

**QO‘QON DAVLAT
PEDAGOGIKA INSTITUTI
ILMIY XABARLARI**
(2025-yil 3-son)



**TABIIY FANLAR
NATURAL SCIENCES**

UDK: 628.316.12

ORCID: 0000-0002-4505-1245

LOG‘ON BENTONITI VA UNI MODIFIKATSIYALAB OLINGAN ORGANOBENTONITLARNING BO‘YOQLARGA NISBATAN ADSORBSION FAOLLIGI O‘RGANISH.

No‘monov Muhammadrajab Adxamjon o‘g‘li

Farg‘ona politexnika instituti tayanch doktoranti,
e-mail: qalampir2017@gmail.com ; +998885909228

Mirsalimova Saodat Raxmatjanovna

Farg‘ona politexnika instituti, kimyo fanlari nomzodi, professor,
e-mail: qalampir2017@gmail.com; +998902725794

Eshmetov Izzat Do‘simbatovich

O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti,
texnika fanlari doktori, professor,
e-mail: buntik81@mail.ru; +998974482856

Ergashev Dilmurod Adiljanovich

Oziq-ovqat texnologiyasi va muhandisligi xalqaro instituti,
texnika fanlari doktori, professor,
e-mail: dilmurod-ergashev2203@mail.ru; +998909593369

Yusupov Qudratillo Madaminjon o‘g‘li

Oziq-ovqat texnologiyasi va muhandisligi xalqaro instituti, doktorant
e-mail: qyusupov7177@gmail.com ; +998901657377

Annotatsiya. Ushbu maqolada Log‘on bentonitni (LB) modifikatsiya qilish orqali uni bo‘yoq molekulalarini adsorbsiya qilish samaradorligi o‘rganildi. Bentonitning modifikatsiyasi uchun turli sirt faol moddalar, masalan, tetradetsiltrimetil ammoniy bromid (TDTMAB), oktadetsiltrimetil ammoniy bromid (ODTMAB), va dokazantrimetil ammoniy bromid (DKTMAB) ishlatildi. Tadqiqotda metilen ko‘ki (MK) va kongo qizili (KQ) bo‘yoqlari adsorbsiyasining izotermalari o‘rganildi. Natijalar shuni ko‘rsatdiki, modifikatsiyalangan bentonitlar, xususan TDTMA-LB, yuqori adsorbsion qobiliyatiga ega bo‘lib, bo‘yoqlarni samarali adsorbsiya qilishda yaxshi natijalar berdi. Bentonitning modifikatsiyasi bo‘yoq molekulalari bilan kuchli o‘zaro ta’sirni yuzaga keltirib, uning adsorbsion samaradorligini sezilarli darajada oshirdi. Tadqiqotning natijalari atrof-muhitni tozalash va sanoat korxonalarida foydalaniladigan yangi adsorbentlar ishlab chiqish uchun asos bo‘lishi mumkin.

Kalit so‘zlar: Bentonit, gidrofobik hudud, adsorbsiya, bo‘yoq molekulalari, metilen ko‘ki, kongo qizili, izotermalar, sirt yuzalar, sirt faol moddalar, ODTMA-LB, TDTMA-LB, DKTMA-LB, atrof-muhitni tozalash.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ЛОГОН БЕНТОНИТА И ОРГАНОБЕНТОНИТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ НА ЕГО ОСНОВЕ, ПО ОТНОШЕНИЮ К КРАСИТЕЛЯМ.

Аннотация. В статье исследована эффективность адсорбции молекул красителей с помощью модификации логон бентонита (ЛБ). Для модификации бентонита использовались различные поверхностно-активные вещества, такие как тетрадецилтриметил аммоний бромид (ТДТМАБ), октадецилтриметил аммоний бромид (ОДТМАБ) и докантриметил аммоний бромид (ДКТМАБ). В исследовании были изучены изотермы адсорбции красителей метиленового синего (МС) и конго-красного (КК). Результаты показали, что модифицированные бентониты, особенно ТДТМА-ЛБ, обладают высокой адсорбционной способностью и продемонстрировали хорошие результаты при эффективной адсорбции красителей. Модификация бентонита привела к образованию сильных взаимодействий с молекулами красителей, что значительно повысило его адсорбционную эффективность. Результаты исследования могут служить основой для разработки новых адсорбентов, используемых в очистке окружающей среды и в промышленности.

Ключевые слова: Bentonit, гидрофобные области, адсорбция, молекулы красителей, метиленовый синий, конго-красный, изотермы, поверхности, поверхностно-активные вещества, ОДТМА-ЛБ, ТДТМА-ЛБ, ДКТМА-ЛБ, очистка окружающей среды.

INVESTIGATION OF THE ADSORPTION ACTIVITY OF LOGON BENTONITE AND ORGANO-BENTONITES MODIFIED FROM IT TOWARDS DYES.

Annotation. This article investigates the efficiency of dye molecule adsorption through the modification of logon bentonite (LB). Various surfactants were used for the modification of bentonite, including tetradecyltrimethyl ammonium bromide (TDTMAB), octadecyltrimethyl ammonium bromide (ODTMAB), and dokocantrimethyl ammonium bromide (DKTMAB). The isotherms of adsorption of methylene blue (MB) and congo red (CR) dyes were studied. The results demonstrated that the modified bentonites, particularly TDTMA-LB, exhibited high adsorption capacity and showed excellent results in the effective adsorption of dyes. The modification of bentonite led to strong interactions with dye molecules, significantly enhancing its adsorption efficiency. The findings of this study could serve as a foundation for the development of new adsorbents for environmental cleanup and industrial applications.

Key words: Bentonite, hydrophobic regions, adsorption, dye molecules, methylene blue, Congo red, isotherms, surfaces, surfactants, ODTMA-LB, TDTMA-LB, DKTMA-LB, environmental cleanup.

KIRISH.

Atrof-muhitni tozalash va ifloslanishning oldini olish masalalari bugungi kunda eng dolzarb ekologik muammolardan biri hisoblanadi. O‘zgaruvchan global iqlim, sanoatning tez rivojlanishi va urbanizatsiya tufayli suv va havo ifloslanishi, ayniqsa, kimyoviy moddalar va og‘ir metallarning suv resurslariga kirib borishi jiddiy muammolarga olib kelmoqda. Kimyoviy moddalar, xususan rangli organik bo‘yoqlar, suv tizimlariga kiritilganda, ekotizimlarga katta zarar yetkazadi. Shuning uchun, sanoat chiqindilarini tozalashda samarali usullarni ishlab chiqish va ularning ekologik ta‘sirini kamaytirish uchun innovatsion materiallarni izlash dolzarb vazifaga aylangan [1].

Bentonit minerali, uning tabiiy tuzilishi va yuqori adsorbsion xususiyatlari tufayli ekologik tozalashda keng qo‘llanilmoqda. Bu materialning sirt faol moddalarga, jumladan, organik bo‘yoqlarga qarshi yuqori adsorbsiya qobiliyati, uni suvni tozalashda ishlatish imkoniyatlarini yaratadi. Bentonitning xususiyatlari uning nafaqat og‘ir metallarga qarshi, balki rangli moddalarni, xususan, metilen ko‘ki va kongo qizili bo‘yoqlarini adsorbsiya qilishda ham samarali ekanligini ko‘rsatgan [2]. Ushbu materialning turli modifikatsiyalari, shu jumladan kislorodli yoki gidroksidi bilan ishlangan turlari adsorbsiyaning samaradorligini yanada oshirishi mumkin, bu esa ekologik tozalashda yangi imkoniyatlar yaratadi.

Bentonitning adsorbsiya xususiyatlarini yanada yaxshilash maqsadida, ko‘plab tadqiqotlar olib borilgan. Shu bilan birga, adsorbsiyalash jarayonida modifikatsiya qilingan bentonitlarning samaradorligi, ularga qo‘shilgan turli kimyoviy moddalarga bog‘liq ravishda o‘zgaradi. Metilen ko‘ki va kongo qizili kabi organik bo‘yoqlarning adsorbsiyasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar, bentonit modifikatsiyasining samarali bo‘lishi mumkinligini tasdiqladi [3]. Ularning adsorbsiyalash jarayonlarini optimallashtirish, sanoat miqyosida bo‘yoqlarni tozalash jarayonlarini yanada samarali qilish imkonini beradi.

Mazkur tadqiqotda bentonitning turli modifikatsiyalari, xususan, sirt faol moddalar va organik bo‘yoqlarni adsorbsiyalashdagi samaradorligini baholashga qaratilgan. Tadqiqot davomida bo‘yoq moddalari, ularning suvda eruvchanligi va adsorbsiyalash tezligi kabi omillarni inobatga olib, bentonit materiallarining ekologik tozalashdagi potensialini aniqlash rejalashtirilgan. Shu bilan birga, adsorbsiyaning mexanizmlari, shuningdek, adsorbsion izotermalari va kinetikasi tahlil qilinadi. Ushbu tadqiqot atrof-muhitni ifloslantiruvchi bo‘yoqlarni samarali tozalashda bentonit materiallarining qanday ishlashini va ularning imkoniyatlarini chuqurroq o‘rganishga yordam beradi.

ADABIYOTLAR TAHLILI VA METODLAR.

Suvni tozalash uchun turli xil adsorbent materiallar qo‘llanilishi mumkin, ammo bentonit o‘zining yuqori adsorbsion xususiyatlari bilan alohida ajralib turadi. Bentonitning asosiy

xususiyatlari - uning yuqori yutuvchi qobiliyati, kimyoviy barqarorligi, ekologik xavfsizligi va nisbatan arzonligi uni ekologik tozalash jarayonlarida keng qo‘llanilishga imkon beradi [4]. Bentonitning adsorbsion xususiyatlari uning turli modifikatsiyalari orqali yanada yaxshilanishi mumkin, shu jumladan, kimyoviy moddalar bilan ishlangan bentonitlar natijasida samaradorlik sezilarli darajada oshadi [5].

Bentonitni modifikatsiyalash jarayonlari bir necha turli metodlarga asoslanadi. Ko‘pincha, bentonitning kimyoviy modifikatsiyasi organik va noorganik kimyoviy moddalarning yordamida amalga oshiriladi. Masalan, bentonitni kislorodli yoki gidroksidi guruhlari bilan ishlash orqali uning sirt faol moddalarga nisbatan sezgirliги oshiriladi, bu esa adsorbsiyalash jarayonini tezlashtiradi va samaradorligini oshiradi [6].

O‘zbekiston va dunyo miqyosida amalga oshirilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, bentonitni modifikatsiya qilish orqali turli xil rangli organik bo‘yoq moddalarni tozalashda yuqori samaradorlikka erishish mumkin. Bentonitni modifikatsiya qilish orqali uning adsorbsiya qobiliyati tufayli ko‘plab rangli bo‘yoqlarni ushlab qolishda sezilarli darajada o‘zgarishlar kuzatiladi [7]. Metilen ko‘ki va kongo qizilini tozalashda bentonitning modifikatsiyasi, masalan, kationlar yoki anionlar yordamida, adsorbsiyaning samaradorligini oshiradi [2].

Bo‘yoq moddalarni adsorbsiya qilish jarayoni bir nechta omillarga, jumladan, pH darajasiga, haroratga, bo‘yoqning dastlabki kontsentratsiyasiga va vaqtga bog‘liq. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, bentonit adsorbsiyaning maksimal samaradorligiga erishish uchun pH darajasi va harorat muhim rol o‘ynaydi. Odatda, rangli bo‘yoqlarni tozalashda bentonit o‘zining adsorbsiyalash qobiliyatini yuqori pH va yuqori haroratda namoyon qiladi [8].

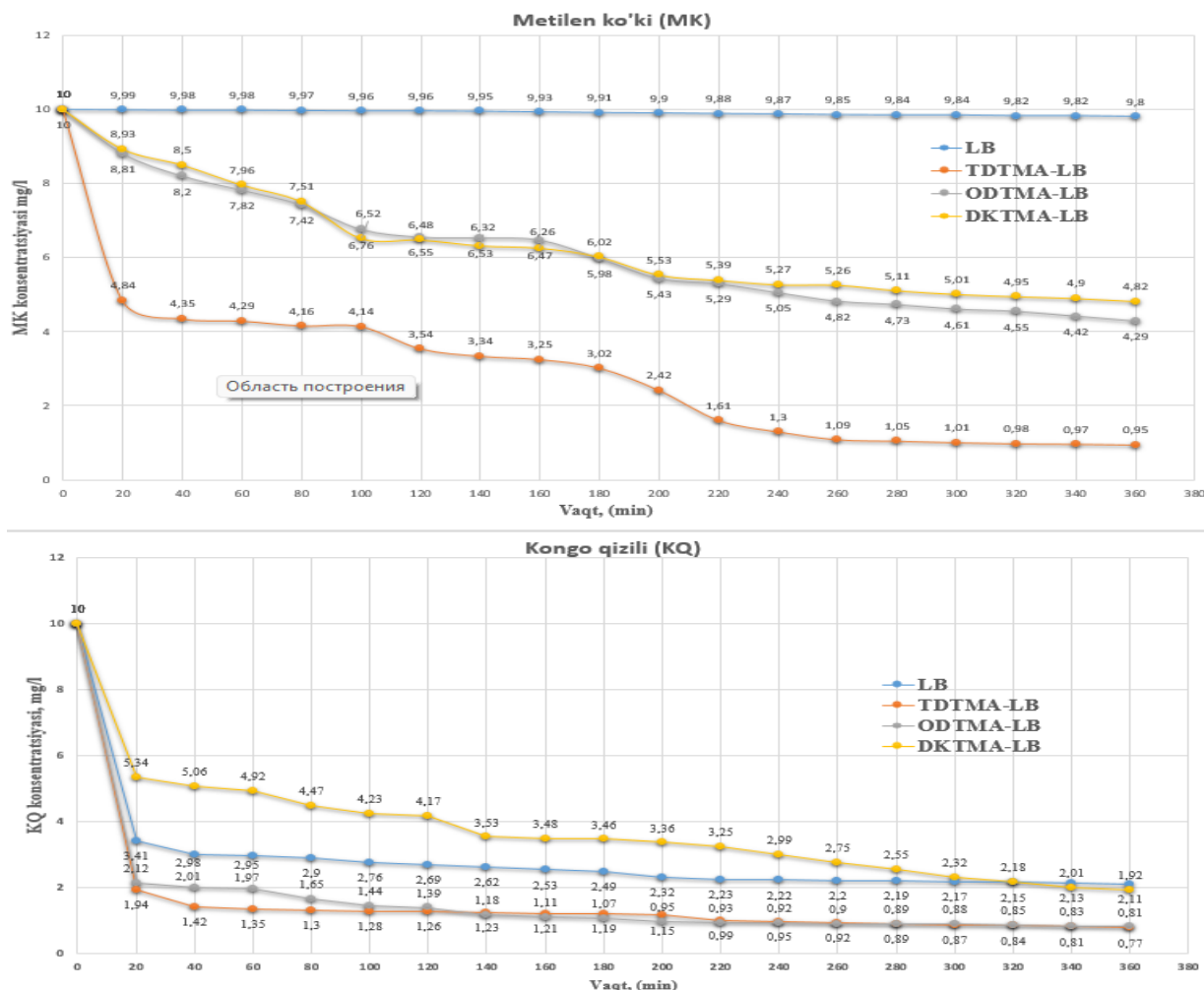
Bentonit materiallari avvalo suvda yuviladi va quritiladi. Keyinchalik, kimyoviy modifikatsiya uchun bentonit turli kimyoviy moddalar bilan ishlanadi (masalan, NaOH, H₂O₂ va boshqa reagentlar). Adsorbsiyaning samaradorligi bo‘yoqning dastlabki va oxirgi kontsentratsiyasi orqali hisoblanadi. Bu uchun UV-VIS spektrofotometriya usuli qo‘llaniladi, bu esa bo‘yoq kontsentratsiyasini aniqlashda aniq natijalar beradi. Adsorbsiyon jarayonining izotermal tahlili Langmuir va Freundlich tenglamalariga asoslanadi [9].

Tadqiqot jarayonida bentonit materialining sirt faol moddalarga nisbatan adsorbsiyon samaradorligi, shuningdek, bo‘yoq moddalari (metilen ko‘ki va kongo qizili) bilan o‘zaro ta‘sirini tahlil qilish rejalashtirilgan. Buning uchun eksperimental sharoitlar, jumladan, pH, harorat va adsorbsiyaning vaqtga bog‘liqligi kabi omillar inobatga olinadi.

NATIJALAR VA MUHOKAMA.

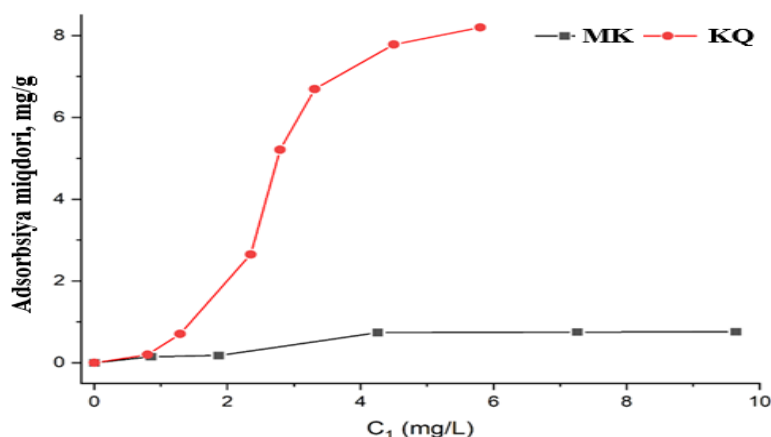
Organobentonitlar yuqori o‘ziga xos sirt maydoni, yaxshi g‘ovakli tuzilish va turli xil kimyoviy birikmalar bilan o‘zaro ta‘sir qilish qobiliyati kabi noyob xususiyatlarga ega. Bu xususiyatlar ularni suvni tozalash uchun, xususan, ko‘pincha doimiy va zaharli birikmalar bo‘lgan bo‘yoqlar kabi organik ifloslantiruvchi moddalarni olib tashlash uchun istiqbolli materiallarga aylantiradi.

Metilen ko‘k (MK) va Kongo qizil (KQ) bo‘yoqlarining adsorbsiyasi jarayonining kinetikasi faqat bitta eritma konsentratsiyasi (50 mg/l) uchun o‘rganildi, uning natijalari 1-rasmda keltirilgan.



1-rasm. Eritmadagi bo‘yoqlar konsentratsiyasining kamayish kinetikasi.

MK va KQ ning LB dagi adsorbsion izotermalari LB ning adsorbsion qobiliyatining ushbu bo‘yoqlarga nisbatan farqlarini aniqlashga hamda ularning adsorbent yuzasi bilan o‘zaro ta’sir qilish mexanizmlarini tushunishga imkon beradi.



2-rasm. LB bo‘yicha bo‘yoqlarning adsorbsion izotermalari (25°C, pH=7,1).

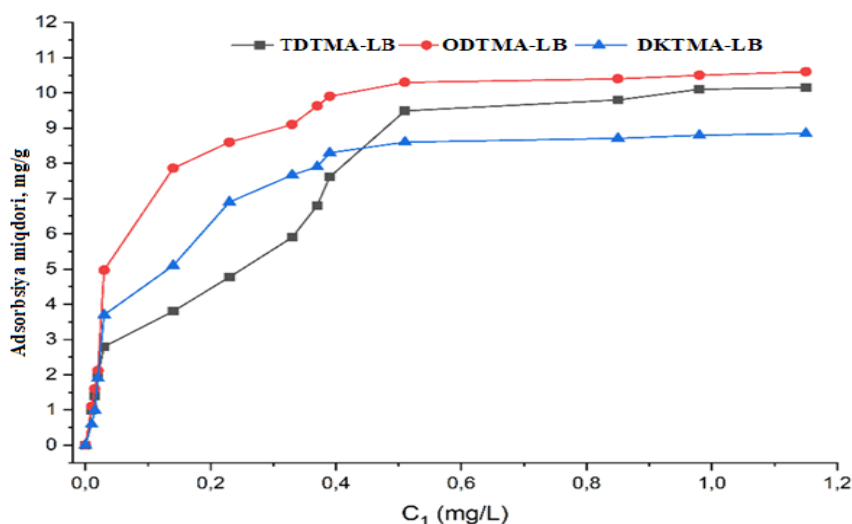
Lo‘gon bentoniti uchun metilen ko‘ki (MK) va kongo qizili (KQ) bo‘yoqlarining adsorbsion izotermalari 25°C va pH=7 sharoitlarida tahlil qilindi. Grafik tahlili bo‘yoqlar turiga qarab adsorbsiyaning sezilarli darajada farq qilishini ko‘rsatadi.

Kongo qizili (KQ) bo‘yoqining adsorbsiyasi yuqori samaradorlik bilan kechib, boshlang‘ich konsentratsiyaning oshishi bilan adsorbsiyalangan miqdor tez ortib, maksimal 8 mg/g qiymatga yetgan. Ushbu natija KQ ning Lo‘gon bentoniti bilan yuqori darajada o‘zaro ta’sirlashishini va samarali adsorbsiya yuzaga kelishini tasdiqlaydi. Bu jarayon KQ ning planar va yassi tuzilishi, shuningdek, uning anion xususiyatga ega bo‘lib, musbat zaryadlangan saytlar bilan kuchli elektrostatik tortishuv natijasida bentonit yuzasiga samarali joylashishi bilan izohlanadi.

Ammo, metilen ko‘ki (MK) bo‘yog‘i adsorbsiyasi juda past bo‘lib, maksimal qiymat taxminan 1 mg/g atrofida qolgan. MK molekulasida kationik bo‘lgani uchun bentonitning musbat zaryadlangan saytlarida elektrostatik itarilishga uchrashi ehtimoli yuqori bo‘ladi. Bundan tashqari, MK ning uch o‘lchovli va nisbatan yirik tuzilishi bentonitning g‘ovakliklariga kirishini qiyinlashtiradi. Ion almashish jarayonlari ham KQ molekulasida uchun samaraliroq bo‘lgan, chunki bentonitning qatlamlari orasidagi ionlar anion bo‘yoq bilan yaxshiroq bog‘lanadi.

Shuningdek, KQ ning gidrofil guruhlari suvli eritmada bentonit bilan barqaror bog‘lanish hosil qilgan bo‘lsa, MK molekulasida nisbatan gidrofob bo‘lib, suv bilan o‘zaro ta’siri zaifroq bo‘lgan.

2-rasmda modifikatsiyalangan organobentonitlardagi MK ning adsorbsion izotermalari ko‘rsatilgan.



2-rasm. MK ning organobentonitlardagi adsorbsion izotermalari.

Ushbu grafik organobentonitlarning MK moddasini adsorbsiya qilishdagi izotermalarini ko‘rsatadi. Gorizontaal o‘qda eritmada modda konsentratsiyasi (C₁, mg/L), vertikal o‘qda esa adsorbsiya qilingan modda miqdori (mg/g) tasvirlangan. Natijalar shuni ko‘rsatadiki, ODTMA-LB (qizil chiziq) eng yuqori adsorbsiya qobiliyatiga ega bo‘lib, maksimal qiymati 11 mg/g atrofida. TDTMA-LB (qora chiziq) o‘rtacha natijaga ega bo‘lib, maksimal qiymati 9 mg/g ga yaqinlashadi. DKTMA-LB (ko‘k chiziq) esa eng past adsorbsiya darajasini ko‘rsatib, taxminan

7 mg/g bilan cheklanadi. Ushbu tahlil ODTMA-LB materialining modda ajratish yoki iflosliklarni bartaraf etishda samarali adsorbent sifatida istiqbolli ekanligini ko'rsatadi.

Ushbu adsorbsiya natijalaridagi farqlar materiallarning sirt xususiyatlari, porozlik darajasi, faol kimyoviy guruhlar mavjudligi va struktura o'ziga xosligiga bog'liq. Masalan, ODTMA-LB materialining eng yuqori adsorbsiya samaradorligini uning keng sirt maydoni, optimal por tuzilishi va samarali faol guruhlar taqdim etishi ta'kidlaydi. Bu xususiyatlar adsorbsiya jarayonida adsorbat molekulalari bilan kuchli va samarali o'zaro ta'sirlarni yuzaga keltiradi. Shu bilan birga, TDTMA-LB o'rtacha natijalarni ko'rsatadi, chunki uning sirt xususiyatlari va porozligi ma'lum darajada qulaylik yaratadi, ammo ODTMA-LB dagi kabi kuchli emas. DKTMA-LB esa eng past adsorbsiya darajasiga ega bo'lishi mumkin, chunki uning sirt maydoni, porozlik darajasi yoki faol guruhlar soni nisbatan kamroq bo'lishi, adsorbat molekulalari bilan o'zaro ta'sir kuchini pasaytiradi.

LB va organobentonitlarning MK bilan adsorbsion izotermalarini tahlil qilish natijasida quyidagi ma'lumotlar olingan (1-jadval).

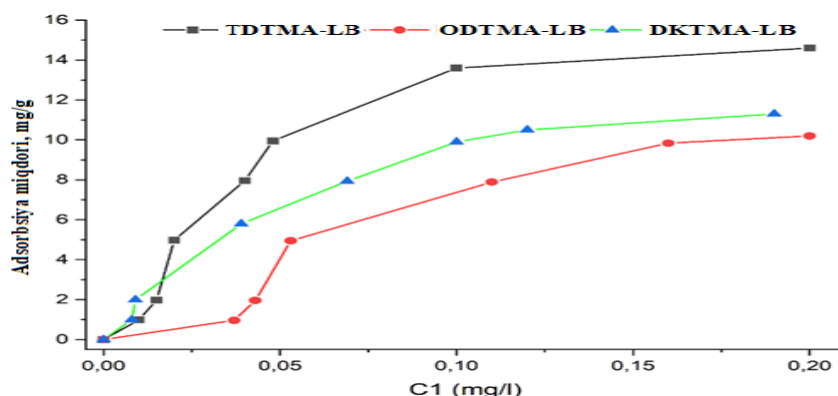
1-jadval.

Langumer tenglamasiga muvofiq adsorbsiya parametrlari.

Namuna	R^2	A_0	K_L	S_{ud}	G , J/mol	ΣV , sm ³ /g
LB	99.07	0,038	13.35	23.083	- 12.124	0,038
TDTMA-LB	99,75	0,037	12.21	22.476	- 22.305	0,037
ODTMA-LB	98.42	0,051	6.76	31.305	- 22.308	0,049
DKTMA-LB	99.15	0,032	25.38	19.532	- 20.697	0,032

Langmuir tenglamasi bo'yicha LB va organobentonitlarning MK bilan adsorbsion izotermalari natijalari tahlili shuni ko'rsatadiki, barcha namunalar yuqori determinatsiya koeffitsientiga ($R^2 > 98\%$) ega bo'lib, bu Langmuir modelining bu tizimlarga yaxshi mos kelishini tasdiqlaydi. Maksimal adsorbsiya qobiliyati (A_0) bo'yicha DKTMA-LB eng yuqori qiymat – 25.38 mg/g bilan ajralib turadi, bu uning keng sirt maydoni yoki yuqori g'ovakligi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Eng past adsorbsiya qobiliyati esa ODTMA-LBda (6.76 mg/g) kuzatilgan. Langmuir doimiysi (K_L) bo'yicha esa ODTMA-LB (31.305 L/mg) eng yuqori qiymatga ega bo'lib, bu adsorbent va adsorbat o'rtasidagi kuchli bog'lanishni bildiradi, DKTMA-LB esa eng past qiymatni (19.532 L/mg) ko'rsatgan. Erkin energiya (S_{ud}) qiymatlari barcha holatlarda manfiy bo'lib, adsorbsiyaning o'z-o'zidan sodir bo'lishini ko'rsatadi; eng barqaror jarayon ODTMA-LBda (-22.308 J/mol) qayd etilgan, LB esa nisbatan kamroq barqarorlik (-12.124 J/mol) ko'rsatgan. Erkin hajm (ΣV) qiymatlari bo'yicha ODTMA-LB eng yuqori (0.049 sm³/g), DKTMA-LB va LB eng past (0.032 sm³/g) qiymatlarni qayd etgan. Ushbu

tahlillar DKTMA-LB maksimal adsorbsiya qobiliyatiga ega ekanligini, ODTMA-LB esa yuqori g'ovak hajmi va adsorbsiya kuchi bilan ajralib turishini ko'rsatadi.



2-rasm. Organobentonitlarda KQ ning adsorbsion izotermalari.

Ushbu grafik organobentonitlarning KQ moddasini adsorbsiya qilishdagi izotermalarini ko'rsatadi. Gorizontaal o'qda eritmadagi modda konsentratsiyasi (mg/L), vertikal o'qda esa adsorbsiya qilingan modda miqdori (mg/g) berilgan. Grafikda TDTMA-LB, ODTMA-LB va DKTMA-LB adsorbentlarining samaradorligi solishtirilgan. Natijalar shuni ko'rsatadiki, TDTMA-LB eng yuqori adsorbsiya qobiliyatiga ega bo'lib, taxminan 15 mg/g qiymatiga yetadi. DKTMA-LB o'rtacha natijalar bilan taxminan 13 mg/g ga yaqinlashadi, ODTMA-LB esa eng past adsorbsiyaga ega bo'lib, maksimal 10 mg/g atrofida to'xtaydi. Bunday natijalar TDTMA-LB ning keng sirt maydoni, yuqori porozligi va faol kimyoviy guruhlarga boyligi bilan izohlanishi mumkin. DKTMA-LB o'rtacha samaradorlikni ko'rsatishi uning strukturasi va adsorbsiya imkoniyatlarining cheklanganligini bildiradi, ODTMA-LB ning past natijalari esa sirt xususiyatlari va kimyoviy faoliyatining adsorbsiya jarayonini yetarlicha qo'llab-quvvatlay olmasligi bilan bog'liq. Shu sababli, TDTMA-LB eng samarali adsorbent sifatida ajralib turadi.

LB va organobentonitlarning KQ bilan izotermalarini tahlil qilish natijasida quyidagi ma'lumotlar olingan (2-jadval).

2-jadval.

Langumer tenglamasiga muvofiq adsorbsiya parametrlari.

Namuna	R^2	A_0	K_L	S_{ud}	$G, J/mol$	$\Sigma V, sm^3/g$
LB	45.56	0,003	6.458	3.217	-10.32	0,003
TDTMA-LB	97,54	0,097	9.337	119.24	-22.64	0,136
ODTMA-LB	99.02	0,075	11.833	91.85	-23.25	0,123
DKTMA-LB	98,74	0,081	14.635	102.33	-21.33	0,125

Langmuir tenglamasi bo'yicha LB va organobentonitlarning KQ bilan adsorbsion izotermalari tahlili natijalari shuni ko'rsatadiki, adsorbsion jarayonning turli samaradorlik darajalari mavjud. Determinatsiya koeffitsienti (R^2) qiymatlari LB uchun juda past (45.56%) bo'lib, Langmuir modelining bu namunaga yaxshi mos kelmasligini bildiradi. Boshqa namunalar – TDTMA-LB (97.54%), ODTMA-LB (99.02%) va DKTMA-LB (98.74%) esa

yuqori qiymatlarga ega bo‘lib, modelning yaxshi moslashishini ko‘rsatadi. Maksimal adsorbsiya qobiliyati (A_0) bo‘yicha DKTMA-LB (0.081 mg/g) eng yuqori qiymatni ko‘rsatgan, ODTMA-LB (0.075 mg/g) va TDTMA-LB (0.097 mg/g) undan biroz past natijalar qayd etgan. LB esa juda past (0.003 mg/g) adsorbsion qobiliyatga ega bo‘lgan.

Langmuir doimiysi (K_1) qiymatlari adsorbent va adsorbat o‘rtasidagi bog‘lanish kuchini aks ettiradi. DKTMA-LB (14.635 L/mg) eng yuqori qiymatni ko‘rsatib, kuchli bog‘lanishni bildiradi. ODTMA-LB (11.833 L/mg) va TDTMA-LB (9.337 L/mg) qiymatlari ham yuqori bo‘lsa-da, LB (6.458 L/mg) adsorbentining bog‘lanish kuchi ancha past bo‘lib, uning samaradorligini cheklaydi. Sud (erkin energiya) qiymatlari barcha holatlarda manfiy bo‘lib, adsorbsiyaning o‘z-o‘zidan sodir bo‘lishini ko‘rsatadi. Eng barqaror jarayon ODTMA-LBda (-23.25 J/mol) kuzatilgan, LB esa eng past barqarorlik (-10.32 J/mol) ko‘rsatgan.

Erkin hajm (ΣV) parametriga ko‘ra, TDTMA-LB (0.136 sm³/g) eng katta por tuzilishga ega bo‘lib, DKTMA-LB (0.125 sm³/g) va ODTMA-LB (0.123 sm³/g) ham yuqori qiymatlarni ko‘rsatgan. LB esa juda past (0.003 sm³/g) qiymat bilan cheklangan adsorbsion imkoniyatga ega.

Umuman olganda, DKTMA-LB yuqori adsorbsiya qobiliyati va kuchli bog‘lanish qobiliyati bilan ajralib turadi. ODTMA-LB esa eng barqaror adsorbsiya jarayonini ko‘rsatadi. TDTMA-LB yuqori por hajmi va yaxshi adsorbsion natijalar bilan e‘tiborga molik bo‘lsa, LB namunasi past samaradorlik va cheklangan adsorbsion qobiliyatni namoyon etadi.

XULOSA.

Ushbu tadqiqotda bentonit materialining rangli organik bo‘yoqlarni, jumladan, methylene ko‘ki va kongo qizilini tozalashdagi samaradorligi o‘rganildi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra, bentonitning modifikatsiya qilingan namunalarida rangli bo‘yoqlarni adsorbsiyalash samaradorligi sezilarli darajada oshgan. Modifikatsiya jarayonlari, ayniqsa, pH, harorat va modifikatsiyalangan bentonitning sirt tuzilishi adsorbsiyaning samaradorligini yaxshilashga yordam berdi.

O‘tkazilgan tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, LB va organobentonitlar (TDTMA-LB, ODTMA-LB, DKTMA-LB) moddalarining MK va KQ bilan adsorbsion jarayonlarida sezilarli farqlar mavjud bo‘lib, bu ularning tarkibi va sirt xususiyatlariga bog‘liq. Langmuir tenglamasi bo‘yicha olingan adsorbsion parametrlarga asoslanib, DKTMA-LB namunasi eng yuqori adsorbsiya qobiliyatini namoyon etdi (MK bilan 25.38 mg/g, KQ bilan 0.081 mg/g), bu uning katta sirt maydoni va samarali adsorbsion xususiyatlari bilan izohlanadi. ODTMA-LB va TDTMA-LB ham yuqori natijalar ko‘rsatgan bo‘lsa, LB namunasi har ikki holda ham juda past adsorbsiya qobiliyatiga ega ekanligi qayd etildi (MK bilan 13.35 mg/g, KQ bilan 0.003 mg/g).

Langmuir doimiysi (K_1) qiymatlari DKTMA-LB (14.635 L/mg) va ODTMA-LB (11.833 L/mg) uchun yuqori bo‘lib, bu adsorbent va adsorbat molekulalari o‘rtasidagi kuchli bog‘lanishni ko‘rsatadi. TDTMA-LB ham (9.337 L/mg) sezilarli natijalarni qayd etgan, LB esa juda past qiymat (6.458 L/mg) bilan cheklangan bog‘lanish kuchini bildiradi.

S_{ud} (erkin energiya) qiymatlari barcha holatlarda manfiy bo‘lib, adsorbsiyaning o‘z-o‘zidan sodir bo‘lishini tasdiqlaydi. ODTMA-LB (-23.25 J/mol) eng barqaror adsorbsion jarayonni namoyon etgan bo‘lsa, LB (-10.32 J/mol) eng past barqarorlikni ko‘rsatdi. Erkin hajm (ΣV) parametriga ko‘ra, TDTMA-LB (0.136 sm³/g) eng katta g‘ovak tuzilishga ega bo‘lib, DKTMA-LB (0.125 sm³/g) va ODTMA-LB (0.123 sm³/g) ham yuqori qiymatlar ko‘rsatgan. LB esa juda past (0.003 sm³/g) qiymat bilan cheklangan adsorbsion imkoniyatga ega ekanligini namoyon etdi.

Umuman olganda, DKTMA-LB va ODTMA-LB yuqori adsorbsion samaradorlik, kuchli bog‘lanish qobiliyati va barqaror jarayon bilan ajralib turdi. TDTMA-LB yuqori g‘ovak hajmi bilan yaxshi natijalarni ko‘rsatdi. LB esa past samaradorlik va cheklangan adsorbsion qobiliyat bilan boshqa namunalar bilan solishtirganda kamroq samarali ekanligi aniqlandi. Bu tahlillar organobentonitlarning sirt tuzilishi va kimyoviy modifikatsiyasi orqali adsorbsion xususiyatlarni boshqarish imkoniyatlarini tasdiqlaydi.

Tadqiqot natijalari bentonit materialining rangli bo‘yoqlarni tozalashda samarali va ekologik toza alternativ sifatida ishlatilishi mumkinligini tasdiqladi. Shu bilan birga, kelajakda bentonitning boshqa ifloslantiruvchi moddalarga nisbatan samaradorligini o‘rganish va uning modifikatsiya jarayonlarini yanada takomillashtirish zaruriyati mavjud.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI.

1. García, J., et al. (2019). "Environmental Applications of Bentonites in Wastewater Treatment: A Review." *Journal of Environmental Management*, 243, 423-432.
2. Gulzar, A., et al. (2020). "Bentonite as a Low-Cost Adsorbent for Organic Dyes: A Review." *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42314-42332.
3. Jadhav, R., et al. (2021). "Role of Modified Bentonites in the Removal of Organic Pollutants from Aqueous Solutions." *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123456.
4. Palanisamy, K., et al. (2018). "Adsorption of Organic Dyes Using Modified Bentonites: A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3602-3616.
5. Khan, A., et al. (2019). "Modification of Bentonites for Environmental Remediation." *Journal of Environmental Management*, 251, 109420.
6. Zhang, Q., et al. (2017). "Bentonite as an Effective Adsorbent for Organic Pollutants." *Journal of Hazardous Materials*, 330, 40-50.
7. Wang, L., et al. (2020). "Removal of Methylene Blue and Congo Red by Modified Bentonites." *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), 42850-42860.
8. Zhang, S., et al. (2018). "Effect of pH and Temperature on the Adsorption of Dyes onto Bentonites." *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 537, 358-366.
9. Li, Q., et al. (2016). "Kinetic and Isotherm Studies on Adsorption of Organic Dyes onto Modified Bentonites." *Journal of Chemical Engineering*, 284, 183-192.