

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

ХУДАЙБЕРГАНОВ МАНСУР САБУРОВИЧ

**АКФ-78 МАРКАЛИ КАОЛИН АСОСИДАГИ АДСОРБЕНТЛАР ВА
УЛАРНИНГ АДСОРБЦИОН ХУСУСИЯТЛАРИ**

02.00.11 – Коллоид ва мембрана кимёси

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент-2023

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси
Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)

Худайберганов Мансур Сабурович

AKF-78 маркали каолин асосидаги адсорбентлар ва уларнинг адсорбцион хусусиятлари 3

Худайберганов Мансур Сабурович

Адсорбенты на основе каолина АКФ-78 и их адсорбционные свойства 21

Khudayberganov Mansur Saburovich

Adsorbents based on AKF-78 kaolin and their adsorption properties 40

Эълон қилинган илмий ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....44

**УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

УМУМИЙ ВА НООРГАНИК КИМЁ ИНСТИТУТИ

ХУДАЙБЕРГАНОВ МАНСУР САБУРОВИЧ

**АКФ-78 МАРКАЛИ КАОЛИН АСОСИДАГИ АДСОРБЕНТЛАР ВА
УЛАРНИНГ АДСОРБЦИОН ХУСУСИЯТЛАРИ**

02.00.11 – коллоид ва мембрана кимёси

**КИМЁ ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент-2023

Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2023.2.PhD/K650. рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Умумий ва ноорганик кимё институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси www.ionx.uz va «ZiyoNet» ахборот таълим тармоғига (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Рахматқариева Фируза Гайратовна
кимё фанлари доктори, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Кулдашева Шахноза Абдулазизовна
кимё фанлари доктори, профессор

Бахронов Хаёт Нурувич
кимё фанлари доктори, доцент

Етакчи ташкилот:

Наманган муҳандислик технологиялар институти

Диссертация ҳимояси Умумий ва ноорганик кимё институти ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.02/30.12.2019.К/Т.35.01 рақамли илмий кенгашнинг 2023 йил «3» август соат 14⁰⁰ да ўтадиган мажлисида бўлади (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60, факс: (+99871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru).

Диссертация билан Умумий ва ноорганик кимё институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (2-рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100170, Тошкент шаҳри, Мирзо Улуғбек кўчаси 77-а. Тел.: (+99871) 262-56-60, факс: (+99871) 262-79-90).

Диссертация автореферати 2023 йил «21» июль куни тарқатилди.
(2023 йил «21» июльдаги № 1 рақамли реестр баённомаси) .



Б.С.Закиров

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, к.ф.д., проф.

Д.С.Салиханова

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш котиби, т.ф.д., проф.

И.Д.Эшметов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис ўринбосари, т.ф.д., проф.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертация аннотацияси)

Диссертация мавзусини долзарблиги ва зарурияти. Ҳозирги вақтда дунёда адсорбентлар табиий, техник мақсадларда фойдаланиладиган маиший ва саноат оқова сувларни турли табиатга эга бўлган чиқиндилардан тозалашда, нефт-газ саноатида катализатор ва адсорбент ҳамда тиббиётда энтросорбент, қаттиқ сувни юмшатувчи ионит сифатида кенг қўлланилади. Бугунги кунда микроғовакли адсорбентлар асосан, бентонит, каолин, нефелин асосида олинмоқда. Каолин асосида олинадиган микроғовакли адсорбентлар нефт-газ маҳсулотлари ва саноат оқова сувларини тозалашда муҳим аҳамиятга эга.

Жаҳонда кремний ва алюминий оксидлари бўлган хомашёлардан микроғовакли адсорбентлар олиш, нефтни қайта ишлашда чиқадиган оқова сувлар таркибидан органик бирикмаларни тозалаш технологиясини яратиш бўйича илмий изланишлар олиб борилмоқда. Бу боради, микроғовакли адсорбентлар ҳосил бўлиш вақтини камайтириш ва иқтисодий самарадор усулларини ишлаб чиқиш; олинган адсорбентларни қутбли ва қутбсиз адсорбат молекулалар адсорбциясини ўрганиш, адсорбент-адсорбат таъсирлашиш механизмини аниқлаш; адсорбция изотермаларини тадқиқ қилиш ва уларнинг сорбцион-структура хоссаларини, шунингдек ғоваклар ҳажмини микроғоваклар ҳажмий тўйиниш назарияси тенгламалари ёрдамида тавсифлашнинг адсорбцион механизмларни аниқлаш борасида алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда нефт кимёси саноатини жадал ривожлантириш, янги турдаги ишлаб чиқариш қувватларини яратиш, рақобатбардош маҳсулотларнинг турлари ва ҳажмини кенгайтиришга олиб келмоқда, бунинг натижасида нефт-газ қайта ишлаш заводларида газларни қуритиш, тозалаш ҳамда оқова сувларни тозалашда ишлатиладиган адсорбентлар олиш ва адсорбцион хоссаларини ўрганиш бўйича илмий ва амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришга қаратилган Янги Ўзбекистоннинг Тараққиёт стратегияси тўғрисидаги учинчи йўналишида «Нефт-газ соҳасида трансформация жараёнларини жадаллаштириш орқали табиий газ таъминотида ижтимоий ҳимоя кафолатлари белгиланган ҳолда бозор механизмларини жорий этиш»¹ вазибалари белгиланган. Бу борада, жумладан юқори самарали адсорбцион хусусиятга эга микроғовакли адсорбентларини олиш ва уларни нефть-газ саноатида ҳамда оқова сувларни тозалашда қўллаш бугунги кунда муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2020 йил 21 августдаги ПҚ-4805 «Кимё ва биология йўналишларида узлуксиз таълим сифатини ва илм-фан натижадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги, 2019 йил 3

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йилнинг 28 январдаги ПФ-60 «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғриси»да

апрельдаги ПҚ-4265-сон «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг инвестициявий жозибдорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги қарорлар, 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришга қаратилган «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланиши устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. «Кимё технологиялари ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муоммонинг ўрганилганлик даражаси. Илмий-техник адабиётларда табиий каолин асосида юқори сорбцион хусусиятга эга микроғовакли адсорбентлар бўйича E.B.G.Johnson, Szamal E. Arshad, Jahimin Asik, V. Yu. Prokof'ev, N. E. Gordina, A. M. Efremov, A. B. Zhidkova, S. Colin, P. Cundy. J. B. Higgins, K. D. Schmitt, G. A. Mamedova ва бошқа жуда кўплаб олимлар илмий изланишлар олиб боришган.

Ўзбекистонда к.ф.д., профессор Г.У. Рахматқариев раҳбарлигида илмий мактаб яратилган бўлиб, унинг издошлари Рахматқариева Ф.Г., Эргашев О.К., Бахронов Х.Н., Абдурахмонов Э.Б., Жумаева Д.Ж., Якубов Й.Ю. ва бошқалар томонидан А, Х, Y ва ZSM-5 русумидаги цеолитларни, гил минералларни, мусковит, силикагел, рутил ва бошқа адсорбентларни юқори вакуумли адсорбцион калориметрик қурилма ёрдамида уларда борадиган ютилишнинг дифференциал иссиқлиги, изотермаси, термокинетикаси ва энтропияси ўрганилган.

Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, микроғовакли адсорбентлар олиниш ва уларнинг адсорбцион хусусиятларини ўрганиш борасида чет эл олимлари ва ўзбек олимлари улкан изланишлар олиб боришган.

Шуни такидлаш керакки, ҳозирги пайтгача каолин ва глиноземдан адсорбентлар олишнинг кам вақт сарфланадиган усулларини яратиш ҳамда уларнинг физик-кимёвий, адсорбцион хоссаларини ўрганиш борасида етарлича тадқиқотлар олиб борилмаган.

Тадқиқотнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Умумий ва ноорганик кимё институтининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг ФА-Ф-7-010 рақамли «Наноструктурали фожазит типидagi адсорбентлар панжараси юзасида ион-молекуляр кластерларни энергетикаси, тузилиши ва жойлашиши» (2017-2020), ҳамда Наманган муҳандислик технология институтида бажарилган МУ-ФЗ-2017102584 рақамли «NaLTA, CaLTA ва содалит молекуляр ғалвирларида мезбон-мехмон боғланиш механизмлари» (2018-2019 йй.) мавзусидаги фундаментал лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқот мақсади бойитилган АКФ-78 маркали каолиндан фойдаланиб, юқори кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбент синтез қилиш ва уларнинг адсорбцион хусусиятларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Таркибида кремний ва алюминий оксидлари бўлган маҳаллий хом ашёлар асосида адсорбентларни синтез қилишнинг оптимал шароитларини аниқлаш;

Олинган адсорбентларнинг тузилишини электрон микроскоп, рентгенфазавий анализ, ИК-спектроскопда ва гидрофиллик хусусиятларини эса калориметрик усулларда аниқлаш;

Адсорбция изотермаларини тадқиқ қилиш ва сорбцион-структура хоссаларини ҳамда ғоваклар ҳажмини микроғовакларнинг ҳажмий тўйинини назарияси тенгламалари ёрдамида тавсифлаш;

Ангрен каолинидан олинган адсорбентларни сув, бензол ва н-гексан буғлари билан адсорбциясини, адсорбент-адсорбат таъсирлашиш механизмларини аниқлаш;

Бойитилган АКФ-78 маркали каолин асосида NaXL адсорбентини синтез қилиш ва уларнинг адсорбцион хусусиятларини ўрганиш. асосида гидротермал усулда адсорбентлар олиш методикасини таклиф этиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида бойитилган АКФ-78 маркали каолин асосида олинган адсорбент – NaXL адсорбенти, сув, бензол ва н-гексан молекулалари олинган.

Тадқиқотнинг предмети маҳаллий хомашёлар асосида импорт ўрнини босувчи адсорбентларни олиш усуллари, уларни нефт-газ маҳсулотлари ва саноат оқава сувларини тозалаш жараёнларидаги қонуниятлари ҳамда адсорбентларнинг коллоид-кимёвий, адсорбцион хоссалари яъни, адсорбент-адсорбат таъсирлашиш механизмларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертация ишида физик ва коллоид-кимёвий (электрон микроскопия, ИК-спектроскопия, рентгенофазавий анализ, калориметрия, юқори вакуумли Мак-Бэн қурилмаси ва бошқа) тадқиқот ва таҳлил усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

бойитилган АКФ-78 маркали Ангрен каолини ва глиноземнинг 8:3 нисбатини автоген босим таъсирида ўзаро боғланишидан юқори кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбент олиш имконияти яратилган;

юқори кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбентларга сув, бензол ва н-гексан буғи адсорбциясининг дифференциал иссиқликлари тўлқинсимон поғонали қўринишда бўлиб, бошланғич тўйинишларда адсорбция дифференциал иссиқликлари конденсация иссиқликларидан 2-3 баробар юқори бўлиши аниқланган;

юқори кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбентга бензол ва н-гексан молекулаларига нисбатан сув молекулалари 5-7 баробар кўпроқ адсорбцияланиши исботланган;

бойитилган АКФ-78 маркали Ангрен каолини ва глиноземдан

фойдаланиб олинган юқори кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбентнинг интенсивлик чўққилари цеолитнинг интенсивлик чўққиларига мос келиши аниқланган;

бойитилган АКФ-78 маркали Ангрен каолини ва глиноземдан фойдаланиб, микроғовакли адсорбент олиш методи яратилган.

Тадқиқотнинг амалий натижаси.

NaXL адсорбенти бўшлиқларида сув ва бензол молекулалари адсорбцияланиш механизмининг назарий ва амалий тадқиқотларидан аниқланган натижалари асосида маҳаллий хомашёлардан микроғовакли адсорбентлар олиш методи яратилган;

адсорбцияланиш механизмини юқори вакуумли адсорбцион қурилмада микрокалориметрик усулда аниқлашнинг самарали услуби ишлаб чиқилган;

«Чиноз НКІЗ» МЧЖда нефт хомашёси, ярим маҳсулотлар ва тайёр маҳсулотлар таркибидаги бензол, турли хил ароматик углеводородлар молекулаларини адсорбция қилиб ажратиш олиш механизмлари асосланган;

«Чиноз НКІЗ» МЧЖда юқори сифатли бензин олишда тажриба сифатида синовдан ўтказилди, натижада водород сульфид, бензол, аммиак аралашмаларидан самарали тозалаш методикаси яратилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижалари адсорбентларни физик-кимёвий, коллоид-кимёвий хоссаларини ўрганишда электрон микроскопик, ИК-спектроскопик, рентгенофазавий анализ, юқори вакуумли адсорбцион калориметрик ва сезгир кварц спиралли Мак-Бен-Бакра қурилмаларидан фойдаланилганлиги, ҳамда саноат лаборатория синовидан ўтганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти амалга оширилган адсорбцион-калориметрик тадқиқот иши физик адсорбциянинг назарий ривожланиши мақсадида шунингдек, сорбцион техникада қурилма ва жараёнлар бўйича амалий ҳисоблаш учун зарур бўлган ҳамда ўрганилган тизимларнинг асосий термодинамик функцияларини аниқлаш имкониятига асос бўлади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти турли хил молекулаларнинг адсорбентлар адсорбцияланиши дастлабқидан то тўйиниш босимигача бўлган тўлиқ механизмларини ва молекулаларни фаол марказлардаги катионлар билан ҳосил қилган ион-молекуляр комплексларини ўрганилиши янги сорбентларни олиш ва қўллашнинг муҳум омили ҳисобланади. Бугунги кунда ОТМ магистрантларига физик ва коллоид кимё фанидан ўтиладиган махсус курсларда ўқув жараёнига қўллашга хизмат қилади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

АКФ-78 маркали каолин асосида адсорбентлар ва уларнинг адсорбцион хусусиятлари аниқлаш натижасида:

NaXL адсорбенти “Чиноз НКІЗ” да нефт хомашёлари, ярим тайёр ва тайёр маҳсулотлар таркибидаги водород сульфид, углерод- олтингугурт, бензол, аммиак молекулаларилардан тозалашда жорий этилган («Ўзбекнефтгаз» акциядорлик жамиятининг 2021 йил 28 декабрдаги 03-17-

5/211-сон маълумотномаси). Натижада, нефтни қайта ишлаш жараёнида уларни ароматик бирикмалар, уларнинг гомологлар ва бошқа моддалардан тозалаш даражасини 1,1 баробарга ошириш имконини берган;

NaXL адсорбенти “Чиноз НКИЗ” да нефт хомашёлари, ярим тайёр ва тайёр маҳсулотлари таркибидаги бензол, турли хил ароматик углеводород гомологлари ва олтингугуртли бирикмалардан тозалашда жорий этилган («Ўзбекнефтгаз» акциядорлик жамиятининг 2021 йил 28 декабрдаги 03-17-5/211-сон маълумотномаси). Натижада, нефтни қайта ишлаш жараёнида уни олтингугуртли бирикмалардан тозалаш даражасини 1,15 баробарга ошириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 2 халқаро ва 10 та Республика илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий ишлар чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан 4 таси Республика ва 2 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертация тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 108 бетни ташкил этди.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ ҚИСМИ

Кириш қисмида олиб борилган тадқиқот ишларининг долзарблиги ва зарурияти, мақсад ва вазифалари, ўрганилганлик даражаси, тадқиқот усуллари, объекти ва предмети, Ўзбекистон Республикаси фан ва технологияларни ривожлантириш йўналишига мувофиқлиги, тадқиқотнинг илмий янгилиги, натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш рўйхати келтирилган, чоп этилган ишлар ва диссертациянинг ҳажми, тузилиши бўйича маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «**L адсорбентларининг тузилиши, олиниши ва адсорбция хусусиятларини таҳлил қилиш (адабиётлар шарҳи)**» деб номланган биринчи бобида, L адсорбентлар ҳақида умумий тушунча, сорбцион ғовақларининг ҳосил бўлиши, адсорбент олиш учун алюмино силикатли хомашёлар, суюқ ва газ муҳитдаги ноорганик ва органик бирикмаларнинг адсорбцияси бўйича тадқиқот ишлари бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Изланиш объектлари, олинган адсорбентнинг физик-кимёвий хоссаларини аниқлаш усуллари**» деб номланган иккинчи бобида, ИҚ спектроскопия усули, сканерли электрон микроскоп, рентгенофазовий анализи усули, юқори вакуумли Мак-Бен Бакра ва универсал адсорбцион-микрокалориметрли қурилмаларда ишлаш ва олинган

натижаларни назарий ҳисоблашларда фойдаланиладиган формулалар тўғрисида батафсил маълумотлар берилган.

Диссертациянинг «Бойитилган АКФ-78 маркали каолидан микроғовакли NaXL адсорбенти синтези ҳамда уларнинг тузилишини физик–кимёвий усуллар билан тадқиқ этиш» деб номланган учинчи бобида адсорбент олиниши, физик кимёвий таҳлили, олинган маҳсулотнинг ИҚ спектр, сканерли электрон микроскопдаги тасвири ҳамда рентгенофазвий анализ натижалари келтирилган.

Тадқиқот ишида Республикада мавжуд бўлган бойитилган АКФ-78 маркали каолинини алюиносиликат манбаи сифатида танлаб олинди. Унинг таркибий қисми қуйидагича (1-жадвалда келтирилган).

1-жадвал

Ангрен каолининг кимёвий таркиби

Модда	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₃ O ₄	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO	Бошқа моддалар
%	35,1	1,24	0,8	0,283	0,723	4,69	0,07	48,9	0,605	7,589

Каолин таркиби адсорбент синтезига салбий таъсир қилувчи қўшимча бирикмалардан тозалаб олинди. Бунда, биринчи босқичда, дастлаб сульфат кислотанинг 2% ли эритмасидан ва кейин хлорид кислотанинг 5% ли эритмаларидан фойдаланилди. Иккинчи босқичда, эса 3% ли натрий ишқори эритмасида олиб борилди (2- жадвал).

2-жадвал

Тозаланган каолин таркиби

Модда	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂	Fe ₃ O ₄	Бошқа моддалар
%	38,4	5,5	54,6	0,1	1,4

Каолин табиий алюиносиликат бўлиб, унда кремний оксидининг алюминий оксидига моляр нисбати 1,0 - 1,15 ни ташкил қилади. Каолин кремний-кислородли тетраэдр ва алюминий-кислород октаэдрларининг такрорий қатламлари натижасида ҳосил бўлган қатламли тузилишга эга.

Ҳавода қиздирилганда каолин бир неча ўзгаришлар босқичидан ўтади. Биринчи, 550-650°C ҳароратда эндотермик сувсизланиш туфайли метакаолиннинг (алюминий дисиликат), тартибсиз (аморф) фазаси ҳосил бўлади. Метакаолиннинг тузилиши бу аморф кремний ва алюминий оксидларининг аралашмасидир. Адсорбентни ёпиқ идишда гидротермал усул ёрдамида ҳарорат, автоген босим ва ҳар хил вақт (бир неча соатдан бир неча кунгача) оралиғида ҳосил қилиш мумкин. Кристалланиш тезлиги ҳароратга тўғри пропорционал, нуклеатация тезлиги эса ҳароратга тескари пропорционалдир. Адсорбентлар реакция аралашмасининг таркиби (Si – Al нисбати), гидроксид анионлар ва ноорганик катионлар миқдорига қараб турлича бўлади. Кремнийнинг алюминийга нисбатини ошиши адсорбентларнинг физик хусусиятларига кучли таъсир қилади. Гидроксид

анионлари силикатларнинг қаттиқ фазадан эритмага ўтказишга таъсир кўрсатиб, нуклеация вақтини ўзгартиради.

Реакция аралашмасининг рН қиймати синтез учун жуда муҳим омил ҳисобланиб, жараёнда муҳитнинг барқарорлиги талаб қилинади. Адсорбентларнинг ҳосил бўлиш жараёни ишқорий муҳитда амалга оширилади. Адсорбент синтезида чиқинди материаллардан фойдаланиш экологик муоммоларни, асосан, сувни тозалаш, оғир металлларни ёки аммиакни ажратиб олиш саноатда муҳим ҳисобланиб, уларни фойдали маҳсулотга айлантиради.

Табийий бойитилган каолиндан тайёрланган адсорбентларда каолин таркибидаги Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, Ni каби бегона элементлар борлиги туфайли синтез қилишда бирмунча қийинчиликлар юзага келади. Чунки бу элементлар адсорбентнинг қаттиқлиги ва каталитик хусусиятларига, шунингдек, ишлаб чиқариш унумдорлигига салбий таъсир кўрсатиши мумкин.

Замонавий адабиётлар таҳлили асосида тадқиқот объекти сифатида келтирилган маҳаллий бойитилган АКФ-78 маркали каолиндан фойдаланилган ҳолда NaXL адсорбентининг олиниш схемаси тузилди (1-расм).

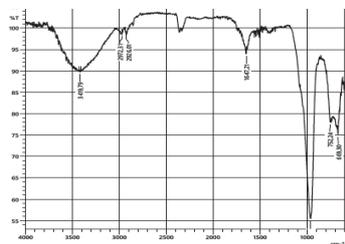


1-расм. NaXL адсорбентининг олиниш схемаси

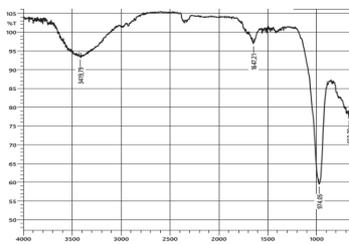
Бунинг учун дастлабки босқичда каолинга 900°C гача бўлган ҳароратларда ишлов берилди ва метакаолин олинди. Метакаолин таркибий моллар нисбати – $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)=3:1$ ни олиш учун NaOH эритмаси ва $\gamma - \text{Al}_2\text{O}_3$ эритмаси билан аралаштирилди. Реакция аралашмаси учун $(\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3) = 1,1:1$ ва $(\text{H}_2\text{O}/\text{NaOH}) = 8:1$ нисбатли бирикмалар ишлатилди. Олинган намуна 60–350°C ҳарорат оралиғида 24 соат давомида ёпиқ идиш ҳамда автоген босимда ишлов берилди. Механик ва кимёвий ишлов бериш орқали бойитилган каолиндан адсорбент NaXL эритмаси олинди. Олинган эритма муҳитини нейтраллаш учун дистилланган сувда чайилди ва эритма 48 соат давомида 120°C ҳароратда қуритилди.

2-(А ва Б) расмда ютилиш зоналари 1300 – 900 cm^{-1} да кузатилди ва Si-O-Si алоқалари тебранишларга мос келади. 610,37 ва 700,05 cm^{-1} оралиғидаги ютилиш чизиқлари Al-O боғининг чўзилган тебранишларини, 801,35 cm^{-1} да

AlO₄ нинг эгилиш тебранишларини ва 1650,64 см⁻¹ да бўлади сув молекулаларининг деформация тебранишларига. 3400 см⁻¹ гача бўлган кенг ассимиляция зонаси қатламлараро бўшлиқда адсорбцияланган сув молекулаларининг чўзилган тебранишларига мос келади. 960 см⁻¹ ва 3720-3740 см⁻¹ минтақада ютилиш зоналарининг йўқлиги адсорбент таркибида юқори кристаллик ва қўшимча моддалар аморф фазаларнинг йўқлигини кўрсатади.



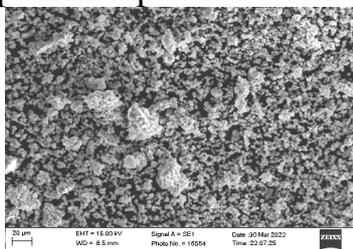
А)



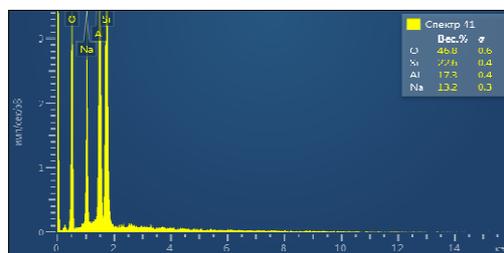
Б)

2-расм. А) L цеолити ИК спектори, Б) NaXL адсорбент ИК спектори.

1300-900 см⁻¹ диапазонидаги кенг ассимиляция зонаси Si-O ва Al-O (H) боғланишларининг ташқи ва ички ассиметрик чўзиш тебранишларига мос келадиган ютилиш қисмидир. 500-400 см⁻¹ диапазонидаги ютилиш бўлаклари Si(Al)-O нинг эгилиш тебранишларига мос келади. 1460 см⁻¹ даги ютилиш зонаси OH гуруҳларининг ташқи тебранишлари билан, 1800-1600 см⁻¹ диапазонидаги кенг диапазон эса, молекуляр сувнинг тебранишлари билан боғлиқ. O-Si(Al)-O алоқаларининг тебранишлари ва ички тетрада ассиметрик чўзиш тебранишлари гексоганал TO₄ дир.



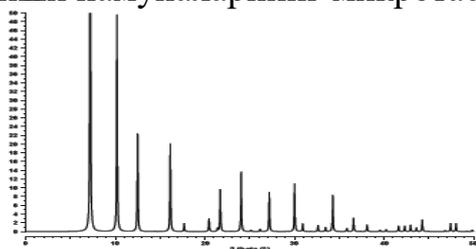
А)



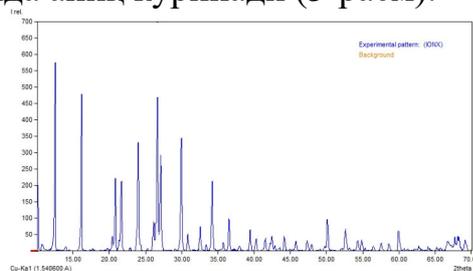
Б)

3-расм. NaXL адсорбентининг сканерли электрон микроскопдаги тасвири (А), элементар таркиби (Б).

Каолинга ишлов бериш жараёнида структура ва элементар таркиб ўзгариши намуналарнинг микротасвирларида аниқ кўринади (3-расм).



А)



Б)

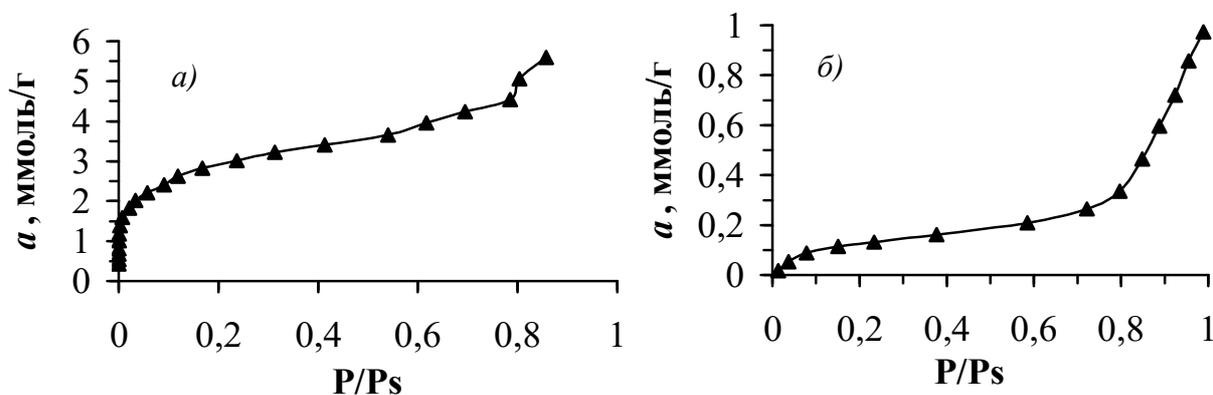
4-расм. L цеолити (А) ва NaXL адсорбенти (Б) нинг рентгенограммаси

Диапазондаги ютилиш бандлари $1800-1300 \text{ см}^{-1}$ ОН гуруҳларининг тебранишларига мос келади ва молекуляр сув паст интенсивликка эга.

Намуналарни микротасвирларидан кўришиб турибдики, дастлабки каолинда мавжуд бўлмаган адсорбентларга хос кубик кристалитлардан ташкил топган сферулитлар ҳосил бўлишини кўриш мумкин.

4-расмда NaXL адсорбенти намуналарининг рентгенограммаси (А) ва элементар таркиби (Б). Шеррер тенгламасига кўра, $D_{hkl} = K\lambda/(\beta \times \text{Cos}\theta_{hkl})$ кристаллар ҳажмининг пасайиши чўққилар кенгайишига олиб келади. NaXL адсорбенти учун идентификация чўққилари $2\theta = 7,18, 10,17$ ва $12,46$ даража.

Диссертациянинг «**Бойитилган АКФ-78 маркали каолин асосида олинган NaXL адсорбентининг адсорбцион хусусиятлари**» деб номланган тўртинчи бобида Мак-Бен вакуумли қурилмасида олинган натижалар асосида NaXL адсорбентига сув ва бензол молекулалари адсорбция изотермалари қийматлари ёрдамида солиштирма юзаси, тўйиниш адсорбцияси, микро ва мезоғоваклар ҳисоблаб топилди.



5-расм. NaXL адсорбентида сув буғи адсорбция изотермаси (а), NaXL адсорбентида бензол буғи адсорбция изотермаси (б).

Олинган NaXL адсорбентига сув ва бензол буғи адсорбция изотермалари (5-а- ва б-расм) асосида БЭТ тенгламаси ёрдамида адсорбентлар моноқоват сифими (α_m), солиштирма юзалари (S) ва тўйиниш адсорбцияси (α_s) ҳисобланди (3,5-жадвал).

3-жадвал

Бойитилган АКФ-78 маркали каолиндан олинган NaXL адсорбентида сув ва бензол буғи адсорбциясига кўра ғоваклар ҳажми

№	Адсорбентлар	Микроғоваклар ҳажми $W_0 \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Мезоғоваклар ҳажми $W_{me} \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Тўйиниш ҳажми $V_s \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$
1	NaXL адсорбенти (сув учун)	0,465	0,24	0,86
2	NaXL адсорбенти (бензол учун)	0,052	0,07	0,02

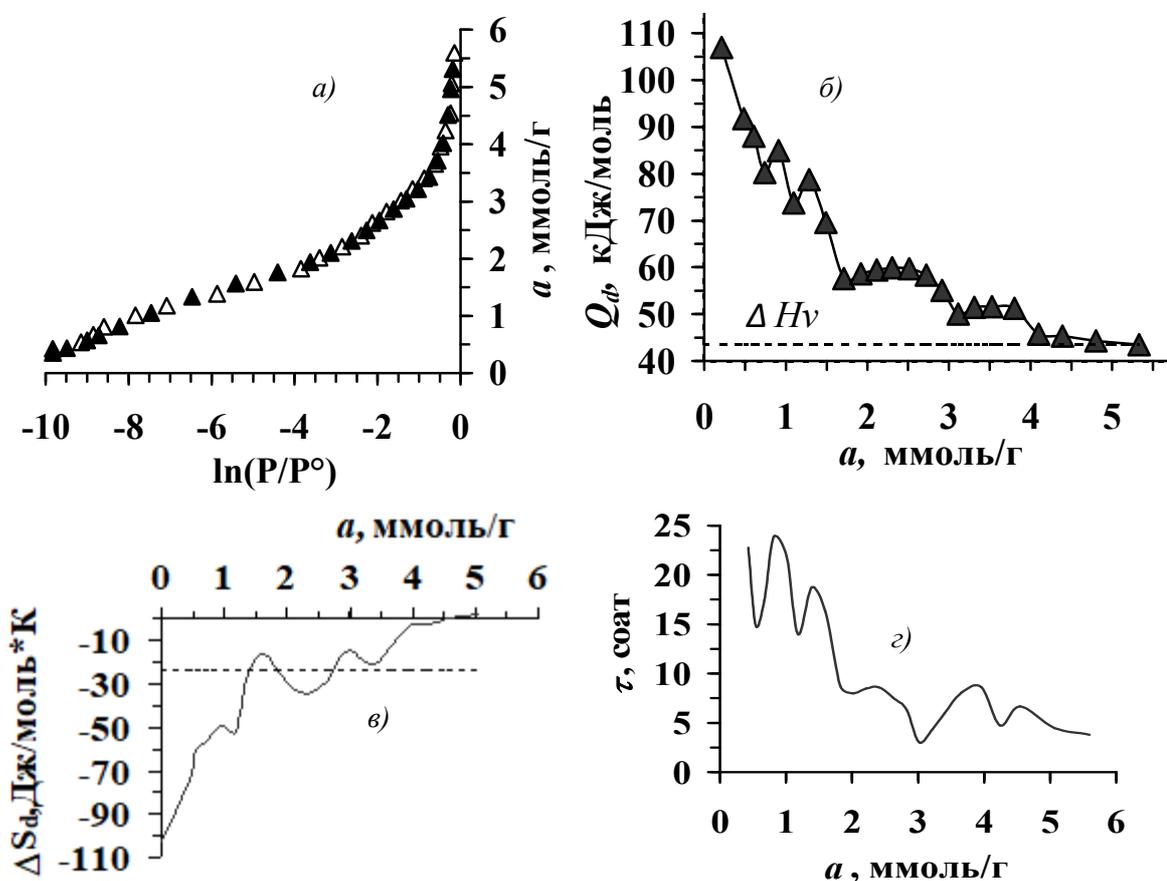
Тадқиқот иши давомида NaXL адсорбентига сув ва бензол буғи адсорбцияси изотермалари асосида турли нисбий босимда (P/P_s) аниқланган

адсорбция ҳажмлари сув учун 0,465, бензол учун 0,052 да микроғоваклар W_0 , мезоғоваклар $W_{me}=V_s-W_0$ ва тўйиниш адсорбция ҳажмлари V_s қуйидаги 4-жадвал келтирилган.

4-жадвал.

Бойитилган АКФ-78 маркали каолиндан олинган синтетик NaXL адсорбентида сув ва бензол буғи адсорбцияси бўйича структура-сорбцион кўрсаткичлари

№	Адсорбентлар	Моноқоват сифими, α_m , моль/кг	Солиштира юзаси, S м ² /г	Тўйиниш адсорбцияси, α_s , моль/кг	Ғовакларнинг ўртача радиуси r , Å
1	NaXL адсорбенти (бензол учун)	1.095	136,22	1,83	12,8
2	NaXL адсорбенти (сув учун)	2.067	497,67	4,75	16,9



6(a, б, в, г)-расмларда бойитилган АКФ-78 маркали каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларда сув буғлари адсорбция изотермаси, дифференциал иссиқлиги, дифференциал энтропияси ва мувозанат вақти

6(a)-расмда маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларга сув буғи адсорбцияси изотерма графиги келтирилган.

Маҳаллий ангрэн каолини ва глиноземдан олинган NaXL адсорбентида сув молекулалари адсорбция изотермаси уч ҳадли микроғовакларнинг тўйиниш назарияси тенгламаси ёрдамида (МХТН) тавсифланди.

$$a=1,808\exp[(A/21,89)^4]+1,625\exp[(A/6,20)^2]+4,447\exp[(A/0,55)^1],$$

Адсорбция изотермаси дастлабки логарифмик қиймати -9,82 ни ташкил қилади. 1 ммол/г сув адсорбцияланганда изотерма қиймати -7,84 га етади. 3 ммол/г сув адсорбциялангунига қадар изотерма графиги аста секинлик билан ўсиб боради. 3 ммол/г дан кейинги адсорбция изотермаси вертикал кўринишга ўсиб боради ва бу ўсиш сув буғининг тўйиниш буғ босимиғача давом этади. Адсорбция изотермаси кам ўсиб боришида сув буғи микроғовакларда кучли адсорбцияланишидан далолат беради.

б-(б)-расмда маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентга сув буғи адсорбцияси дифференциал иссиқлиги кўрсатилган. Дастлабки тўйинишларда адсорбция дифференциал иссиқлиги 106,64 кЖ/мол ни ташкил қилади. Адсорбция иссиқлиги аста секинлик билан пасайиб боради ва 80 кЖ/молда адсорбция миқдори 0,74 ммол/г ни ташкил қилади. Адсорбция 1.75 ммол/г га қадар адсорбция дифференциал иссиқлиги тўлқинсимон пағонали кўринишда пасайиб боради ва 55 кЖ/мол ни ҳосил қилди. Бу кўрсаткичлар адсорбатнинг иссиқлик конденсациясига қараб бироз фарқ қилиши мумкин. Чунки газ ҳолатидаги сорбатларнинг конденсация иссиқлиги одатда 20-30 кЖ/мол оралиғида боради. Адсорбция дифференциал иссиқлигининг юқори бўлиши олинган адсорбентлардаги бўш микроғовакларга сув молекулаларининг тақсимланишига кўп энергия сарфланади. 1,75 ммол/г дан кейин адсорбциянинг дифференциал иссиқлиги 1,41 ммол/г, сув адсорбцияси учун 57,57 кЖ/мол дан 50,25 кЖ/мол гача пасаяди. Кейинги 1 ммол/г сув адсорбциясида адсорбция иссиқлиги 45,74 кЖ/молгача камаяди ва жараён охирига бориб конденсация иссиқлиги қийматига тенглашади.

Маҳаллий каолиндан модификациялаб олинган микроғовакли адсорбентга 5,33 ммоль/г сув адсорбцияланади.

б(в)-расмда 303 К ҳароратда маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларга сув буғлари адсорбциясининг дифференциал энтропияси кўрсатилган. Гиббс-Гелмголдс тенгламасининг формуласи маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларда сув буғлари адсорбциясининг дифференциал иссиқлик ва изотермик қийматлари ёрдамида дифференциал энтропияни ҳисоблаш учун ишлатилган.

$$\Delta S_d = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{-(Q_d - \lambda) + A}{T}$$

λ -термал конденсация, ΔH ва ΔG - энталпия ва эркин энергиянинг ўзгариши, T - ҳарорат, Q_d - ўртача иссиқлик.

Адсорбциянинг дифференциал энтропияси дастлаб -102,74 Ж/мол*К дан бошланади. Шундан сўнг, энтропия графиги аста секинлик билан кўтарилиши кузатилади. Бу бўшлиқлар катионларнинг сони кўплиги сабабли катионлар миграцияси ва адсорбциясида энергия тақсимои тартибли бўлади ва кучли адсорбцияланади. Ўртача интеграл энтропия -25,22 Ж/мол*К ни ташкил этади. 5 ммол/г дан кейин сув стандарт ҳолат энтропиясидан юқори бўлиб, суюқ ҳолат энтропиясини ҳосил қилади. Шундай қилиб, маҳаллий каолиндан олинган адсорбентни тўйинтириши учун 5,33 ммол / г сув

сарфланади. Бошқа турдаги адсорбентлар каби сув молекулалари адсорбциясида дастлаб дифференциал иссиқлик юқори бўлади ва сувни ютган сари поғонали кўринишида пасайиб боради. Адсорбент микроғовакларидида дастлабки 1,5 ммол/г сув мустаҳкам ўрин олади. Ўртача интеграл дифференциал энтропия $-25,22 \text{ Ж/мол} \cdot \text{К}$ бўлиб, сув молекулалари адсорбент матричасида мустаҳкам қўзғалмаган ҳолатда адсорбцияланади. Бошланғич тўйинишларда адсорбция мувозанат қарор топишига кўп вақт кетади. Аста секинлик билан тўйиниб борган сари адсорбция термокинетикаси бир неча дақиқага тушади.

6(з)-расмда маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларда сув буғлари адсорбциясининг термокинетикаси (мувозанат вақти) келтирилган. Ушбу адсорбентда мувозанат вақти чизиқлари кучли тўлқинсимон кўринишда бўлади. Олинган адсорбентга сув адсорбцияси мувозанат вақти дастлаб 23 соатни ташкил қилади. Бошланғич тўйинишларда микроғовакларда бўш жойлар ва катионларнинг кўп бўлганлиги сабабли сув адсорбциясининг мувозанати қарор топишига кўпроқ вақт сарфланади. Шундан сўнг адсорбция миқдори 2 ммол/г дан кейин мувозанат вақти 8 соатгача камаяди. Жараён охирида мувозанат бир соатдан 40 дақиқагача камаяди.

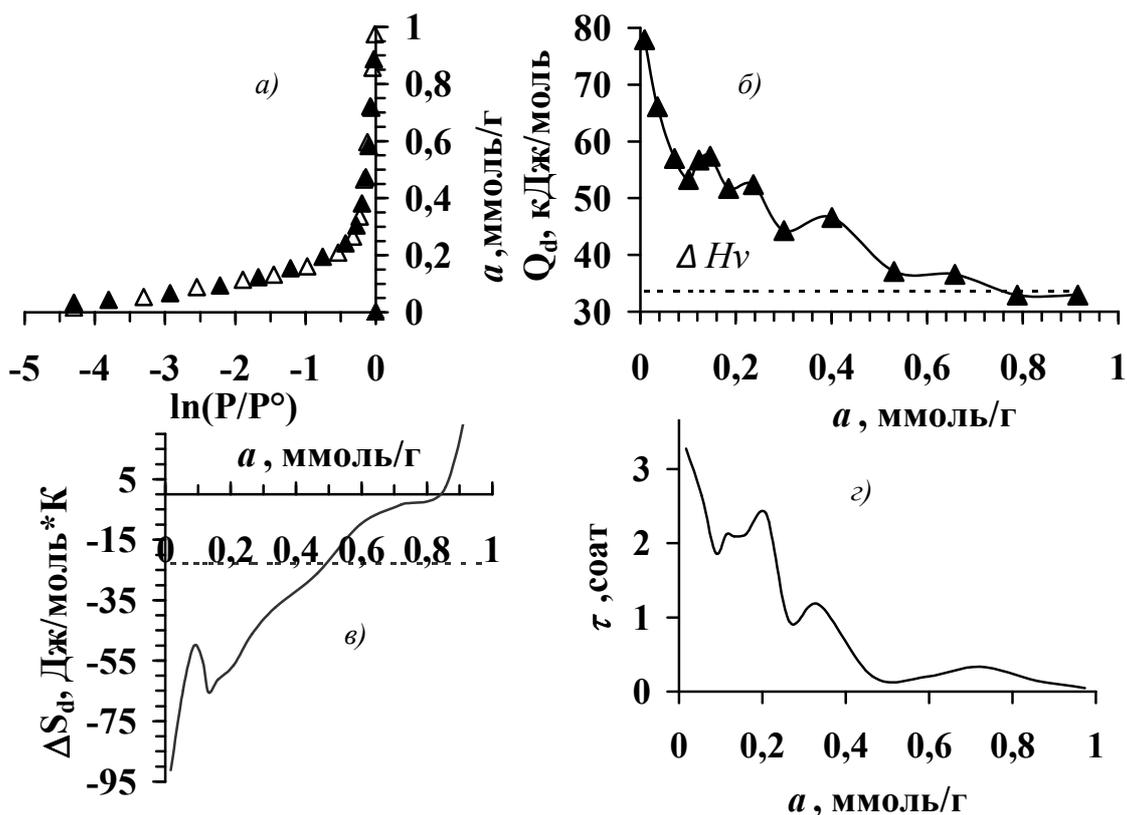
7(а)-расмда NaXL адсорбентида бензол адсорбцияси изотермаси логарифмик координатада келтирилган. Бензол молекулаларининг адсорбатларда 303 К да тўйиниш буғ босими 119,35 мм.сим.уст.га тенг бўлади. NaXL адсорбентда бензол молекулалари адсорбция изотермаси икки ҳадли микроғовакларнинг тўйиниш назарияси тенгламаси ёрдамида (МХТН) тавсифланди.

$$a=0,28\exp[(A/5,12)^1]+0,8\exp[(A/0,27)^1],$$

a -микроғовакларда адсорбция миқдори C_6H_6 , $A=RT\ln(P^\circ/P)$ -эркин энергия иши (кЖ/моль).

NaXL адсорбентида дифференциал иссиқлиги (Q_d) тўлқинсимон кўринишда пасайиб боради (7(б)-расм). NaXL адсорбентида бензол адсорбциясида бошланғич тўйинишларда дифференциал иссиқлик 77,90 кЖ/мольдан 53,30 кЖ/мольгача пасаяди. Кейинги бензол молекуласи адсорбцияланишида 0,1 ммоль/г дан 0,19 ммоль/г оралиғида бориб, адсорбция максимал иссиқликка етиб, 57,4 кЖ/моль гача кўтарилади. 0,19 ммоль/г бензол адсорбцияланишида дифференциал иссиқлик 51,7 кЖ/моль дан кейин пасайиш кузатилади. Адсорбент сирт юзаларида бензол молекулалари адсорбцияланишида π -комплекслар ҳосил бўлади. π -комплекслар шаклланиши учун NaXL адсорбенти сирт юзаларида 0,4 ммоль/г бензол ютилади. Маҳаллий ангрен каолини ва глиноземдан олинган NaXL адсорбентига бензол молекулаларининг адсорбцияланиши асосан ғоваклар кириш қисмида жойлашган натрий катионлари билан π -комплекслар ҳосил қилиши билан боради. Шу сабабли дастлаб дифференциал иссиқлик юқорида боради. Кейинчалик эса пасайиши кузатилади.

7(в)-расмда 303 К ҳароратда маҳаллий каолидан олинган микроғовакли адсорбентларга бензол буғлари адсорбциясининг дифференциал энтропияси кўрсатилган. Шунингдек, бу қатламда бензолнинг ҳаракатчанлиги суюқ бензолдаги ҳаракатчанликка нисбатан бирмунча секинлашади. Ўртача моляр интеграл энтропия $-22,69 \text{ Ж/моль}\cdot\text{К}$ га тенг, шунинг учун бензол NaXL адсорбенти тизимида бензолнинг ҳолати суюқликка ўхшашдир. Дифференциал энтропия графигидан кўришиб турибдики, адсорбция $0,20 \text{ ммоль/г}$ ва $0,520 \text{ ммоль/г}$ бўлганда энтропия чизиқлари ўртача интеграл энтропия чизиғидан юқори эканлиги кузатилди.



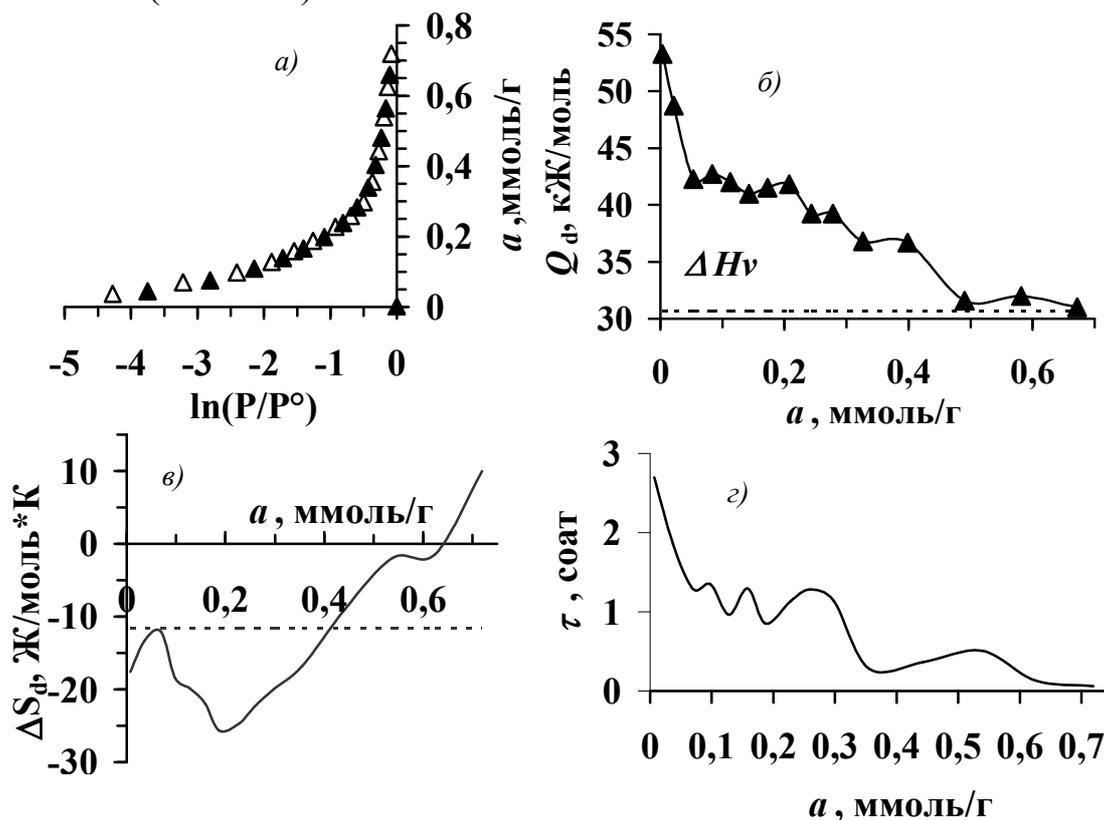
7(а, б, в, г)-расм. NaXL адсорбентида бензол адсорбцияси изотермаси, дифференциал иссиқлиги, энтропияси ва термокинетикаси

Адсорбция мувозанат вақти шуни кўрсатадики, $0,06 \text{ ммоль/г}$ га етгунга қадар биринчи қаватлараро қатламда адсорбция дифференциал иссиқлиги юқори бўлганидек, мувозанат вақти ҳам юқори бўлади (7(г)-расм). Бу босқичда бензол молекулалари 4,5 дан 3,8 соат оралиғида боради. NaXL адсорбенти катакларида бўш жойларнинг кўплиги ва бензолнинг тақисимланиб мувозанат қарор топишига кўп вақт сарфланади.

8(а)-расмда NaXL адсорбентида н-гексан адсорбциясининг изотермаси логарифмик координатада келтирилган. Маҳаллий ангрэн каолини ва глиноземдан олинган NaXL адсорбентида н-гексан молекулалари адсорбция изотермаси икки ҳадли микроғовакларнинг тўйиниш назарияси тенгламаси ёрдамида (МХТН) тавсифланди.

$$a=0,365\exp[(A/4,47)^1]+0,578\exp[(A/0,45)^1],$$

α -микрофовакларда адсорбция микдори C_6H_{14} , $A=RT\ln(P^{\circ}/P)$ -эркин энергия иши (кЖ/моль).



8(a, б, в, з)-расм. NaXL адсорбентида н-гексан адсорбцияси изотермаси, дифференциал иссиқлиги, энтропияси ва термокинетикаси

NaXL адсорбентида дифференциал иссиқлиги (Q_d) тўлқинсимон кўринишда пасайиб боради (8(б)-расм). NaXL адсорбентида н-гексан адсорбциясида бошланғич тўйинишларда дифференциал иссиқлик 53,26 кЖ/мольдан 42,27 кЖ/мольгача пасаяди.

Кейинги н-гексан молекуласи адсорбцияланишида 0,053 ммоль/г дан кЖ/мольгача кўтарилади. 0,143 ммоль/г н-гексан адсорбцияланишида дифференциал иссиқлик 41,0 кЖ/мольдан кейин пасайиш кузатилади. Дастлабки 42,27 кЖ/мольгача борадиган иссиқлик адсорбент фаол марказларни ҳосил қилувчи бўшлиқларнинг сирт юзаси яқинида жойлашган натрий катионлари билан ўзаро таъсирлашади. Бунда водород боғланишлар кузатилади ва мономер комплексларни ҳосил қилади.

Н-гексан молекулалари NaXL адсорбентига адсорбциясида 0,053 ммоль/гдан 0,53 ммоль/г оралиғида адсорбция иссиқлиги 42,27 кЖ/мольдан 41,00 кЖ/мольгача пасайиш билан боради. Бу сирт юзаларда адсорбция жараёни мураккаб тавсифга эга бўлиб, асосан катионларнинг кўчиши билан амалга ошади. 0.49 ммоль/г дан кейин сорбцияланган н-гексан молекулаларида конденсация иссиқлигига қараб интилиш кузатилади. 0,49 ммоль/гдан кейинги адсорбцияланган н-гексан молекулалари иссиқлик конденсацияси қиймати бўйича бориши кузатилади. 303 К да н-гексаннинг иссиқлик конденсация қиймати 30,73 кЖ/мольга тенг бўлади. Маҳаллий ангрэн каолини ва глиноземдан олинган NaXL адсорбентига н-гексан

молекулаларининг адсорбцияланиши асосан ғоваклар кириш қисмида жойлашган натрий катионлари билан молекуляр комплекслар ҳосил қилиши билан боради.

NaXL адсорбентига н-гексан адсорбцияси бешта босқичда боради. Бу босқичлар қуйидагича: биринчи 0,003 ммоль/г-0,053 ммоль/г, иккинчи 0,053 ммоль/г-0,143 ммоль/г, учинчи 0,143 ммоль/г-0,243 ммоль/г, тўртинчи 0,243 ммоль/г-0,326 ммоль/г ва бешинчи 0,326 ммоль/г-0,5 ммоль/г оралиқларида боради. NaXL адсорбентига жами 0,72 ммоль/г н-гексан адсорбцияланади. 0,22 ммоль/г н-гексан молекулалари қайта тақсимланиш жараёни орқали сорбцияланади.

8(в)-расмда NaXL адсорбентида н-гексан адсорбцияси дифференциал энтропияси келтирилган. Ўртача моляр интеграл энтропия $-11,54 \text{ Ж/моль} \cdot \text{К}$ га тенг, шунинг учун н-гексан NaXL адсорбенти тизимида н-гексаннинг ҳолати суюқликка ўхшашдир. Дифференциал энтропия графигидан кўриниб турибдики, адсорбция 0,005 ммоль/г ва 0,42 ммоль/г бўлганда энтропия чизиқлари ўртача интеграл энтропиядан чизигидан юқори эканлиги кузатилди. Ушбу энтропия қийматларига асосланиб адсорбциянинг 76,3% адсорбент сирт юзаларида локализацияланишидан далолат беради.

Адсорбция мувозанат вақти шуни кўрсатадики, 0.01 ммоль/г да адсорбент сирт юзаларида сорбцияланиб, дифференциал иссиқлиги юқори бўлганидек, мувозанат вақти (термокинетика) ҳам юқори бўлади (8(з)-расм). Бу босқичда н-гексан молекулалари 2,7 дан 1,29 соат оралиғида боради. NaXL адсорбенти катакларида бўш жойларнинг кўплиги ва н-гексаннинг тақсимланиб мувозанат қарор топишига кўп вақт сарфланади. Кейинги босқич сирт юзаларида адсорбцияланиш учун мувозанат вақти 1,5-1,75 соатда қарор топади. Адсорбция жараёни охирлашган сари эса мувозанат вақти 1,2 соатдан аста секинлик билан 20 дақиқагача камайиб боради.

ХУЛОСАЛАР

Диссертацияси ишини бажаришда олинган асосий илмий натижалари қуйидагилар ҳисобланади:

1. Республикамизда кремний ва алюминийли микроғовакли адсорбентлар олиш учун хом ашё базасини тадқиқ қилинди. Бойитилган АКФ-78 маркали Ангрэн каолини ва глиноземдан фойдаланиб микроғовакли адсорбент олишнинг усуллари танланди ва олинган адсорбентнинг кимёвий таркиби, физик кимёвий хусусиятлари, коллоид кимёвий хоссалари аниқланди.

2. Бойитилган АКФ-78 маркали Ангрэн каолини ва глиноземдан фойдаланиб олинган микроғовакли адсорбентга сув ва бензол буғи адсорбциясининг изотерма ва адсорбция миқдори қийматлари ёрдамида адсорбатга нисбатан солиштирма сирт юзалари, микро ва мезоғоваклари, тўйиниш ҳажми аниқланди.

3. Ангрэн каолини ва глиноземдан олинган NaXL адсорбенти адсорбентни тўйинтириши учун 5,33 ммоль/г сув сарфланди. Бунда дастлаб

дифференциал иссиқлик юқори бўлади ва сувни ютган сари поғонали кўринишида пасайиб боради. Ўртача интеграл дифференциал энтропия - $25,22 \text{ Ж/мол} \cdot \text{К}$ бўлиб, сув молекулалари адсорбент матричасида мустақкам кўзгалмаган ҳолатда адсорбцияланади. Бошланғич тўйинишларда адсорбция мувозанат қарор топишига кўп вақт кетади. Аста секинлик билан тўйиниб борган сари адсорбция термокинетикаси бир неча дақиқага тушади.

4. NaXL адсорбентига бензол адсорбциясида бошланғич тўлдиришларда адсорбция иссиқлиги $77,90 \text{ кЖ/мольни}$ ташкил қилади. Адсорбция дифференциал иссиқлиги тўлқинсимон кўринишда пасайиб боради. Адсорбция изотермаси қийматлари асосида БЭТ ва Ленгмюр тенгламалари ёрдамида солиштирма сирти аниқланди. Ўртача интеграл энтропия қиймати - $25,12 \text{ Ж/моль} \cdot \text{К}$ ни ташкил этади. Адсорбция мувозанат қарор топиш вақти дастлаб $3,5$ соатдан бошланади ва NaXL адсорбентини сирт юзаларига адсорбцияланишига қараб бир неча дақиқагача камаяди. Синтетик NaXL адсорбенти жами $0,97 \text{ ммоль/г}$ бензолни адсорбциялайди.

5. NaXL адсорбентига н-гексан адсорбциясида бошланғич тўлдиришларда адсорбция иссиқлиги $53,26 \text{ кЖ/мольни}$ ташкил қилади. Адсорбция дифференциал иссиқлиги тўлқинсимон поғонали кўринишда пасайиб боради. Адсорбция иссиқлиги бешта қисмга бўлиб ўрганилди. Микроғоваклар юзаларида адсорбция изотермалари микроғовакларнинг ҳажмий тўйиниш назарияси тенгламаси ёрдамида тавсифланди. Бензол ва н-гексанга нисбатан адсорбент сирт юзаларини изотерма қийматларига асосланиб БЭТ ва Ленгмюр тенгламалари ёрдамида солиштирма сирти аниқланди. Ўртача интеграл энтропия қиймати $-11,54 \text{ Ж/моль} \cdot \text{К}$ ни ташкил этади. Адсорбция мувозанат қарор топиш вақти дастлаб $2,7$ соатдан бошланади ва NaXL адсорбентини сирт юзаларига адсорбцияланишига қараб бир неча дақиқагача камаяди. NaXL адсорбенти жами $0,72 \text{ ммоль/г}$ н-гексанни адсорбциялайди.

6. Бойитилган АКФ-78 маркали Ангрен каолини ва глиноземдан фойдаланиб олинган микроғовакли адсорбент, импорт юқори сорбцион ҳажмли адсорбентга бўлган талабни камайтиришга олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 02./30.12.2019.К/Т.35.01 ПО
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ОБЩЕЙ
И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ

ХУДАЙБЕРГАНОВ МАНСУР САБУРОВИЧ

**АДСОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ КАОЛИНА МАРКИ АКФ-78 И ИХ
АДСОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА**

02.00.11 – Коллоидная и мембранная химия

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ХИМИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент–2023

Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована под номером B2023.2.PhD/K650. Высшая аттестационная комиссия при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан

Диссертация выполнена в Институте общей и неорганической химии.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета по адресу www.ionx.uz и Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу www.ziyo.net

Научный руководитель:

Рахматкариева Фируза Гайратовна
доктор химических наук, старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Кулдашева Шахноза Абдулазизовна
доктор химических наук, профессор

Бахронов Хаёт Нурович
доктор технических наук, доцент

Ведущая организация:

Наманганский инженерно-технологический институт

Защита диссертации состоится “3” август 2023 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.02./30.12.2019.K/T.35.01 при Институте общей и неорганической химии (Адрес: 100170, Ташкент, Мирзо Улутбек, 77-а.тел.: (+99871) 262-56-60, факс: (+99871) 262-76-90, e-mail: ionxanguz@nuu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института общей и неорганической химии (Зарегистрировано № 2). Адрес: 100170, Ташкент, ул. Мирзо - Улутбека, 77-а.тел.: (+99871) 262-56-60, факс: (+99871) 262-76-90.

Автореферат диссертации разослан “21” июль 2023 года.
(реестр протокола рассылки № 1 от “21” июль 2023 года).



Б.С. Закиров
Председатель научного совета по присуждению ученых степеней, д.х.н., проф.

Д.С.Салиханова
Ученый секретарь научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., проф.

И.Д.Эшметов
Заместитель Председателя научного семинара при научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., проф.

ВВЕДЕНИЕ (Аннотация PhD диссертации)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мире адсорбенты широко применяются при очистке хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод природного и технического назначения от различных видов отходов, в качестве катализатора и адсорбента в нефтегазовой промышленности, в медицине в качестве энтросорбента. Сегодня микропористые адсорбенты в основном получают на основе бентонита, каолина, нефелина. Микропористые адсорбенты на основе каолина важны при очистке нефтегазовых продуктов и промышленных сточных вод.

В мире проводятся научные исследования по получению микропористых адсорбентов из сырья, содержащего оксиды кремния и алюминия, по созданию технологии очистки от органических соединений состава сточных вод нефтепереработки. Изучению адсорбции полярных и неполярных молекул адсорбата полученных адсорбентов, определению механизма взаимодействия адсорбент-адсорбат; необходимость изучения изотерм адсорбции и описанию их сорбционно-структурных свойств, а также размеры пор с помощью уравнения объемного заполнения микропор.

В нашей республике, создание новых типов производств, расширение видов конкурентоспособной продукции, в результате чего достигаются научно-практические исследования по получению адсорбентов, используемых при осушке, очистке сточных вод на предприятиях по переработке нефти и газа и изучению их адсорбционных свойств.

По третьему направлению Стратегии развития Нового Узбекистана, направленного на дальнейшее развитие Республики Узбекистан, «В области нефти и газа за счет ускорения трансформационных процессов, внедрения рыночных механизмов газоснабжения с гарантиями социальной защиты ². В связи с этим получение микропористых адсорбентов с высокоэффективными адсорбционными свойствами и использование их в нефтегазовой промышленности и очистке сточных вод на сегодняшний день имеет большое значение.

О мерах по повышению качества непрерывного образования и эффективности науки в области химии и биологии», ПЗ - 4265 от 3 апреля 2019 года «Дополнительно реформирование химической промышленности и ее инвестиционной привлекательности «о мерах по повышению» и реализации задач, определенных в постановлении «О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы», направленных на дальнейшее развитие Республики Узбекистан № ПФ-60 от 28 января 2022 года и иными

²Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года « О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы »

нормативными правовыми актами, относящимися к данной деятельности, в определенной степени служит данное диссертационное исследование.

Связь исследований с приоритетными направлениями развития науки и техники республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и техники республики VII «Химические технологии и нанотехнологии».

Степень изученности проблемы. Э.Б.Джонсон, Сазмал Э. Аршад, Джахимин Асик, В.Ю. Прокофьев, Н.Е. Гордина, А.М. Ефремов, А.Б. Жидкова, С. Колин, П. Канди, Дж. Б. Хиггинс, К. Д. Шмитт, Г. А. Мамедова и многие другие ученые проводили научные исследования.

В Узбекистане под руководством профессора Г.У. Рахматкариева была создана научная школа, последователями которой были Рахматкарева Ф.Г., Эргашев О.К., Бахронов Х.Н., Абдурахмонов Э.Б., Джумаева Д.Дж., Якубов Ю.Ю. и др. изучали дифференциальную теплоту, изотерму, термокинетику и энтропию адсорбции цеолитов А, X, Y и ZSM-5, глинистых минералов, мусковита, силикагеля, рутила и других адсорбентов с использованием высоковакуумной адсорбционной калориметрической установки.

Анализ литературы показывает, что зарубежными и узбекскими учеными были проведены обширные исследования по производству микропористых адсорбентов и их адсорбционных свойств.

Следует отметить, что до настоящего времени недостаточно исследований получения адсорбентов из каолина и глинозема, а также по изучению их физико-химических и адсорбционных свойств.

Связь диссертационного исследования с тематическим планом научно-исследовательских работ. Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ института общей и неорганической химии по фундаментальному проекту ФА-Ф-7-010 на тему: «Энергетика, строение и локализация внедрешеточных ион-молекулярных кластеров в наноструктурированных цеолитах типа фожазит» на 2017-2020 годы; по фундаментальному проекту МУ-ФЗ-2017102584 на тему: «Механизмы связывания гость-хозяин в молекулярных гелях NaLTA, CaLTA и содалита»

Цель исследования синтез микропористого адсорбента с высоким содержанием кремния и алюминия с использованием обогащенного каолина АКФ-78 и изучение их адсорбционных свойств.

Задачи исследования:

определение оптимальных условий синтеза адсорбентов на основе местного сырья, содержащего оксиды кремния и алюминия;

определение структуры полученных адсорбентов методами электронного микроскопа, рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии и гидрофильных свойств калориметрическими методами;

изучение изотерм адсорбции и описание сорбционно-структурных свойств и размеров пор с использованием уравнений теории объемного заполнения микропор;

определение механизма адсорбции паров воды, бензола и н-гексана в адсорбенте полученного из ангреного каолина, взаимодействия адсорбент-адсорбат

синтез адсорбента NaXL на основе обогащенного каолина АКФ-78 и изучение их адсорбционных свойств.

Объектами исследования являются адсорбент на основе обогащенного каолина АКФ-78 - адсорбент NaXL, вода, молекулы бензола и н-гексана.

Предметом исследования являются способы получения импортозамещающих адсорбентов на основе местного сырья, их закономерности адсорбции в процессах очистки нефтегазовых продуктов и промышленных сточных вод, а также коллоидно-химические, адсорбционные свойства адсорбентов, т.е. механизмы взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы физические и коллоидно-химические (электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, калориметрия, высоковакуумный прибор Мак-Бена и др.) методы исследования и анализа.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

получении микропористого адсорбента с высоким содержанием кремния и алюминия путем сшивки обогащенного ангреного каолина марки АКФ-78 и глинозема в соотношении 8:3 под действием автогенного давления;

дифференциальные теплоты адсорбции паров воды, бензола и н-гексана на высококремниевых и алюминиевых микропористых адсорбентах имеют волнообразный вид, а при начальных насыщениях дифференциальные теплоты адсорбции в 2-3 раза превышают теплоту конденсации;

доказано, что молекулы воды адсорбируются в 5-7 раз больше, чем молекулы бензола и н-гексана на высококремнистом и алюминиевом микропористом адсорбенте;

установлено, что высокоэнергетические секции теплоты адсорбции высококремниевого и алюминиевого микропористого адсорбента, полученного с использованием обогащенного ангреного каолина и глинозема марки АКФ-78, соответствуют секциям цеолита L;

с использованием обогащенного ангреного каолина марки АКФ-78 и глинозема удалось получить микропористый адсорбент.

Практический результат исследования заключается в следующем:

получение микропористых адсорбентов из местного сырья возможно по результатам теоретических и практических исследований механизма адсорбции молекул воды и бензола в пространствах адсорбента NaXL;

разработан эффективный метод определения механизма адсорбции в высоковакуумной адсорбционной установке микрокалориметрическим методом;

Испытанный адсорбент на ООО «Чиноз НКИЗ» обладает способностью адсорбировать бензол, различные молекулы ароматических углеводородов, содержащихся в нефтяном сырье, полупродуктах и готовой продукции;

Полученный адсорбент испытан при получении высококачественного бензина на ООО «Чиноз НКИЗ», в результате чего удалось эффективно удалить сероводород, бензол, аммиак.

Достоверность результатов исследования. Результаты исследований объясняются применением электронно-микроскопических, ИК-спектроскопических, рентгенофазового анализа, высоковакуумных адсорбционных калориметрических и чувствительных кварцевых спиральных приборов Мак-Бен-Бакра при изучении физико-химических, коллоидно-химических свойств адсорбентов, а также промышленные лабораторные испытания.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследований лежит в основе возможности определения основных термодинамических функций изучаемых систем, необходимых для практического расчета устройств и процессов в сорбционной технике с целью теоретического развития физической адсорбции.

Практическая значимость результатов исследований заключается в изучении механизмов адсорбции различных молекул адсорбентом от заполнения и до насыщения и ион-молекулярных комплексов, образуемых молекулами с катионами в активных центрах, что служит получению и использованию новых адсорбентов. Кроме того, он служит для применения в учебном процессе по спецкурсам физики и коллоидной химии.

Внедрение результатов исследования. В «Чиназ НКИЗ» внедрен адсорбент NaXL для очистки нефтяного сырья, полуфабрикатов и готовой продукции от молекул сероводорода, сероуглерода, бензола, аммиака. (справка № 03-17-5/211 от 28 декабря 2021 года акционерного общества «Узбекнефтегаз»). В результате в процессе переработки нефти удалось повысить степень очистки от ароматических соединений, их гомологов и других веществ в 1,1 раза;

Адсорбент NaXL внедрен в «Чиназ НКИЗ» для очистки нефтяного сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов от бензола, различных гомологов ароматических углеводородов и соединений серы (справка № 03-17-5/211 от 28 декабря 2021 года акционерного общества «Узбекнефтегаз»). В результате это позволило повысить степень очистки от сернистых соединений при переработке нефти в 1,15 раза.

Апробация результатов исследования. Результаты исследования обсуждались на 2-х международных и 10-ти республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 18 научных работ, из них 6 статей опубликованы в научных изданиях, в том числе 4 в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составил 108 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обосновывается актуальность и востребованность, цель и задачи темы диссертации, а также характеризуются объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, изложены теоретическая и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Структуры, получение и анализ адсорбционных свойств L адсорбентов (литературный обзор)»** изложены общие представления о L адсорбентах, образовании сорбционных пор, алюмосиликатном сырье для производства адсорбентов, исследовательской работе по адсорбции неорганических и органических соединений в жидких и газообразных средах.

Во второй главе диссертации **«Объекты исследования, методы определения физико-химических свойств полученного адсорбента»** описаны подробные сведения о методе ИК-спектроскопии, сканирующем электронном микроскопе, методе рентгенопространственного анализа, работе высоковакуумных приборов Мак-Бен Бакура и универсальных адсорбционно-микрокалориметрических приборах и формулы, использованные при теоретических расчетах полученных результатов.

В третьей главе диссертации **«Синтез микропористого адсорбента NaXL из обогащенного каолина АКФ-78 и исследование его структуры физико-химическими методами»** представлены результаты производства адсорбента, физико-химического анализа, ИК-спектра, сканирующей электронной микроскопии полученного продукта и рентгеноструктурного анализа.

В качестве источника алюмосиликатов в научно-исследовательской работе был выбран имеющийся в Республике обогащенный каолин марки АКФ-78. Состав его следующий (приведен в таблице 1).

Таблица-1

Химический состав Ангренского каолина

Вещество	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₃ O ₄	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO	Остальные вещества
%	35,1	1,24	0,8	0,283	0,723	4,69	0,07	48,9	0,605	7,589

Каолиновый состав был очищен от дополнительных соединений, отрицательно влияющих на синтез адсорбента. На первом этапе использовали 2%-ный раствор серной кислоты, а затем 5%-й раствор соляной кислоты. На втором этапе ее проводили в 3%-ном растворе едкого натра (таблица-2).

Таблица-2

Вещество	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	SiO ₂	Fe ₃ O ₄	Остальные вещества
%	38,4	5,5	54,6	0,1	1,4

Каолин является природным алюмосиликатом, в котором молярное отношение оксида кремния к оксиду алюминия составляет 1,0-1,15. Каолин имеет слоистую структуру, образованную повторяющимися слоями кремне-кислородных тетраэдров и алюминиево-кислородных октаэдров.

При нагревании на воздухе каолин пройдет несколько стадий превращения. Сначала в результате эндотермической дегидратации при температурах 550-650°C образуется беспорядочная (аморфная) фаза метакаолина (дисиликата алюминия). Структура метакаолина представляет собой смесь аморфных оксидов кремния и алюминия. Адсорбент можно получить в закрытом сосуде гидротермальным методом при различных температурах, аутогенных давлениях и времени (от нескольких часов до нескольких суток). Скорость кристаллизации прямо пропорциональна температуре, а скорость нуклеатации обратно пропорциональна температуре. Адсорбенты различаются в зависимости от состава реакционной смеси (соотношение Si-Al), количества гидроксид-анионов и неорганических катионов. Увеличение отношения кремния к алюминию сильно влияет на физические свойства адсорбентов. Гидроксид анионы влияют на переход силикатов из твердой фазы в раствор, изменяя при этом времени нуклеатации.

Значение pH реакционной смеси считается очень важным фактором для синтеза и при этом большое значение имеет стабильность среды в процессе. Процесс образования адсорбентов осуществляется в щелочной среде. Использование отходов в синтезе адсорбентов имеет важное значение для решения экологических проблем, в основном очистки воды, удаления тяжелых металлов или аммиака, превращения их в полезные продукты.

В связи с наличием в составе адсорбентов из природного обогащенного каолина посторонних элементов, таких как Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, Ni, возникают определенные трудности при синтезе. Потому что эти элементы могут негативно повлиять на твердость и каталитические свойства адсорбента, а также на эффективность производства.

На основании анализа современной литературы составлена схема производства адсорбента NaXL с использованием в качестве объекта исследования отечественного обогащенного каолина АКФ-78 (рисунок-1).

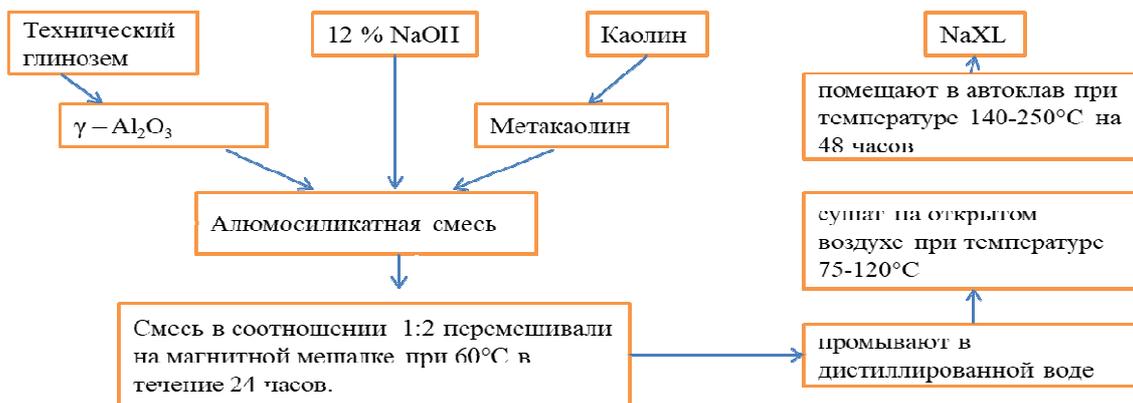


Рис. 1. Схема получения адсорбента NaXL.

Для этого на начальном этапе каолин обрабатывали при температуре до 900°C и получали метакаолин. Метакаолин смешивали с раствором NaOH и раствором $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ до соотношения молей компонентов – $(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)=3:1$. Для реакционной смеси использовали соотношение $(\text{NaOH}/\text{Al}_2\text{O}_3) = 1,1:1$ и $(\text{H}_2\text{O}/\text{NaOH}) = 8:1$. Полученный образец обрабатывали в течение 24 часов в интервале температур 60-350°C в закрытом сосуде и под автогенным давлением. Раствор адсорбента NaXL получали из обогащенного каолина путем механической и химической обработки. Полученный раствор промывали дистиллированной водой для нейтрализации среды и сушили при 120°C в течение 48 часов.

На рисунке 2-(А и Б) наблюдаются полосы поглощения при 1300 – 900 см^{-1} , соответствующие колебаниям связей Si-O-Si. Линии поглощения между 610,37 и 700,05 см^{-1} отражают валентные колебания связи Al-O, деформационные колебания AlO_4 при 801,35 см^{-1} и деформационные колебания молекул воды при 1650,64 см^{-1} . Широкая полоса поглощения до 3400 см^{-1} соответствует валентным колебаниям молекул воды, адсорбированных в межслоевом пространстве. Отсутствие полос поглощения в области 960 см^{-1} и 3720-3740 см^{-1} свидетельствует о высокой кристалличности адсорбента и отсутствии дополнительных аморфных фаз веществ.

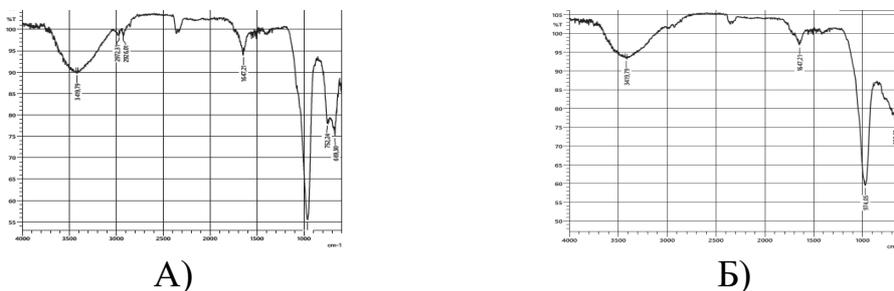
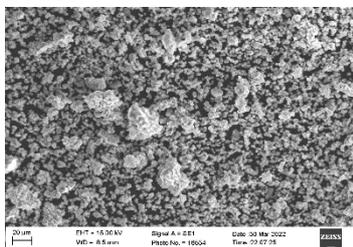


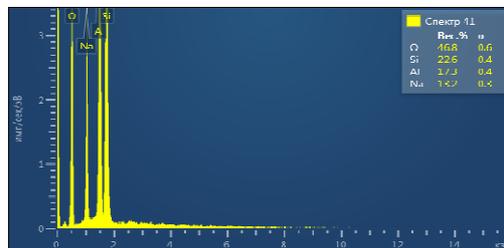
Рис.2. А) ИК-спектр L цеолита; Б) ИК-спектр адсорбента NaXL

Широкая полоса поглощения в диапазоне 1300-900 см^{-1} представляет собой участок поглощения, соответствующий внешним и внутренним асимметричным валентным колебаниям связей Si-O и Al-O(H). Полосы поглощения в диапазоне 500–400 см^{-1} соответствуют деформационным колебаниям Si(Al)-O. Полоса поглощения при 1460 см^{-1} связана с внешними

колебаниями ОН-групп, а широкая полоса в областях 1800–1600 см⁻¹ связана с колебаниями молекулярной воды. Колебания связи О-Si(Al)-О и асимметричные валентные колебания во внутренней тетраде являются гексагональными ТО₄. Полосы поглощения в диапазоне 1800-1300 см⁻¹ соответствуют колебаниям ОН-групп и молекулярная вода имеет низкую интенсивность.



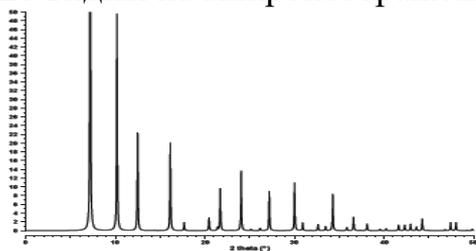
А)



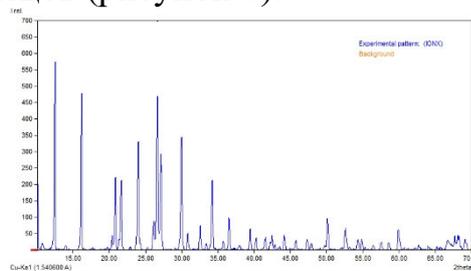
Б)

Рис.3. Изображение адсорбента NaXL, полученное с помощью сканирующего электронного микроскопа (А); элементарный состава (Б).

Изменения структуры и элементного состава при переработке каолина хорошо видны на микроизображениях образцов (рисунок-3).



А)



Б)

Рис.4. Рентгенограмма L цеолита (А) и адсорбента NaXL.

Как видно из микроизображений образцов, образование сферолитов, состоящих из характерных для адсорбентов кубических кристаллитов, отсутствующих в исходном каолине.

На рисунке 4 представлены рентгенограммы цеолита L (А) и (Б) образцов адсорбента NaXL. Согласно уравнению Шеррера $D_{hkl} = K\lambda / (\beta \times \cos\theta_{hkl})$ уменьшение размеров кристаллов приводит к уширению пиков. Пики идентификации для адсорбента NaXL составляют $2\theta = 7,18; 10,17; 12,46$ градуса.

В четвертой главе диссертации «Адсорбционные свойства адсорбента NaXL, полученного на основе обогащенного каолина АКФ-78» на основании результатов, полученных в вакуумной установке Мак-Бена, были рассчитаны удельная поверхность, насыщение, адсорбция, микро- и мезопоры с использованием значений изотерм адсорбции молекул воды и бензола на адсорбенте NaXL.

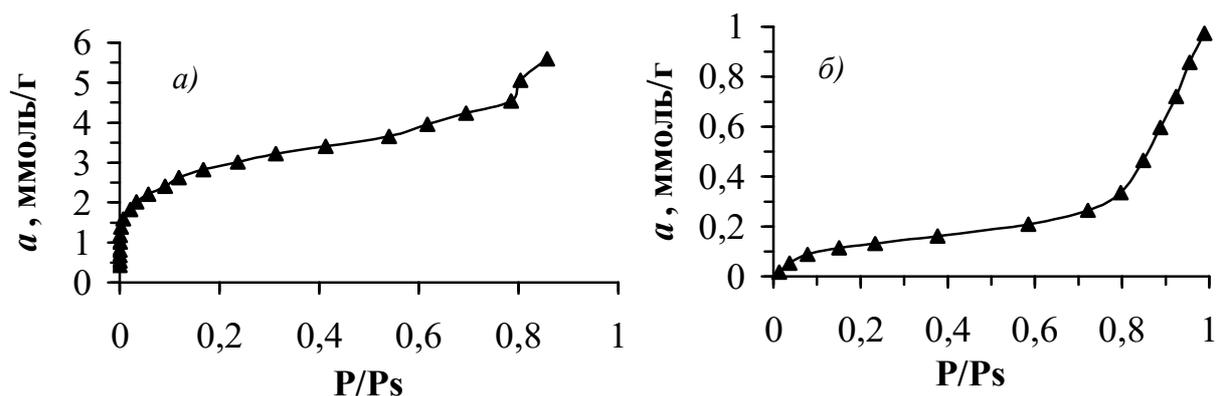


Рис.5. Изотерма адсорбции паров воды в адсорбенте NaXL (а); изотерма адсорбции паров бензола в адсорбенте NaXL (б).

Адсорбционную емкость монослоя (a_m), удельную поверхность (S) и насыщенную адсорбцию (α_s) рассчитывали на основе изотермы (рисунки 5а и б) адсорбции паров воды и бензола на полученном адсорбенте NaXL по уравнению БЭТ (таблицы 3,5).

Таблица-3

Большой размер пор для адсорбции паров воды и бензола на обогащенном каолине АКФ-78 в адсорбенте NaXL

№	Адсорбенты	Объем микропор $W_0 \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Объем мезопор $W_{me} \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$	Объем насыщенности $V_s \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{кг}$
1	Адсорбент NaXL (для воды)	0,465	0,24	0,86
2	Адсорбент NaXL (для бензола)	0,052	0,07	0,02

В ходе научно-исследовательских работ определяли адсорбцию паров воды и бензола на адсорбенте NaXL по карте изотерм в относительном давлении (P/P_s), кроме того, объем адсорбции составлял 0,065 для воды и 0,352 для бензола, микропористость W_0 , мезопористость $W_{me} = V_s - W_0$ и объем адсорбции при насыщении V_s представлены в таблице 4.

Таблица 4

Значения структурно-сорбционной адсорбции паров воды и бензола на синтетическом адсорбенте NaXL, полученном из обогащенного каолина АКФ-78

№	Адсорбенты	Емкость монослоя, $\alpha_m, \text{ моль/кг}$	Удельная поверхность, $S \text{ м}^2/\text{г}$	Адсорбция обогащения, $\alpha_s, \text{ моль/кг}$	Средний радиус пор, $r_{\text{ср}}, \text{ \AA}$
1	Адсорбент NaXL (для воды)	2.067	497,67	4,75	16,9
2	Адсорбент NaXL (для бензола)	1.095	136,22	1,83	12,8

На рисунке 6(а) показан график изотермы адсорбции паров воды на микропористых адсорбентах, полученных из природного каолина.

Изотерму адсорбции молекул воды на адсорбенте NaXL, полученном из местного Ангренского каолина и глинозема, описывали теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) трехмерного микропористого слоя.

$$a=1,808\exp[(A/21,89)^4]+1,625\exp[(A/6,20)^2]+4,447\exp[(A/0,55)^1],$$

Начальная логарифмическая значение изотермы адсорбции равна -9,82. При адсорбции 1 ммоль/г воды значение изотермы достигает -7,84. График изотермы постепенно увеличивается до тех пор, пока не будет адсорбировано 3 ммоль/г воды. После 3 ммоль/г изотерма адсорбции увеличивается по вертикали и это увеличение продолжается до давления насыщения паров воды. Низкий рост изотермы адсорбции свидетельствует о сильной адсорбции паров воды в микропорах.

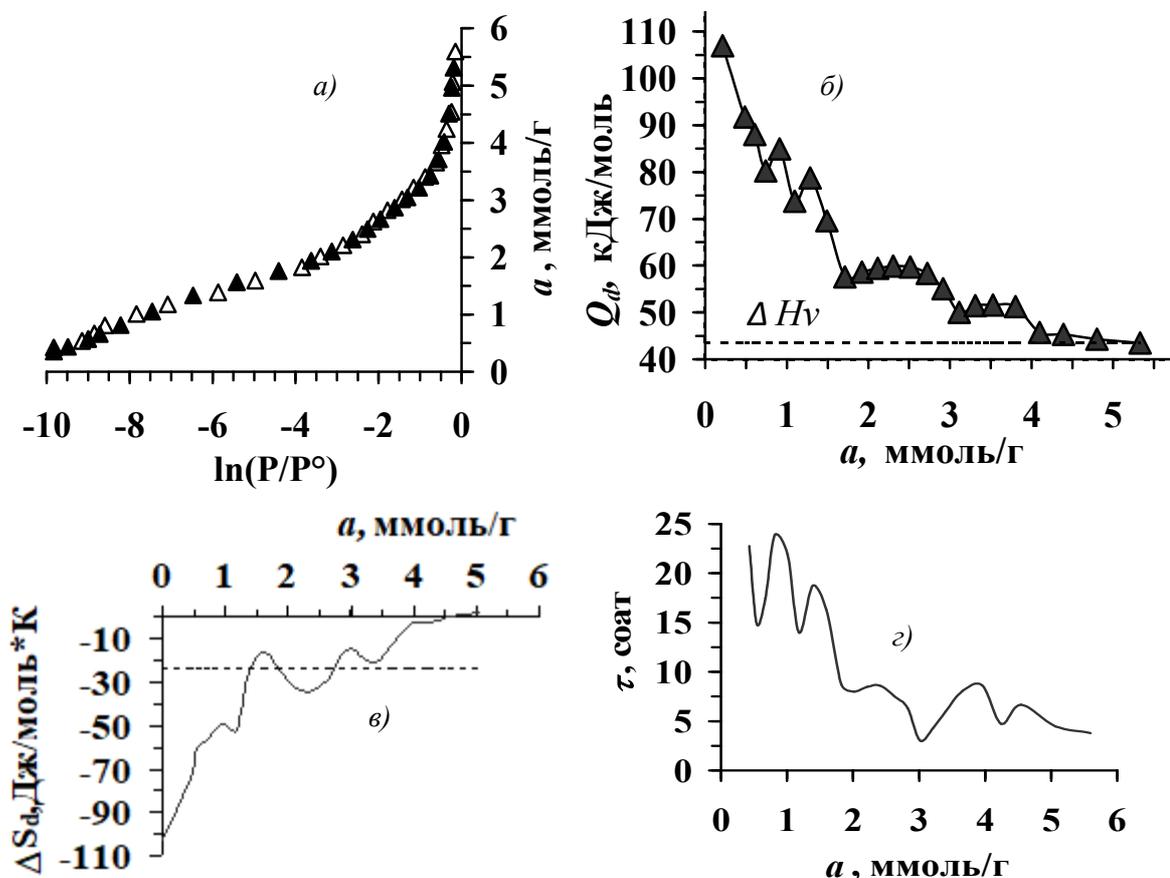


Рис.6(а, б, в, з). Изотерма адсорбции паров воды, дифференциальная теплота, дифференциальная энтропия и время установления равновесия на микропористых адсорбентах, полученных из обогащенного каолина АКФ-78.

На рисунке 6(б) показана дифференциальная теплота адсорбции паров воды на микропористом адсорбенте, полученном из природного каолина. Дифференциальная теплота адсорбции при начальных насыщениях составляет 106,64 кДж/моль. Теплота адсорбции постепенно уменьшается и величина адсорбции при 80 кДж/моль составляет 0,74 ммоль/г. Адсорбция до 1,75 ммоль/г, дифференциальная теплота адсорбции снижается по волнообразному принципу и составляет 55 кДж/моль. Эти значения могут незначительно меняться в зависимости от термической конденсации

адсорбата. Поскольку теплота конденсации сорбатов в газообразном состоянии обычно находится в пределах 20-30 кДж/моль. Много энергии затрачивается на распределение молекул воды по пустым микропорам в адсорбентах, при этом достигается высокая дифференциальная теплота адсорбции. После 1,75 ммоль/г дифференциальная теплота адсорбции снижается с 57,57 кДж/моль до 50,25 кДж/моль для адсорбции воды при 1,41 ммоль/г. При адсорбции следующего 1 ммоль/г воды теплота адсорбции снижается до 45,74 кДж/моль и к концу процесса равняется величине теплоты конденсации.

На микропористом адсорбенте, модифицированном местным каолином, адсорбировано 5,33 ммоль/г воды.

На рисунке 6(в) показана дифференциальная энтропия адсорбции паров воды при 303К на микропористых адсорбентах, полученных из местного каолина. Формулировка уравнения Гиббса-Гельмгольца была использована для расчета дифференциальной энтропии с использованием дифференциальных значений теплоты и изотермы адсорбции паров воды на микропористых адсорбентах, полученных из природного каолина.

$$\Delta S_d = \frac{\Delta H - \Delta G}{T} = \frac{-(Q_d - \lambda) + A}{T}$$

λ -термальная конденсация, ΔH и ΔG – энтальпия и изменение свободной энергии, T – температура, Q_d – средняя теплота.

Дифференциальная энтропия адсорбции исходно начинается с -102,74 Дж/моль•К. После этого график энтропии медленно растет. Из-за большого количества катионов в этих пространствах распределение энергии при миграции и адсорбции катионов упорядочено и сильно адсорбировано. Средняя интегральная энтропия составляет -25,22 Дж/моль•К. После 5 ммоль/г вода имеет энтропию состояния выше стандартной, образуя энтропию жидкого состояния. Таким образом, на насыщение адсорбента, полученного из местного каолина, расходуется 5,33 ммоль/г воды.

Как и в случае других типов адсорбентов, дифференциальная теплота адсорбции молекул воды вначале высока и постепенно уменьшается по мере поглощения воды. Первые 1,5 ммоль/г воды занимают прочное место в микропорах адсорбента. Средняя интегральная дифференциальная энтропия составляет -25,22 Дж/моль•К, а молекулы воды адсорбируются в матрице адсорбента в твердом невозбужденном состоянии. При начальных насыщениях для достижения адсорбционного равновесия требуется много времени. По мере постепенного насыщения термокинетика адсорбции снижается до нескольких минут.

На рисунке 6(г) представлена термокинетика (время равновесия) адсорбции паров воды на микропористых адсорбентах, полученных из природного каолина. В этом адсорбенте кривые времени равновесия имеют сильно волнообразный вид. Равновесное время адсорбции воды на полученном адсорбенте первоначально составляет 23 часа. При начальных насыщениях из-за большого количества мест и катионов в микропорах для

установления равновесия адсорбции воды требуется больше времени. После этого при величине адсорбции 2 ммоль/г время установления равновесия уменьшается до 8 часов. В конце процесса равновесие сокращается с одного часа до 40 минут.

На рис. 7(а) представлена изотерма адсорбции бензола на адсорбенте NaXL в логарифмической координате. Давление насыщенного пара молекул бензола в адсорбатах при 303 К равно 119,35 мм.рт.ст. Изотерму адсорбции молекул бензола на адсорбенте NaXL описывали теории объемного заполнения микропор (ТОЗМ) сорбции с двумя состояниями.

$$a=0,28\exp[(A/5,12)^1]+0,8\exp[(A/0,27)^1],$$

a -количество адсорбции в микропорах, C_6H_6 , $A=RT\ln(P^\circ/P)$ -работа свободной энергии (кЖ/моль).

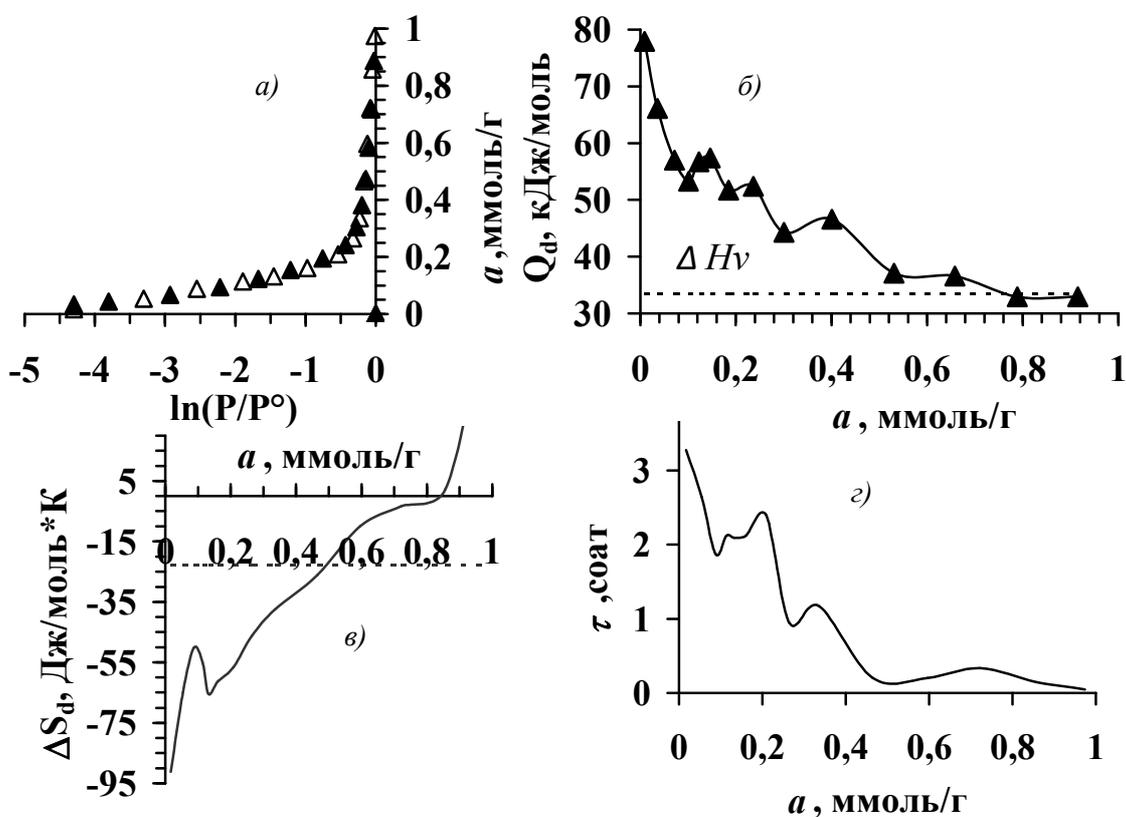


Рис.7(а, б, в, г). Изотерма, дифференциальная теплота, энтропия и термокинетика адсорбции бензола на адсорбенте NaXL.

В адсорбенте NaXL дифференциальная теплота (Q_d) уменьшается по волнообразному типу (рисунок-7б). Дифференциальная теплота адсорбции бензола на адсорбенте NaXL при начальных насыщениях снижается с 77,90 кДж/моль до 53,30 кДж/моль. Следующая молекула бензола адсорбируется в диапазоне от 0,1 ммоль/г до 0,19 ммоль/г, достигая максимальной теплоты адсорбции и увеличиваясь до 57,4 кДж/моль. При адсорбции бензола 0,19 ммоль/г наблюдается снижение дифференциальной теплоты после 51,7 кДж/моль. При адсорбции молекул бензола на поверхности адсорбента

образуются π -комплексы. Для образования π -комплексов на поверхности адсорбента NaXL поглощается 0,4 ммоль/г бензола.

Адсорбция молекул бензола на адсорбенте NaXL, полученном из местного Ангренского каолина и глинозема, происходит в основном за счет образования π -комплексов с катионами натрия, находящимися на входе в поры. Следовательно, первоначально дифференциальная теплота идет вверх. После чего идет снижение.

На рисунке 7(б) показана дифференциальная энтропия адсорбции паров бензола на микропористых адсорбентах, полученных из местного каолина, при 303 К. Кроме того, подвижность бензола в этом слое несколько медленнее по сравнению с подвижностью жидкого бензола. Средняя молярная интегральная энтропия составляет -22,69 Дж/моль•К, поэтому состояние бензола в системе адсорбента бензола NaXL является жидкоподобным. Как видно из графика дифференциальной энтропии, было замечено, что линии энтропии были выше, чем линия средней интегральной энтропии, когда адсорбция составляла 0,20 ммоль/г и 0,520 ммоль/г.

Время установления равновесия при адсорбции показывает, что до достижения 0,06 ммоль/г время достижения равновесия увеличивается по мере того, как разность теплоты адсорбции выше в первом промежуточном слое (рисунок-7з). На этой стадии молекулы бензола путешествуют от 4,5 до 3,8 часов. Ячейки адсорбента NaXL имеют много свободного пространства и распределение бензола требует много времени для достижения равновесия.

На рисунке 8(а) представлена изотерма адсорбции н-гексана на адсорбенте NaXL в логарифмической координате. Изотерму адсорбции молекул н-гексана на адсорбенте NaXL, полученном из местного Ангренского каолина и оксида алюминия, описывали с помощью теории сорбции с двухмерным объемного заполнения микропор (ТОЗМ).

$$a=0,365\exp[(A/4,47)^1]+0,578\exp[(A/0,45)^1],$$

a -количество адсорбции в микропорах, C_6H_{14} , $A=RT\ln(P^\circ/P)$ -работа свободной энергии (кЖ/моль).

В адсорбенте NaXL дифференциальная теплоемкость (Q_d) уменьшается по волнообразному типу (рисунке-8б). При адсорбции н-гексана на адсорбенте NaXL дифференциальная теплота при начальных насыщениях снижается с 53,26 кДж/моль до 42,27 кДж/моль.

При последующей адсорбции молекулы н-гексана увеличиваются с 0,053 ммоль/г до 42,27 кДж/моль. При адсорбции 0,143 ммоль/г н-гексана дифференциальная теплоемкость снижается после 41,0 кДж/моль. Начальная теплота до 42,27 кДж/моль взаимодействует с катионами натрия, расположенными вблизи поверхности пространства, образуя активные центры адсорбента. При этом наблюдаются водородные связи и образуют мономерные комплексы.

При адсорбции молекул н-гексана на адсорбенте NaXL теплота адсорбции снижается с 42,27 кДж/моль до 41,00 кДж/моль в диапазоне от 0,053 ммоль/г до 0,53 ммоль/г. Процесс адсорбции на этих поверхностях

имеет сложное описание и осуществляется в основном за счет миграции катионов. После 0,49 ммоль/г в сорбированных молекулах н-гексана наблюдается стремление в зависимости от теплоты конденсации. После 0,49 ммоль/г адсорбированные молекулы н-гексана следуют величине теплоты конденсации. Теплота конденсации н-гексана при 303 К равна 30,73 кДж/моль. Адсорбция молекул н-гексана на адсорбенте NaXL, полученном из местного Ангренского каолина и глинозема, происходит в основном с образованием молекулярных комплексов с катионами натрия, находящимися на входе в поры.

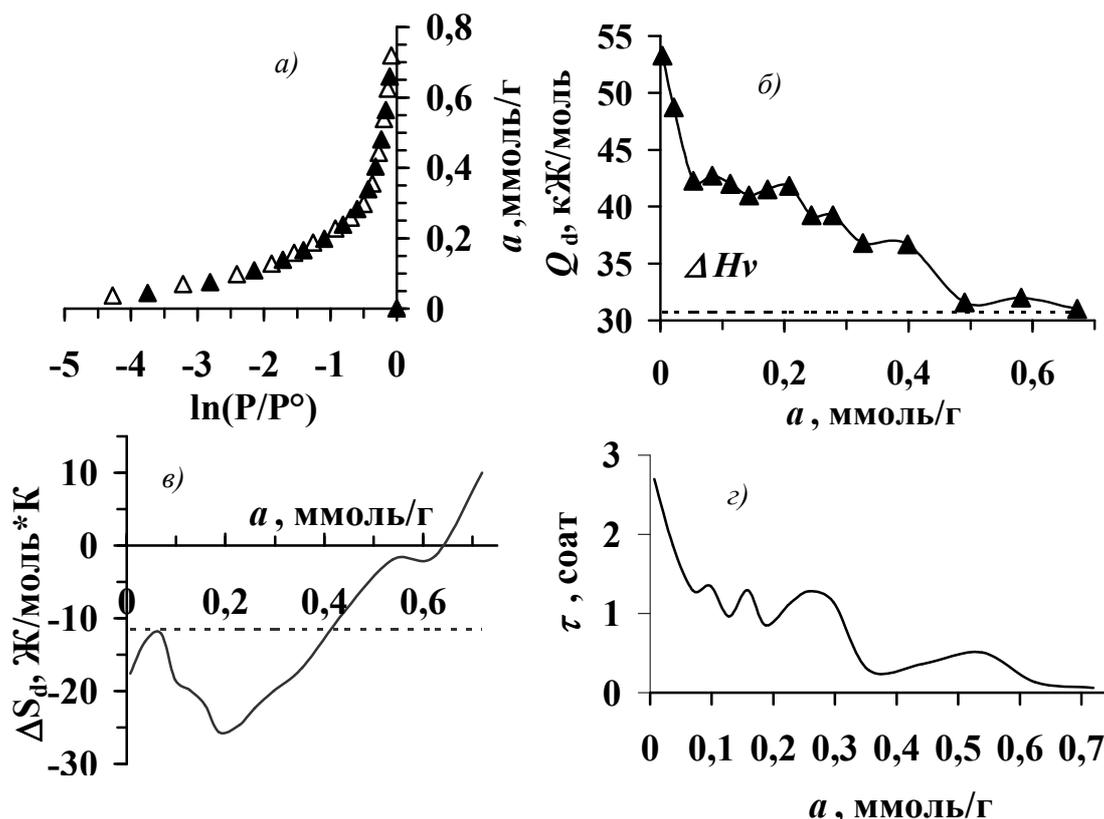


Рис. 8(а, б, в, г). Изотерма, дифференциальная теплота, энтропия и термокинетика адсорбции н-гексана на адсорбенте NaXL.

Адсорбция н-гексана на адсорбенте NaXL протекает в пять стадий. Эти стадии состоят из следующих: первая колеблется от 0,003 ммоль/г-0,053 ммоль/г, вторая 0,053 ммоль/г-0,143 ммоль/г, третья 0,143 ммоль/г-0,243 ммоль/г, четвертая 0,243 ммоль/г-0,326 ммоль/г и пятая 0,326 ммоль/г-0,5 ммоль/г. Всего на адсорбенте NaXL адсорбируется 0,72 ммоль/г н-гексана. В процессе перераспределения сорбируется 0,22 ммоль/г молекул н-гексана.

На рис. 8(в) представлена дифференциальная энтропия адсорбции н-гексана на адсорбенте NaXL. Средняя молярная интегральная энтропия составляет -11,54 Дж/моль·К, поэтому состояние н-гексана в системе н-гексанового адсорбента NaXL является жидкоподобным. Как видно из графика дифференциальной энтропии, было замечено, что линии энтропии были выше, чем линия средней интегральной энтропии, когда адсорбция составляла 0,005 ммоль/г и 0,42 ммоль/г. Исходя из этих значений энтропии

можно сделать вывод о том, что 76,3% адсорбции сосредоточено на поверхности адсорбента.

Время равновесия адсорбции показывает, что при 0,01 ммоль/г адсорбент сорбируется на поверхностях, а перепад тепла высок, поэтому время равновесия (термокинетика) также высока (рисунок-8г). На этом этапе молекулы н-гексана перемещаются от 2,7 до 1,29 часа. Ячейки адсорбента NaXL имеют большое количество свободного пространства и распределение н-гексана требует длительного времени для достижения равновесия. Равновесное время адсорбции на поверхностях следующей ступени определяется через 1,5-1,75 часа. По мере окончания процесса адсорбции время установления равновесия медленно уменьшается с 1,2 часа до 20 минут.

ВЫВОДЫ

Основные научные результаты, полученные при работе с диссертацией, заключаются в следующем:

1. В нашей республике исследована сырьевая база для производства кремниевых и алюминиевых микропористых адсорбентов. Подобраны способы получения микропористого адсорбента с использованием обогащенного Ангренского каолина и глинозема марки АКФ-78, определены химический состав, физико-химические свойства и коллоидно-химические свойства полученного адсорбента.

2. Относительные площади поверхности, микро- и мезопоры, объем насыщения определяли с помощью значений изотермы и количества адсорбции воды и паров бензола на микропористом адсорбенте, полученном с использованием обогащенного Ангренского каолина марки АКФ-78 и глинозема.

3. На насыщение адсорбента NaXL, полученного из ангренского каолина и глинозема, потрачено 5,33 ммоль/г воды. Сначала перепад тепла будет высоким и постепенно уменьшается по мере поглощения воды. Средняя интегральная дифференциальная энтропия составляет -25,22 Дж/моль•К, а молекулы воды адсорбируются в матрице адсорбента в твердом невозбужденном состоянии. При начальных насыщениях для достижения адсорбционного равновесия требуется много времени. По мере постепенного насыщения термокинетика адсорбции снижается до нескольких минут.

4. При адсорбции бензола на адсорбенте NaXL теплота адсорбции составляет 77,90 кДж/моль при начальных вычислениях. Дифференциальная теплота адсорбции убывает волнообразно. По значениям изотерм адсорбции определяли удельную поверхность с помощью уравнений БЭТ и Ленгмюра. Среднее значение интегральной энтропии составляет -25,12 Дж/моль•К. Время установления адсорбционного равновесия первоначально начинается с 3,5 часов и уменьшается до нескольких минут в зависимости от адсорбции адсорбента NaXL на поверхностях. Синтетический адсорбент NaXL адсорбирует всего 0,97 ммоль/г бензола.

5. При адсорбции н-гексана на адсорбенте NaXL теплота адсорбции составляет 53,26 кДж/моль при начальных вычислениях. Дифференциальная теплота адсорбции убывает волнообразно-ступенчато. Теплоту адсорбции изучалась в пяти частях. Изотермы адсорбции на поверхности микропор описывали с помощью уравнения теории объемного насыщения микропор. По значениям изотерм поверхности адсорбента по отношению к бензолу и н-гексану определяли удельную поверхность с помощью уравнений БЭТ и Ленгмюра. Среднее значение интегральной энтропии составляет -11,54 Дж/моль•К. Время установления адсорбционного равновесия первоначально начинается с 2,7 часов и уменьшается до нескольких минут в зависимости от адсорбции адсорбента NaXL на поверхностях. Адсорбент NaXL адсорбирует всего 0,72 ммоль/г н-гексана.

6. Микропористый адсорбент, изготовленный с использованием обогащенного Ангренского каолина марки АКФ-78 и глинозема, позволит снизить потребность в импортных адсорбентах с большим объемом сорбции.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARDING OF SCIENTIFIC DEGREE
DSc 02/30.12.2019.K/T.35.01 AT INSTITUTE OF GENERAL AND
INORGANIK CHEMISTRY**

INSTITUTE OF GENERAL AND INORGANIC CHEMISTRY

KHUDAYBERGANOV MANSUR SABUROVICH

**ADSORBENTS BASED ON AKF-78 KAOLIN AND THEIR ADSORPTION
PROPERTIES**

02.00.11–Colloidal and Membrane Chemistry

**DISSERTATION ABSTRACT OF DOCTORAL OF PHILOSOPHY (PHD) ON
CHEMISTRY SCIENCES**

Tashkent-2023

The dissertation subject of Doctor of Philosophy (PhD) is registered at Higher Attestation Commission under the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan in number B2023.2.PhD/650.

Dissertation was carried out at Institute of General and Inorganic Chemistry.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the scientific website www.ionx.uz and on the website of «ZiyoNet» Information and educational portal www.ziynet.uz.

Academic Supervisor:

Rakhmatrariyeva Feruza Gairatovna
doctor of chemical sciences, senior researcher

Official Opponents:

Kuldasheva Shaxnoza Abdulazizovna
doctor of chemical sciences, professor

Bakhronov Khayot Nurovich
doctor of chemical sciences, dosent

Leading organization:

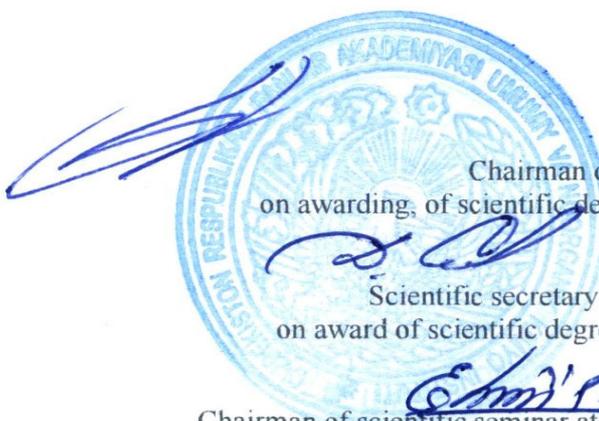
Namangan institute of engineering and technology

The defense will take place on «3» august 2023 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of on-time scientific Council No. DSc 02/30.12.2019.K/T.35.01 at General and Inorganic Chemistry Institute. Address: 77-a, Mirzo Ulugbek Street, Mirzo Ulugbek District, 100170, Tashkent, tel.: (99871) 262-56-60, Fax: (99871) 262-79-90, e-mail: ionxanruz@mail.ru.

The dissertation can be reviewed at the Information-resource Centre at the Institute of General and Inorganic Chemistry, (is registered under № 2). (Address: 77-a, Mirzo Ulugbek Street, 100170, Tashkent, tel.: (99871) 262-56-60).

Abstract of dissertation sent out on 3 august 2023.

(mailing report № 2, 3 august 2023 year).



B.S.Zakirov

Chairman of aScientific council
on awarding, of scientific degree Dr ch.sci., prof.

D.S.Salikhanova

Scientific secretary of Scientific council
on award of scientific degree, Dr tech.sci., prof.

I.D.Eshmetov

Chairman of scientific seminar at scientific council on
awarding of scientific degree, Dr tech.sci., prof.

INTRODUCTION (abstract of DSc thesis)

The aim of the research work is to synthesize high-silicon and aluminum microporous adsorbents from enriched AKF-78 kaolin and to study their adsorption properties.

The object of the research work of the research is the methods of obtaining import-substituting adsorbents based on local raw materials, their laws in the processes of oil and gas products and industrial wastewater treatment, as well as the colloidal-chemical, adsorption properties of adsorbents, that is, the mechanisms of adsorbent-adsorbate interaction.

The scientific novelty of dissertation research consists in the following:

- it is possible to obtain a microporous adsorbent with high silicon and aluminum from the cross-linking of the enriched AKF-78 brand Angren kaolin and the 8:3 ratio of alumina under the influence of autogenous pressure;

- the differential heats of adsorption of water, benzene and n-hexane vapor on high-silicon and aluminum microporous adsorbents are in the form of a wavy step, and at initial saturations, the differential heats of adsorption are 2-3 times higher than the condensation heats;

- it has been proven that water molecules are adsorbed 5-7 times more than benzene and n-hexane molecules on high silicon and aluminum microporous adsorbent;

- the intensity peaks of the high silicon and aluminum microporous adsorbent obtained using enriched AKF-78 brand Angren kaolin and alumina were found to correspond to the intensity peaks of zeolite;

- using enriched AKF-78 brand Angren kaolin and alumina, it is possible to obtain a microporous adsorbent.

Implementation of the research results. Based on obtaining microporous adsorbents based on Angren kaolin and alumina and determining their adsorption properties:

NaXL adsorbent was introduced in "Chinaz NQIZ" for cleaning of oil raw materials, semi-finished and finished products from hydrogen sulfide, carbon-sulfur, benzene, ammonia molecules. (Reference No. 03-17-5/211 dated December 28, 2021 of Uzbekneftgaz joint-stock company). As a result, in the process of oil processing, it was possible to increase the degree of purification from aromatic compounds, their homologues and other substances by 1.1 times;

NaXL adsorbent was introduced in "Chinaz NQIZ" for the purification of petroleum raw materials, semi-finished and finished products from benzene, various aromatic hydrocarbon homologues and sulfur compounds. (Reference No. 03-17-5/211 dated December 28, 2021 of Uzbekneftgaz joint-stock company). As a result, it allowed to increase the degree of purification of sulfur compounds during oil processing by 1.15 times.

The structure and volume of the thesis. The thesis consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of used literature and an attachment. The volume of the thesis is 108 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

Список опубликованных работ

List of published works

I бўлим (I часть, I part)

1. M.S Xudayberganov. Mikrog'ovakli adsorbentga suv bug'i adsorbsiyasi differensial entropiyasi va termokinetikasi // NamDU Ilmiy Axborotnomasi - 2022_1-son. B. 110-113. (02.00.00, № 18)

2. M.S Xudayberganov, F.G. Rakhmatkarieva. Mahalliy xom ashyolardan modifikatsiyalab olingan mikrog'ovakli adsorbentlarda suv bug'i adsorbsiyasi // Kompozitsion materiallar. № 1. 2022. B. 111-113. ISSN 2091-5527. (02.00.00, № 4)

3. M.C. Худайберганов, Ф.Д. Диметова, Ф.Г. Рахматкариева, Э.Б. Абдурахмонов. Гидротермальный синтез порошкового цеолита NaXL // Universum: химия и биология. Выпуск: 8(98) Август 2022 DOI: 10.32743/UniChem.2022.98.8-1. С.37-40. (02.00.00, № 2)

4. Xudayberganov M.S., Rakhmatkarieva F.G., Abduraxmonov E.B. Angren kaolini va glinozem asosida NaXL seolitini olish // Scientific-technical journal (STJ FerPI, ФарПИ ИТЖ, НТЖ ФерПИ, 2023, Т.27, №1. (02.00.00, № 17)

II бўлим (II часть, II part)

5. E.B. Abdurakhmonov, F.G. Rakhmatkarieva, O.K. Ergashev, M.S KHudoyberganov. Isotherms, Differential Heats of Benzene Adsorption in Zeolites LiLSX and NaLSX // Annals of R.S.C.B., ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 4, 2021, Pages. 466 - 478 Received 05 March 2021; Accepted 01 April 2021.

6. M.S Xudayberganov, F.G. Rakhmatkarieva, Abduraxmonov E.B. Mahalliy kaolindan panog'ovakli adsorbentlar sintezi // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali. Maxsus son №1, 2021 й. www.andmiedu.uz ISSN 2181-1539

7. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г. Маҳаллий хомашёлардан юқори сорбцион хусусиятга эга адсорбентлар олиш. // “Ватаннинг умидли зиёлиси”. Халқаро онлайн конференция. 21-23 август 2020. Ўзбекистон 2020. Б. 140-143.

8. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г. Табиий сорбент хомашёлар таркибидаги кремний ва алюминий микдорини ошириш Ислом Каримов номидаги Тошкент давлат техника университети “Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари” мавзусидаги халқаро илмий-техник анжуман Тошкент-2020 й. 17-19 сентябрь Б.144-146

9. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г., Ниязова Д.Б. Маҳаллий коалинни модификациялаб микроговакли адсорбентлар олиш // Профессор, кимё фанлари доктори Акбаров Ҳамдам Икромович таваллудининг 70 йиллиги ҳамда илмий фаолиятининг 45 йиллигига бағишланган Кимёнинг долзарб муаммолари мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани 2021 йил 4-5 февраль Б.78.

10. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г., Абилкасимов А.Б. Модификацияланган коалиннинг бензол буғидаги адсорбцияси // Профессор,

кимё фанлари доктори Махсумов Абдухамид Гофуровичтаваллудининг 85 йиллиги ҳамда меҳнат ва илмий фаолиятининг 65 йиллигига бағишланган. “Кимё-технология фанларининг долзарб муаммолари” мавзусидаги халқаро олимлар иштирокидаги республика илмий-амалий анжумани 2021 йил 10-11 март Б.550

11. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г. Маҳаллий каолиндан олинган микроғовакли адсорбентларда сув буғи адсорбцияси дифференциал иссиқлиги // “Металлорганик юқори молекулали бирикмалар соҳасидаги долзарб муаммоларнинг инновацион ечимлари” Халқаро илмий-амалий онлайн-конференция Ўзбекистон Республикаси Тошкент ш. 28 май 2021 йил. Б. 176.

12. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г. Маҳаллий каолиндан олинган адсорбентларда сув буғи адсорбцияси изотермаси // “Металлорганик юқори молекулали бирикмалар соҳасидаги долзарб муаммоларнинг инновацион ечимлари” Халқаро илмий-амалий онлайн-конференция Ўзбекистон Республикаси Тошкент ш. 28 май 2021 йил. Б. 411.

13. Худайберганов М.С., Рахматкариева Ф.Г. Mikrog‘ovakli adsorbentga suv bug‘i adsorbsiyasi termokinetikasi // “Kimyo va kimyoviy texnologiya yo‘nalishidagi dolzarb muammolar”. O‘zR FA Umumiy va noorganik kimyo instituti yosh olimlar ilmiy-amaliy anjumani 2021 yil, 20-21 dekabr

14. M. Khudoyberganov, F. Rakhmatkarieva E.Abdurakhmonov, I. Tojiboeva, X. Todjiyeva Thermodynamics of water adsorption on local kaolin modified microporous sorbents. AIP conference proceedings «1st International Conference on Problems and Perspectives of Modern Science(ICPPMS-2021)» AIP Conference Proceedings 2432, 010001 (2022); <https://doi.org/10.1063/12.0009761>

15. Xudayberganov M.S., Jo‘rayev M.M. Angren kaolinidan modifikatsiyalab olingan adsorbentida suv bug‘i adsorbsiyasining differensial entropiyasi, «Neft va gaz sohasida Ta‘lim-ishlab chiqarish klasterini rivojlantirishda innovatsion yondashuvlar» xalqaro konferensiya materiallari. 30 апрель 2022 йил. Том 2. 272-273 бет.

16. Худайберганов М.С. Дифференциальная теплота адсорбции паров бензола на цеолите NaXL. BRITISH International Scientific Online Conference:theoretical aspects in the formation of pedagogical sciences. A collection of articles by Central Asian scholars. Issue 5, Part 1

17. Mansur S. Xudayberganov, Firuza G. Rakhmatkarieva, Eldor B. Abdurakhmonov Isotherm of benzene vapor adsorption on NaXL zeolite. ITALIAN International Scientific Online Conference: SCIENCE AND INNOVATION IN THE EDUCATION SYSTEM A collection of articles by Central Asian scholars. Issue 5, Part 1

18. Xudayberganov M.S., Turabov B.A. NaXL seolitida benzol bug‘i adsorbsiyasi. “Muhandislik fanlarini o‘qitishning dolzarb muommolari va yechimlari” Respublika ilmiy-texnik anjuman materiallari. Termiz Muhandislik texnologiya instituti 2022-yil, 4-5 noyabr.

Авореферат «Ўзбекистон кимё журнали»
тахририяида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз
тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди.

Бичими: 84x60 ¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитура
Рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи: 3,25. Адади 100. Буюртма № 5.

Гувоҳнома №
«Тірограф» МЧЖ босмаҳонасида чоп этилган.
Босма манзили: 100011, Тошкент ш., Беруний кўчаси, 83-уй.