while their morphological characteristics were examined by Transmission Electron Microscopy (TEM). EDS analysis revealed a high carbon content (94–96 at.%), confirming the advanced carbonization of the biomass. In addition, small amounts of oxygen and mineral elements such as Mg, Al, Si, K, Ca, and Fe were detected. TEM observations demonstrated that the activation process led to the formation of a highly dispersed amorphous carbon matrix, layered carbon fragments, and nanoscale aggregates. Morphological analysis confirmed the presence of a well-developed nano- and submicron-scale structure and indicated significant reorganization of the carbon matrix during activation. The consistency between the elemental and morphological analyses suggests the formation of carbon-rich sorbents with a developed and stable structure. The obtained results confirm that *Paulownia tomentosa* wood waste is a promising raw material for the synthesis of carbon-based sorbents with high adsorption performance. The identified morphological and structural features provide a scientific basis for the application of these sorbents in water and gas purification, removal of organic pollutants, and various environmental technologies.

Keywords: *Paulownia tomentosa*, activated carbon sorbent, TEM, EDS, morphology, elemental composition, carbonization, carbon matrix, sorption materials.

KIRISH.

So‘nggi yillarda atrof-muhit muhofazasi, sanoat chiqindilarini qayta ishlash va resurs tejamkor texnologiyalarni joriy etish sohalarida biomassa asosida yuqori samarali sorbsion materiallar ishlab chiqishga bo‘lgan qiziqish keskin ortib bormoqda. Ayniqsa, qishloq xo‘jaligi va o‘rmonchilik chiqindilaridan yuqori qo‘shimcha qiymatga ega bo‘lgan uglerodli sorbentlar olish ekologik va iqtisodiy jihatdan muhim yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Bunday materiallar suv va gaz muhitlarini tozalash, organik hamda noorganik ifloslantiruvchilarni ajratish, energiya saqlash tizimlari va turli adsorbsion texnologiyalarda keng qo‘llanilmoqda.

Faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning ekspluatatsion xususiyatlari ko‘p jihatdan ularning strukturasi, morfologiyasi va element tarkibi bilan belgilanadi. Sorbentlarning yuqori sorbsion faolligi, birinchi navbatda, uglerod matritsasining shakllanish darajasi, g‘ovakli tuzilishning rivojlanganligi va mineral

ISSN 3030-3907

komponentlarning taqsimlanishi bilan bog‘liq. Shu sababli yangi sorbsion materiallarni yaratishda ularning strukturasini chuqur o‘rganish muhim ahamiyat kasb etadi.

Biomassa asosidagi uglerodli materiallarning morfologik xususiyatlarini tadqiq qilish bo‘yicha ko‘plab ilmiy ishlar amalga oshirilgan. Mualliflar [1-4] tomonidan faollashtirilgan uglerodlarning strukturasi va morfologiyasi ularning sorbsion xususiyatlarini shakllantiruvchi asosiy omillardan biri ekanligi ko‘rsatilgan. [2-3] tadqiqotlarida uglerodli sorbentlarning yuqori sorbsion faolligi rivojlangan uglerod matritsasi hamda nano va mikroo‘lchamli struktura elementlari bilan bog‘liqligi ta’kidlangan. [4-9] va [3] tadqiqotchilar tomonidan biomassa asosida sintez qilingan sorbentlarning morfologik va element tarkibi xususiyatlari ularning adsorbsion ko‘rsatkichlariga bevosita ta’sir qilishi qayd etilgan.

Pavlovniya Tomentoza daraxti yuqori o‘sish tezligi, katta biomassa hosil qilishi va qayta tiklanuvchi xomashyo sifatida alohida ahamiyatga ega. Ushbu daraxt chiqindilari tarkibidagi sellyuloza, gemitsellyuloza va ligninning yuqori ulushi ularni uglerodli sorbentlar olish uchun istiqbolli xomashyo sifatida baholash imkonini beradi. Biroq Pavlovniya chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning element tarkibi va morfologik xususiyatlari bo‘yicha ma’lumotlar hozircha cheklangan.

Faollashtirilgan uglerodli materiallarning morfologik xususiyatlarini baholashda transmission elektron mikroskopiya (TEM) muhim tahlil usullaridan biri hisoblanadi. Ushbu usul materialning nano va submikron darajadagi tuzilishini o‘rganish imkonini beradi. Shu bilan bir vaqtda energiya-dispersion spektroskopiya (EDS) tahlillari element tarkibini aniqlash, mineral komponentlarni baholash va karbonlashish darajasini o‘rganishda samarali usul hisoblanadi. TEM va EDS usullarini kompleks qo‘llash sorbentlarning strukturasi va funksional xususiyatlari o‘rtasidagi bog‘liqlikni aniqlash imkonini yaratadi.

Shu munosabat bilan mazkur tadqiqotning maqsadi Pavlovniya Tomentoza daraxti chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning element tarkibi va morfologik xususiyatlarini EDS va TEM tahlillari yordamida tadqiq qilish, faollashtirish jarayoni natijasida shakllangan uglerod matritsasining xususiyatlarini baholash hamda ularning sorbsion material sifatida qo‘llanilish imkoniyatlarini asoslashdan iborat.

TADQIQOT OB’EKTI VA USULLARI. Tadqiqot ob’ekti sifatida Pavlovniya Tomentoza daraxtining yog‘och chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlar tanlandi. Pavlovniya biomassasi mahalliy qayta tiklanuvchi xomashyo manbai hisoblanib, tarkibida sellyuloza, gemitsellyuloza va lignin miqdorining yuqoriligi bilan ajralib turadi. Ushbu

ISSN 3030-3907

xususiyatlar uni yuqori g‘ovakli uglerodli materiallar olish uchun istiqbolli xomashyo sifatida baholash imkonini beradi.

Dastlab Pavlovniya yog‘och chiqindilari maydalandi, quritildi va belgilangan texnologik rejimlar asosida piroliz jarayoniga yuborildi. Karbonlashtirish jarayoni kislorodsiz muhitda amalga oshirilib, keyingi bosqichda namunalar faollashtirildi. Faollashtirish jarayoni natijasida olingan uglerodli materiallar keyingi fizik-kimyoviy tadqiqotlar uchun namuna sifatida tanlab olindi.

Faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning morfologik va element tarkibi xususiyatlarini baholash maqsadida transmission elektron mikroskopiya (TEM) va energiya-dispersion rentgen spektroskopiyasi (EDS) usullaridan foydalanildi. Transmission elektron mikroskopiya tahlillari sorbentlarning morfologiyasi, zarracha shakli, strukturasi va nanomiqyosdagi tuzilishini baholash maqsadida amalga oshirildi. Tahlil uchun adsorbent namunalari ultratovush yordamida disperslanib, maxsus mis setkalarga joylashtirildi va quritilgandan so‘ng mikroskopik tahlilga tayyorlandi. TEM usuli yordamida uglerodli matritsaning morfologik tuzilishi, agregatlanish darajasi va struktura elementlarining o‘zaro joylashishi o‘rganildi.

Element tarkibini aniqlash maqsadida energiya-dispersion rentgen spektroskopiyasi (EDS) tahlillari o‘tkazildi. Ushbu usul yordamida sorbent namunalari tarkibidagi asosiy va iz miqdordagi elementlar aniqlandi. Tahlil natijalari asosida uglerod, kislorod va mineral komponentlarning nisbiy ulushlari hisoblandi hamda faollashtirish jarayonining element tarkibiga ta’siri baholandi.

Olingan TEM va EDS natijalari o‘zaro qiyosiy tahlil qilinib, sorbentlarning morfologik xususiyatlari hamda element tarkibi o‘rtasidagi bog‘liqlik baholandi. Bu esa Pavlovniya Tomentoza chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning strukturasi va funksional xususiyatlarini kompleks tavsiflash imkonini berdi.

TADQIQOT TAHLILI VA MUHOKAMA. Pavlovniya Tomentoza chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning element tarkibi va morfologik xususiyatlarini baholash maqsadida EDS hamda TEM tahlillari amalga oshirildi. Ushbu tahlillar faollashtirish jarayoni davomida uglerod matritsasida sodir bo‘lgan strukturaviy va kimyoviy o‘zgarishlarni baholash imkonini berdi. Sorbsion materialning ichki tuzilmasini atom va nanomasshtabda o‘rganish uchun yuqori energiyali elektron nurini namunadan o‘tkazib tasvir olishga asoslangan usul t**ransmission elektron mikroskopiyasi** TEM hamda elektron mikroskop bilan birgalikda ishlaydigan, elektron nur ta’sirida hosil bo‘lgan xarakteristik rentgen nurlanishining energiyasini o‘lchashga asoslangan moddalarning element tarkibini aniqlovchi analitik usul **energiya-dispersion rentgen spektroskopiyasi EDS** natijalari olindi. **Tomentoza xomashyosini**

ISSN 3030-3907

faollashtirilgandan keyingi olingan uglerodli adsorbentining TEM va EDS tahlil natijalari 1-rasmda keltirilgan bo‘lib, bu ma’lumotlar adsorbentning mikrostrukturasi, nano darajadagi zarracha shakli, sirtning gomogenligi hamda element tarkibini kompleks baholash uchun juda muhim hisoblanadi. Faollashtirilgan sorbsion materiallarning morfologiyasi va ichki tuzilishini baholash maqsadida transmission elektron mikroskopiya (TEM) tahlillari o‘tkazildi. Olingan mikrofotosuratlar faollashtirish jarayoni natijasida Pavlovniya biomassasining dastlabki anatomik tuzilishi chuqur o‘zgarganligini va yangi uglerodli struktura shakllanganligini ko‘rsatdi.

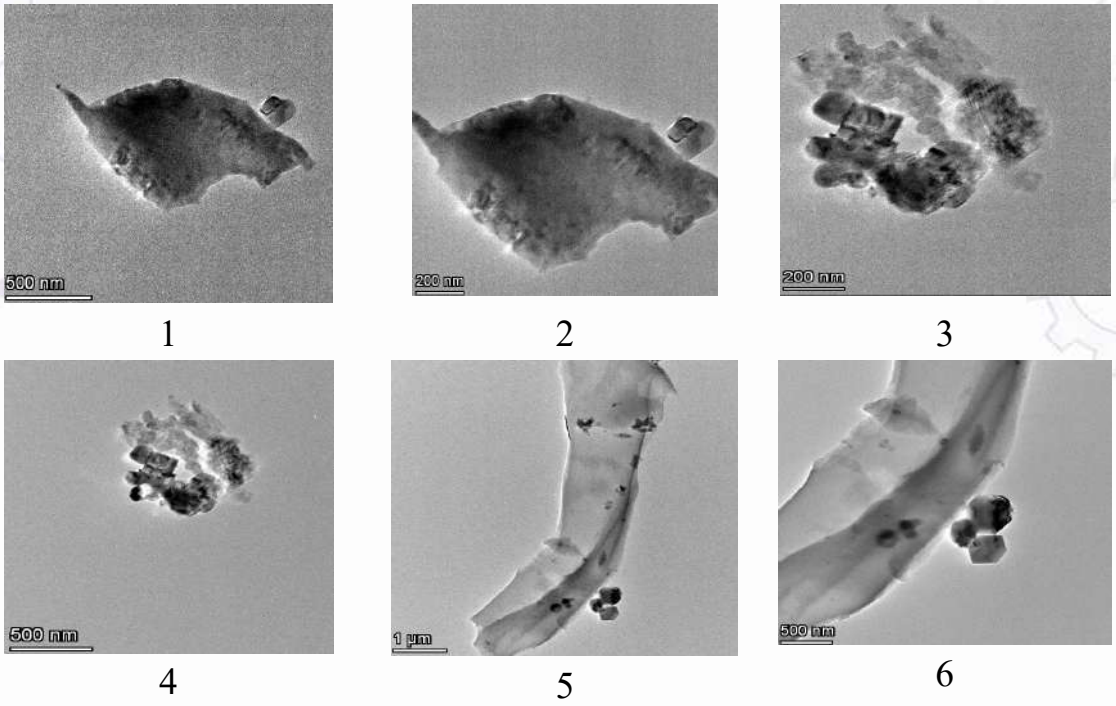
Tasvirlar tahlilidan ma’lum bo‘lishicha, namunalarda asosan amorf uglerodli matritsa shakllangan bo‘lib, uning ichida turli darajadagi nanoo‘lchamli agregatlar joylashgan. Biomassaning piroliz jarayoni davomida sellyuloza va gemitsellyulozaning parchalanishi natijasida uglerodli karkas hosil bo‘lgan, keyingi faollashtirish bosqichida esa mazkur karkasda g‘ovakli struktura rivojlangan. 1-rasmning 1 va 2-ko‘rinishlarda kuzatilgan plastinkasimon sohalar yuqori harorat ta’sirida qayta tashkillangan uglerodli fazalarga tegishli bo‘lib, ularning tashqi chegaralari aniq ko‘rinishi materialning ma’lum darajada strukturalanganligini ko‘rsatadi. Bu holat uglerod atomlarining lokal tartiblanishi boshlanganligidan dalolat beradi, biroq struktura to‘liq grafitlashmagan. 1-rasmning 3 va 4-ko‘rinishlarida kuzatilgan nanoo‘lchamli agregatlar uglerodli matritsaning yuqori dispersli sohalarini tashkil etadi. Bunday struktura sorbentning tashqi sirtini rivojlantirishda muhim ahamiyatga ega bo‘lib, adsorbat molekulalarining lokalizatsiyalanishi uchun qo‘shimcha aktiv sohalar hosil qiladi. Natijalar keltirilgan 5 va 6-ko‘rinishlarda kuzatilgan uzunchoq qatlamsimon morfologiya faollashtirish jarayoni natijasida hosil bo‘lgan uglerodli skeletning saqlanib qolganligini ko‘rsatadi. Qatlamlar orasidagi nisbatan past zichlikli sohalar g‘ovakli struktura shakllanganligini bildiradi. Mazkur morfologiya sorbentning yuqori sorbsion sig‘imi bilan bevosita bog‘liq bo‘lishi mumkin.

TEM tasvirlarida kuzatilgan yuqori kontrastli nuqtasimon zarrachalar mineral fazalar yoki kul qoldiqlari bo‘lishi ehtimoldan xoli emas. Bu xulosa EDS tahlillarida Mg, Al, Si, K, Ca va Fe elementlarining aniqlanganligi bilan muvofiq keladi. Demak, mineral komponentlarning ma’lum qismi karbonlashish jarayonidan keyin ham saqlanib qolgan.

TEM natijalari EDS tahlillari bilan birgalikda baholanganda, sorbentlarda yuqori uglerodli amorf matritsa shakllanganligi, mineral komponentlarning kam miqdorda saqlanganligi hamda rivojlangan nano va submikron darajadagi struktura hosil bo‘lganligi aniqlandi. Bunday morfologiya yuqori solishtirma sirt maydoni va rivojlangan sorbsion markazlar shakllanishi uchun qulay sharoit yaratadi.

ISSN 3030-3907

Shunday qilib, TEM tahlillari Pavlovniya asosida olingan sorbsion materiallarda yuqori darajada disperslangan uglerodli struktura shakllanganligini ko‘rsatdi. Hosil bo‘lgan morfologiya sorbentlarning yuqori sorbsion xususiyatlarini ta’minlovchi asosiy strukturaviy omillardan biri hisoblanadi.



1 2 3

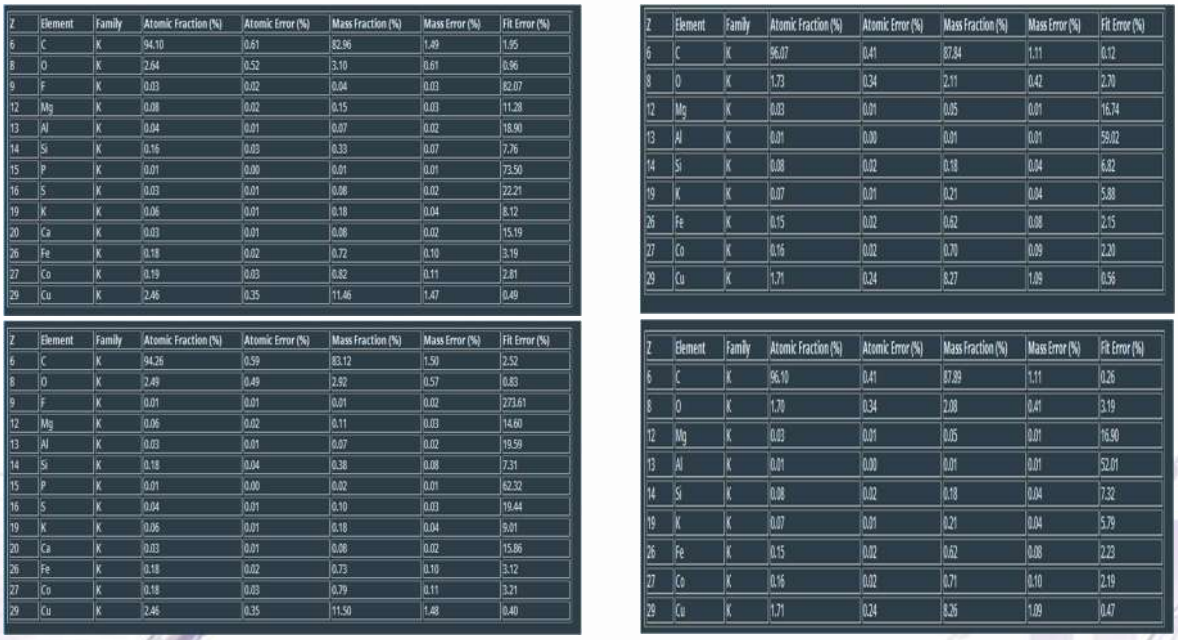
4 5 6

1-rasm Faollashtirilgan namunalarning TEM hamda EDS natijalari.

Faollashtirish jarayonidan keyingi TEM tasvirlari namunalarning mikrostrukturasida aniq o‘zgarishlarni namoyon etgan, ya’ni tasvirlar 200-1000 nm darajada olingan bo‘lib, zarrachalarning shakli notekis va yarim amorf tuzilishga egaligi ko‘zga tashlandi. Bu holat harorat ta’siri orqali faollash jarayonida organik komponentlarning termik parchalanishi natijasida uglerod matritsasi shakllanganini ko‘rsatadi. Tomentoza xomashyosini faollashtirilgandan keyingi olingan uglerodli adsorbentining TEM va EDS tahlili ma’lumotlari adsorbentning mikrostrukturasi, nano darajadagi zarracha shakli, sirtning gomogenligi hamda element tarkibini kompleks baholash uchun juda muhim hisoblanadi. Faollashtirish jarayonidan keyingi TEM tasvirlari namunalarning mikrostrukturasida aniq o‘zgarishlarni namoyon etgan, ya’ni tasvirlar 200-1000 nm darajada olingan bo‘lib, zarrachalarning shakli notekis va yarim amorf tuzilishga egaligi ko‘zga tashlandi. Bu holat harorat ta’siri orqali faollash jarayonida organik komponentlarning termik parchalanishi natijasida uglerod matritsasi shakllanganini ko‘rsatadi. TEM tasvirlaridagi yarim shaffof fazalari adsorbent sirtidagi g‘ovakli tuzilishni ifodalaydi. Zarrachalarning o‘lchami asosan 100-600 nm oralig‘ida bo‘lib, ayrim joylarda nano darajadagi agregatlashgan strukturalar ham kuzatiladi. Bu holat faollashtirish jarayonida uglerod matritsasining qayta tashkillanishi va grafitsimon qatlamlarning qisman borishi

ISSN 3030-3907

bilan izohlanadi. TEM tahlilidan ko‘rinadiki, 1- rasmdagi 4 va 5 ko‘rinishlarda faollashtirish vaqtida metall oksid va silikat ionlarining lokal kirishishi bilan bog‘liq kristallsimon ko‘rinishlar kuzatiladi, bu natijalar EDS tahlili bilan ham tasdiqlanganligi mazkur namunalarning jadvaldagi natijalariga ko‘ra, namunaning tarkibida uglerod - C asosiy element bo‘lib, uning atom ulushi 92,1-92,6%, massa ulushi esa 81-81,2% atrofida bo‘lishini ko‘rsatgan. Bu yuqori uglerod konsentratsiyasi adsorbentning faollik potensiali yuqorilini belgilaydi. Shu bilan birga kislorod-O miqdori 4,0-4,3% bo‘lib, bu sirtda kislorodli funksional guruhlar, ms.: gidroksil, karbonil, efir, lakton va karbon kislotali birikmalarning mavjudligini ko‘rsatadi. Qolgan elementlar, masalan, Si, Al, Ca, Fe, Cu, Co, Zn juda kichik ulushlarda taxminan <1% miqdorda aniqlangan bo‘lib, ular faollashtirish jarayonida hosil bo‘lgan minerallar yoki sirt modifikatorlari sifatida izohlanadi. Bundan tashqari Cu - 2.0–2.1% va Ca - 0.7% miqdordagi elementlarining mavjudligi faollshatirish jarayonida organo-metal komplekslar parchalanishining hosilalari hisoblanadi. Umuman olganda tahlil natijalari shundan dalolat beradiki, Pavlovniya Tomentoza xomashesini faollashtirishdan keyingi uglerod strukturasida amorf–grafitsimon gibrid fazalar hosil bo‘lgan, o‘rtacha g‘ovak diametrlari mezog‘ovakli diapazonda o‘lchami 2-50 nm orasida shakllangan, bundan tashqari funksional guruhlar fizikaviy sorbsiya bilan birga kimyoviy sorbsiya jarayonlarini ham ta’minlashi mumkunligi to‘g‘risidagi muhim xulosalarni beradi. Bu xususiyatlar uglerod adsorbentining oltingugurt (IV) oksidi, vodorod sulfidi va organik bug‘larni yutib olish qobiliyatini oshiradi.



Z	Element	Family	Atomic Fraction (%)	Atomic Error (%)	Mass Fraction (%)	Mass Error (%)	Fit Error (%)
6	C	K	94.10	0.61	82.96	1.49	1.95
8	O	K	2.64	0.52	3.10	0.61	0.96
9	F	K	0.03	0.02	0.04	0.03	82.07
12	Mg	K	0.08	0.02	0.15	0.03	11.28
13	Al	K	0.04	0.01	0.07	0.02	18.90
14	Si	K	0.16	0.03	0.33	0.07	7.76
15	P	K	0.01	0.00	0.01	0.01	73.50
16	S	K	0.03	0.01	0.08	0.02	22.21
19	K	K	0.06	0.01	0.18	0.04	8.12
20	Ca	K	0.03	0.01	0.08	0.02	15.19
26	Fe	K	0.18	0.02	0.72	0.10	3.19
27	Co	K	0.19	0.03	0.82	0.11	2.81
29	Cu	K	2.46	0.35	11.46	1.47	0.49

Z	Element	Family	Atomic Fraction (%)	Atomic Error (%)	Mass Fraction (%)	Mass Error (%)	Fit Error (%)
6	C	K	96.07	0.41	87.84	1.11	0.12
8	O	K	1.73	0.34	2.11	0.42	2.70
12	Mg	K	0.03	0.01	0.05	0.01	16.74
13	Al	K	0.01	0.00	0.01	0.01	59.02
14	Si	K	0.08	0.02	0.18	0.04	6.82
19	K	K	0.07	0.01	0.21	0.04	5.88
26	Fe	K	0.15	0.02	0.62	0.08	2.15
27	Co	K	0.16	0.02	0.70	0.09	2.20
29	Cu	K	1.71	0.24	8.27	1.09	0.56

Z	Element	Family	Atomic Fraction (%)	Atomic Error (%)	Mass Fraction (%)	Mass Error (%)	Fit Error (%)
6	C	K	94.26	0.59	83.12	1.50	2.52
8	O	K	2.49	0.49	2.92	0.57	0.83
9	F	K	0.01	0.01	0.01	0.02	273.61
12	Mg	K	0.06	0.02	0.11	0.03	14.60
13	Al	K	0.03	0.01	0.07	0.02	19.59
14	Si	K	0.18	0.04	0.38	0.08	7.31
15	P	K	0.01	0.00	0.02	0.01	62.32
16	S	K	0.04	0.01	0.10	0.03	19.44
19	K	K	0.06	0.01	0.18	0.04	9.01
20	Ca	K	0.03	0.01	0.08	0.02	15.86
26	Fe	K	0.18	0.02	0.73	0.10	3.12
27	Co	K	0.18	0.03	0.79	0.11	3.21
29	Cu	K	2.46	0.35	11.50	1.48	0.40

Z	Element	Family	Atomic Fraction (%)	Atomic Error (%)	Mass Fraction (%)	Mass Error (%)	Fit Error (%)
6	C	K	96.10	0.41	87.89	1.11	0.26
8	O	K	1.70	0.34	2.08	0.41	3.19
12	Mg	K	0.03	0.01	0.05	0.01	16.90
13	Al	K	0.01	0.00	0.01	0.01	52.01
14	Si	K	0.08	0.02	0.18	0.04	7.32
19	K	K	0.07	0.01	0.21	0.04	5.79
26	Fe	K	0.15	0.02	0.62	0.08	2.23
27	Co	K	0.16	0.02	0.71	0.10	2.19
29	Cu	K	1.71	0.24	8.26	1.09	0.47

5-rasm. Sorbsion material namunularining EDS natijalari.

Tadqiqot jarayoni tahlilida TEM va EDS natijalari birgalikda tahlil qilinganda, Pavlovniya Tomentoza biomassasi asosida olingan uglerod adsorbenti strukturasi jadal grafitlanishga moyil, faol sirt energiyasi yuqori va mezag‘ovak

ISSN 3030-3907

tuzilishli material ekanligi aniqlandi. Bu esa uning ekologik filtrlar, gaz tozalash modullari va sanoat chiqindilarini adsorbsiya yo‘li bilan bartaraf etish tizimlarida samarali qo‘llash imkonini beruvchi ilmiy asos bo‘lib xizmat qiladi. Tomentoza xomashesini faollashtirish jarayonidan keyingi namuna uglerod adsorbentining morfologik va element tarkibiy xususiyatlari usullari yordamida tadqiq etilgan natijalar bo‘yicha TEM tasvirlarida aniq kuzatilgan noan’anaviy geometriyali va notekis konturli zarrachalar, piroliz va keyingi faollashtirish jarayonlari paytida biopolimer matritsaning - lignin, gemitsellyuloza va sellyulozaning termik destruksiyaga uchraganini tasdiqlaydi. Zarrachalarning o‘lchami asosan 100-600 nm oralig‘ida bo‘lib, ayrim sohalarda ularning nano darajada agregatlanishi va kristal shakllanishi qayd etildi [10-12]. Bu holat faollashtirish jarayonida uglerod skeletining qisman grafitlashuvi va turli strukturali g‘ovaklar, ya’ni mikro- va mezo g‘ovak strukturalarni hosil bo‘lishi bilan izohlanadi. TEM tasvirlarining optik zichligidagi farqlar adsorbent sirtidagi g‘ovaklilik va tuzilishning geterogenligini ifodalaydi. Sirtdagi yorug‘lik-soya kontrasti uglerod qatlamlarining turli darajada yoyilganligini va qiyshiq grafen-monokristall tuzilmalarining mavjudligini ko‘rsatadi. Ayrim mikro darajadagi tasvir sohalarda masalan, 4-6-xolatlarda yarim kristallsimon sohalarning kuzatilishi, bu hodisa faollashtirish jarayonida xomashyo tarkibidagi mineral izotoplar - Si, Ca, Fe, Cu kabilarning lokal kirishishi va ularning uglerod matritsasi bilan interkalyatsiyasidan dalolat beradi. Bu xil fazalar uglerod-metall oksid kompozitining mahalliy hosil bo‘lishidan kelib chiqqan bo‘lib, adsorbentning katalitik faolligini ham kuchaytiradi. Bundan tashqari, TEM tasvirlaridagi 1 mkm atrofidagi strukturalar, faollashtirish jarayonida suv bug‘ining yoki MK energiyasining ta’sirida hosil bo‘lgan kanalsimon mezog‘ovaklar bilan izohlanadi [13-14]. Bu g‘ovaklar gaz diffuziyasi va ion almashinuv jarayonlarining samaradorligini keskin oshiradi.

EDS natijalariga ko‘ra tadqiq qilingan barcha namunalar tarkibida uglerod elementining ulushi ustunlik qilishi aniqlandi. Namunalarda uglerodning atom ulushi 94–96 % oralig‘ida bo‘lib, bu piroliz va keyingi faollashtirish jarayonlari davomida organik biomassaning yuqori darajada karbonlashganligini ko‘rsatadi. Ma’lumki, sellyuloza, gemitsellyuloza va ligninning yuqori harorat ta’sirida parchalanishi natijasida uchuvchan komponentlar chiqib ketadi va uglerodga boy qattiq faza shakllanadi. Olingan natijalar faollashtirish jarayoni samarali kechganligini va sorbentlarda yuqori uglerodli matritsa hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi.

Kislorod miqdorining nisbatan past qiymatlarda saqlanishi adsorbent sirtida kislorod saqlovchi funksional markazlar mavjudligini ko‘rsatadi. Bu funksional markazlar sorbsiya jarayonida muhim ahamiyatga ega bo‘lib, polyar molekulalarning sorbent sirti bilan o‘zaro ta’sirlashishini ta’minlaydi. Shu bilan

ISSN 3030-3907

birga kislorodning yuqori emas, balki cheklangan miqdorda saqlanishi adsorbent sirtining gidrofob xususiyatlari ham shakllanganligini ko‘rsatadi. Bu esa organik birikmalar, aromatik uglevodorodlar va kam qutbli moddalarni sorbsiya qilish uchun qulay sharoit yaratadi.

EDS tahlillarida Mg, Al, Si, K, Ca va Fe elementlarining iz miqdorlarda mavjudligi ham aniqlandi. Ushbu elementlar Pavlovniya biomassasining tabiiy mineral tarkibi bilan bog‘liq bo‘lib, piroliz jarayonidan keyin ham qisman saqlanib qolgan. Adabiyotlarda qayd etilishicha, kaliy va kalsiy kabi elementlar karbonlashish jarayonida ichki katalitik funksiya bajarib, g‘ovakli struktura shakllanishini jadallashtirishi mumkin. Kremniy va temir birikmalari esa uglerod matritsasining barqarorligini oshirishda ishtirok etadi. Shu nuqtai nazardan mineral komponentlarning to‘liq chiqib ketmasligi ayrim hollarda sorbentning ekspluatatsion xususiyatlariga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkin.

TEM tahlillari adsorbentlarning morfologik xususiyatlarini yuqori aniqlikda baholash imkonini berdi. Tasvirlardan ko‘rinib turibdiki, faollashtirish jarayonidan keyin uglerod matritsasi notekis shakllangan qatlamsimon tuzilishga ega bo‘lib, unda yuqori darajada disperslangan sohalar kuzatiladi. Bu holat biomassa tarkibidagi organik moddalarning termik destruksiyasi va qayta tashkillanishi natijasida shakllangan uglerodli karkas hosil bo‘lganligini ko‘rsatadi.

TEM tasvirlarida kuzatilgan yuqori kontrastli sohalar mineral qoldiqlar yoki yuqori zichlikka ega bo‘lgan uglerodli agregatlar bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin. Shu bilan birga namunalarda amorf uglerod fazasi ustunlik qilishi aniq kuzatiladi. Ayrim sohalarda qisman tartiblangan qatlamsimon tuzilmalarning mavjudligi yuqori haroratda karbonlashish jarayoni natijasida uglerod atomlarining qisman grafitlashish tendensiyasiga ega bo‘lganligini ko‘rsatadi.

TEM natijalari EDS ma’lumotlari bilan birgalikda tahlil qilinganda faollashtirish jarayoni davomida yuqori uglerodli, rivojlangan g‘ovakli va morfologik jihatdan barqaror struktura shakllanganligi aniqlandi. Bunday struktura sorbentlarda yuqori solishtirma sirt maydoni hosil bo‘lishiga, sorbsion markazlar sonining ortishiga va adsorbat molekulalarining ichki strukturaga erkin kirib borishiga imkon yaratadi.

Olingan natijalar Pavlovniya Tomentoza chiqindilari asosida olingan sorbentlarning yuqori sorbsion xususiyatlarga ega bo‘lishini ularning element tarkibi va morfologik tuzilishi bilan izohlash mumkinligini ko‘rsatdi. Yuqori uglerodli matritsa, rivojlangan g‘ovakli struktura va mineral komponentlarning maqbul miqdori mazkur materiallarni suv va gaz muhitlarini tozalash jarayonlarida samarali qo‘llash uchun ilmiy asos yaratadi.

XULOSA.

ISSN 3030-3907

Pavlovniya Tomentoza daraxti chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarning element tarkibi va morfologik xususiyatlari EDS hamda TEM usullari yordamida tadqiq qilinib, faollashtirish jarayonlari natijasida yuqori darajada karbonlashgan uglerodli struktura shakllanishi aniqlandi.

EDS tahlillari sorbent namunalari tarkibida uglerod elementining ustunlik qilishini ko‘rsatdi. Bu holat biomassaning piroliz va faollashtirish jarayonlari davomida samarali karbonlashganligini hamda yuqori uglerodli sorbsion matritsa shakllanganligini tasdiqlaydi. Mineral komponentlarning kam miqdorlarda saqlanib qolishi esa biomassaning tabiiy tarkibi bilan bog‘liq bo‘lib, ularning mavjudligi strukturaning barqarorlashuviga ma’lum darajada ta’sir ko‘rsatishi mumkinligi aniqlandi.

TEM tahlillari natijalari sorbentlarda yuqori dispersli amorf uglerodli matritsa, qatlamsimon uglerodli fragmentlar va nano hamda submikron o‘lchamli agregatlar shakllanganligini ko‘rsatdi. Faollashtirish jarayoni davomida hosil bo‘lgan mazkur morfologiya uglerodli strukturaning qayta tashkillanishi va rivojlangan sorbsion muhit shakllanishi bilan bog‘liq ekanligi asoslantirildi.

Element tarkibi va morfologik xususiyatlarning o‘zaro bog‘liq tahlili faollashtirish jarayoni natijasida yuqori uglerodli, barqaror va rivojlangan strukturaga ega sorbsion material hosil bo‘lishini ko‘rsatdi. Bunday struktura adsorbat molekulalarining sorbent sirti va ichki hajmida samarali taqsimlanishi uchun qulay sharoit yaratadi.

Tadqiqot natijalari Pavlovniya Tomentoza chiqindilarini yuqori qo‘shimcha qiymatga ega bo‘lgan sorbsion materiallarga aylantirish mumkinligini ko‘rsatdi. Olingan sorbentlarning strukturasi va morfologiyasi ularni suv va gaz muhitlarini tozalash, organik ifloslantiruvchilarni sorbsiya qilish hamda ekologik texnologiyalarda qo‘llash uchun istiqbolli material sifatida baholash imkonini berdi.

Shunday qilib, EDS va TEM tahlillari Pavlovniya Tomentoza chiqindilari asosida olingan faollashtirilgan uglerodli sorbentlarda yuqori darajada karbonlashgan uglerodli matritsa va rivojlangan morfologik struktura shakllanganligini ilmiy jihatdan asoslab berdi hamda ushbu materiallarning yuqori sorbsion xususiyatlarini ta’minlovchi asosiy strukturaviy omillarni aniqlash imkonini yaratdi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Marsh H., Rodríguez-Reinoso F. Activated Carbon. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 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(9). – P. 1966–2005.

ISSN 3030-3907

3. Ahmadpour A., Do D.D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. // *Carbon*. – 1997. – Vol. 35(12). – P. 1723–1732.
4. Lua A.C., Yang T. Characteristics of activated carbon prepared from pistachio-nut shell by zinc chloride activation under nitrogen and vacuum conditions. // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2004. – Vol. 274. – P. 594–601.
5. Guo J., Lua A.C. Textural and chemical properties of activated carbon prepared from oil-palm stone with phosphoric acid activation. // *Materials Chemistry and Physics*. – 2003. – Vol. 80. – P. 114–119.
6. Yang K., Peng J., Srinivasakannan C., Zhang L., Xia H., Duan X. Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. // *Bioresource Technology*. – 2010. – Vol. 101. – P. 6163–6169.
7. González-García P. Activated carbon from lignocellulosic precursors: A review of the synthesis methods, characterization techniques and applications. // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – Vol. 82. – P. 1393–1414.
8. Thue P.S., Lima E.C., Sieliechi J.M. et al. Activated carbons from biomass waste for adsorption of pollutants: Characterization by SEM, TEM and EDS techniques. // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2020. – Vol. 8(5). – Article 104205.
9. Lua A.C., Yang T. Effects of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shells. // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2005. – Vol. 290. – P. 505–513.
10. Mohan D., Pittman C.U. Jr., Steele P.H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review and characterization of carbonaceous materials. // *Energy & Fuels*. – 2006. – Vol. 20(3). – P. 848–889.

ISSN 3030-3907