

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.17/7.06.2024.К/Т.06.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**БУХОРО ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АМОНОВА МАТЛУБА МУХТАРОВНА**

**САПРОПЕЛЬ ВА БЕНТОНИТ АСОСИДА КОАГУЛЯНТ-ФЛОКУЛЯНТЛАР  
БИЛАН МОДИФИКАЦИЯЛАНГАН КОМПОЗИТ СОРБЕНТЛАР ОЛИШ ВА  
УЛАРНИ САНОАТ ОҚОВА СУВЛАРИНИ ТОЗАЛАШДА ҚЎЛЛАШ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.13–Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси**

**техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати  
мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc) по техническим  
наукам**

**Contents of the dissertation abstract of doctor of (DSc) on chemical sciences**

**Амонова Матлуба Мухтаровна**

Сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан  
модификацияланган композит сорбентлар олиш ва уларни саноат оқова  
сувларини тозалашда қўллаш технологияларини ишлаб  
чиқиш.....3

**Амонова Матлуба Мухтаровна**

Разработка технологий получения композиционных сорбентов,  
модифицированных коагулянтами-флокулянтами на основе сапропеля и  
бентонита, и их применение для очистки промышленных сточных  
вод.....31

**Amonova Matluba**

Development of technologies for obtaining composite sorbents modified with  
coagulant-flocculants based on sapropel and bentonite and their application in the  
treatment of industrial wastewater.....58

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....62

**НАВОИЙ ДАВЛАТ КОНЧИЛИК ВА ТЕХНОЛОГИЯЛАР  
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.17/7.06.2024.К/Т.06.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**БУХОРО ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АМОНОВА МАТЛУБА МУХТАРОВНА**

**САПРОПЕЛЬ ВА БЕНТОНИТ АСОСИДА КОАГУЛЯНТ-ФЛОКУЛЯНТЛАР  
БИЛАН МОДИФИКАЦИЯЛАНГАН КОМПОЗИТ СОРБЕНТЛАР ОЛИШ ВА  
УЛАРНИ САНОАТ ОҚОВА СУВЛАРИНИ ТОЗАЛАШДА ҚЎЛЛАШ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**02.00.13–Ноорганик моддалар ва улар асосидаги материаллар технологияси**

**техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси  
АВТОРЕФЕРАТИ**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2025.3.DSc/T953 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Бухоро давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида [www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz) ва «Ziynet» ахборот-таълим порталида жойлаштирилган.

<b>Илмий маслаҳатчи:</b>	<b>Мухиддинов Баходир Фахриддинович</b> кимё фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Темиров Ўктам Шавкатович</b> техника фанлари доктори, доцент <b>Усанбаев Нажимуддин Халмурзаевич</b> техника фанлари доктори, профессор <b>Тураев Зокиржон</b> техника фанлари доктори, профессор
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Термиз давлат университети</b>

Диссертация ҳимояси Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университети ҳузуридаги DSc.17/7.06.2024.К/Т.06.03 рақамли Илмий кенгашнинг «25» октябрь 2025 йил соат 10:00 даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 76 в уй. Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университетининг мажлислар зали. Тел.: (79) 223-23-32; факс:(79) 223-49-66; (E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

Диссертация билан Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (№226 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 210100, Навоий шаҳри, Ғалаба шоҳ кўчаси, 76 в уй. Навоий давлат кончилиқ ва технологиялар университетининг мажлислар зали. Тел.: (79) 223-23-32; факс: (79) 223-49-66; (E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

Диссертация 2025 йил «30» сентябрь куни тарқатилди.

(2025 йил «30» сентябрдаги 14-рақамли реестр баённомаси).



**Т.И. Нурмуродов**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш раиси в.в.б., т.ф.д., профессор

**С.Ш. Шарипов**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш котиби, PhD., доцент

**Ф.Э. Умиров**  
Илмий даражалар берувчи  
Илмий кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, т.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фан доктори (DSc)) диссертацияси аннотацияси**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти.** Жаҳонда саноат корхоналарининг фаолияти кенгайиб бориши ва техноген юкламаларнинг ошиши натижасида оқова сувлар таркибидаги мураккаб органик ва ноорганик ифлослантувчиларни самарали тозалаш муаммоси долзарб масала сифатида кўтарилмоқда. Анъанавий фаол сорбент ва коагулянтлардан фойдаланишнинг технологик ва иқтисодий самарасизлиги туфайли, табиий хомашёлар асосида модификация қилинган арзон, самарали ва экологик хавфсиз сорбент-композитлар яратиш орқали сув тозалашга талаб ортмоқда. Хусусан, сапропель ва бентонит асосида модификацияланган сорбентлар оқова сувлар тизимларини энергия ва ресурслар кам сарфлаб тозалаш имконини беради. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, бундай тизимлар оқова сувлардан муаллақ моддалар, органик ифлослантувчилар ва оғир металл ионларини юқори самара билан тозалайди. Шу сабабли, табиий ва арзон хомашёлар асосида тозалашда фойдаланиладиган модификацияланган сорбентлар ишлаб чиқиш ва уларни амалиётида жорий этиш алоҳида аҳамият касб этади.

Дунёда саноат оқова сувларини самарали тозалаш мақсадида келиб чиқиши ўсимликларга оид бўлган чўкиндилар, турли минерал хомашёлар, коагулянт ва флокулянтлар асосида композит сорбентлар олиш технологияларини ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилмоқда. Бу борада, сапропельни механик, термик ва кимёвий ишлов бериш билан сорбцион қобилиятини ошириш ҳамда фаол юза марказлари шаклланишига, сапропельни турли фаоллантириш орқали унинг ғовак тузилиши ва юза майдони ошишнинг мақбул шароитларини аниқлашга, сапропель асосидаги сорбентларнинг оқова сув таркибидаги турли катионлар ва анионларни камайтиришда юқори самарадорлигига эришишга, минерал хомашёларни кислотали муҳитда фаоллаштиришда адсорбцион қобилиятини бир неча марта оширишга, бентонитни модификаторлар иштирокида модификациялаш йўли билан олинган композит сорбент олишни технологияларини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор берилмоқда.

Республикамизда саноат оқова сувларини экологик хавфсиз тозалаш ва табиий ресурслардан самарали фойдаланиш технологияларини яратиш орқали муҳим илмий-амалий натижаларга эришилмоқда. Ўзбекистон Республикаси Президентининг ПҚ-4992-сон қарорига кўра «Ишлаб чиқаришга тежамкор энергия ва экологик жиҳатдан хавфсиз технологияларни жорий қилиш ҳамда уларни замонавий талаблар асосида ташкил этиш, қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш имкониятларини кенгайтириш, чиқиндиларни қайта ишлаш ва минималлаштириш, атмосферага чиқариладиган зарарли моддалар миқдорини камайтириш бўйича илмий-тадқиқот ишларини тизимли равишда

йўлга қўйиш ва халқаро тажрибани амалиётга татбиқ этиш зарур»<sup>1</sup>. Ушбу вазифалардан келиб чиққан ҳолда, маҳаллий минерал хомашё — сапропель ва бентонит асосида модификацияланган сорбцион-композит сорбентлар яратиш, уларни коагулянт ва флокулянтлар билан биргаликда қўллаб, саноат оқова сувларини чуқур ва танланма тозалашнинг илмий асосланган технологиясини ишлаб чиқиш долзарб аҳамият касб этади. Бунда, ҳудудий хомашёни қайта ишлаш, маҳаллий корхоналар эҳтиёжларини қоплаш ва тозалаш жараёнини арзонлаштириш орқали тоза сув захираларини муҳофаза қилишга қаратилган тадқиқотлар катта илмий ва амалий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021 йил 13 февралдаги “Кимё саноати корхоналарини янада ислоҳ қилиш ва молиявий соғломлаштириш, саноат корхоналарини молиявий соғломлаштиришни янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4992 сон қарорида ҳамда 2019 йил 17 январдаги “Кон-металлургия тармоғи корхоналари фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4124 сон қарори мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг Республика фан ва технологияларини ривожлантиришнинг асосий устувор йўналишларга мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII «Кимёвий технологиялар ва нанотехнологиялар» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.**

Дунёда сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан модификацияланган композит сорбентларни олиш ҳамда уларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш бўйича илмий изланишлар жаҳоннинг етакчи илмий тадқиқот марказлари ва олий таълим муассаларида, жумладан Варшава технология университети (Полша), Рига техника университети (Латвия), Таллин технология университети (Эстония), Вилнюс университети (Литва), Шандун технология университети (Хитой), Токио университети (Япония), Торонто университети (Канада), Бухоро давлат университети, Тошкент давлат миллий университети, Тошкент давлат техника университети, Ўзбекистон Фанлар академиясида олиб борилмоқда.

Дунёда сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан модификацияланган сорбентлар ишлаб чиқиш ва уларни саноат оқова

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2021-йил 13-февралдаги “Кимё саноати корхоналарини янада ислоҳ қилиш ва молиявий соғломлаштириш, саноат корхоналарини молиявий соғломлаштиришни янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4992-сон қарори // Ўзбекистон Республикаси қонун ҳужжатлари тўплами. – Т., 2017. – 103 б.

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи қуйидаги манбалар асосида амалга оширилди: [https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-016-2244-x?utm\\_source=chatgpt.com](https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-016-2244-x?utm_source=chatgpt.com),  
[https://www.researchgate.net/publication/317771309 Influence of Polyelectrolytes and Other Polymer Complexes on the Flocculation and Rheo](https://www.researchgate.net/publication/317771309_Influence_of_Polyelectrolytes_and_Other_Polymer_Complexes_on_the_Flocculation_and_Rheo),  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924002172?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924002172?utm_source=chatgpt.com),  
[https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9844?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9844?utm_source=chatgpt.com),  
[https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10573546/?utm\\_source=chatgpt.com](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10573546/?utm_source=chatgpt.com)

сувларини тозалашда қўллаш бўйича илмий тадқиқотлар олиб борилган ва куйидаги илмий натижалар олинган, жумладан: сувлар таркибидаги оғир металл ионлари, бўёқлар ва органик ифлослантувчиларни сорбентларга ютилиш даражаси оширилган (Торонто университети, Канада), табиий сорбентлар, бентонит ва хитозан асосида оқова сувларни оғир металл ионларидан тозалаш, сув ресурсларини қайта ишлаш технологиялари яратилган (Варшава технология университети, Польша), табиий минералларни фаоллаштириш орқали сув таркибидаги фосфат ионларини юқори даражада тозалашда бентонит каби сорбентларнинг аҳамияти ўрганилиб, уларнинг оптимал қийматлари аниқланган (Рига техника университети, Латвия), атроф-муҳит оқова сувларини тозалаш ҳамда сув ресурсларини қайта тиклашга оид, шунингдек, қайта ишлатиладиган сорбентлар олиш технологиялари ва гибрид коагулянтлар яратилган (Таллин технология университети, Эстония), оқова сувлар таркибидан фторид ионлари самарали тарзда ажратиб олинган (Research Center for Water Environment Technology, Токио университети, Япония).

Дунёда сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан модификацияланган сорбентлар ишлаб чиқиш ва уларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш бўйича устувор йўналишларда куйидаги қатор тадқиқотлар олиб борилмоқда, жумладан: маҳаллий хомашёлар асосида юқори сорбцион хусусиятга эга бўлган композит материаллар ишлаб чиқариш, композит сорбентларнинг сорбцион хусусиятини модификациялаш ҳамда регенерацион хусусиятларини ошириш, турли таркибли саноат оқова сувлари учун селектив ион алмашувчи ионитлар олиш, саноат оқова сувларини тозалашнинг айланма тизимларини яратиш, оқова сувларни тозалашнинг иқтисодий самарадор усулларини ишлаб чиқиш.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Жаҳон илмий жамоасида минерал хомашё – сапропель ва бентонит – асосида сорбентлар ишлаб чиқиш, уларни коагулянт-флокулянтлар билан модификациялаш ҳамда саноат оқова сувларини тозалаш соҳасида кенг кўламли тадқиқотлар олиб борилган. Масалан, Хитойлик Jiang Li, Weiqing Zhang, Xiao Lin ва Yongsheng Gao сапропельни биодеградацияланадиган материал сифатида қўллаш бўйича самарали натижаларга эришганлар. Польша олимлари биополимер-бентонит композитлари ёрдамида оғир металл ионларини юқори самарадорлик билан ютиб олиш бўйича тадқиқотлар олиб борган<sup>3</sup>.

Рус илмий мактабида, хусусан, Россия Федерациясидан В.А. Кистяковский, С.Л. Зайцева, А.Н. Гринберг, Г.С. Неретина, В.И. Веретнов, Н.Н. Падергин, Т.Н. Короткова, О.В. Грин, Ю.П. Макаров ва Л.А. Чугуева саноат оқова сувларини тозалашда минерал сорбентларни қўллаш соҳасида илмий изланишлар олиб борган. Уларнинг ишларида бентонит, цеолит,

---

<sup>3</sup> Jiang Li, Weiqing Zhang, Xiao Lin, Yongsheng Gao. *Application of Sapropel in Wastewater Treatment*. Semantic Scholar. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/9413/b957f2ddc360f72640fc3821f7f92ac4e98e.pdf> (муружаат санаси: 14.08.2025).; Jiang Li, Weiqing Zhang. *Recent Advances in Biodegradable Materials from Sapropel*. National Center for Biotechnology Information (NCBI), 2023. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10573546/> (муружаат санаси: 14.08.2025)

сапропель каби минерал хом ашёларни кимёвий ва термик модификация қилиш орқали сорбентларнинг структураси, физик-кимёвий ва сорбцион хусусиятларини яхшилаш ҳамда оғир металл ионлари, нефть маҳсулотлари ва органик ифлослантувчиларни самарали тозалаш бўйича комплекс таҳлиллар амалга оширилган.

Ўзбекистонда Ш.К. Шарипов, И.Г. Якунин, С.Р. Абдуллаев, Б.Н. Икромов, Ў.Ш.Темиров, Т.Т.Азимов кабилар саноат оқова сувларини тозалаш ва қайта ишлаш соҳасида қатор илмий ва амалий ишлар олиб борган. Улар томонидан маҳаллий минерал хомашёлар — бентонит, сапропель, диатомит, цеолит асосида турли модификацияланган сорбентлар тайёрлаш, уларнинг сорбцион, фильтрацион ва регенерация хусусиятларини ўрганиш, шунингдек, коагулянт ва флокулянтлар билан биргаликда қўллаб оғир металл ионлари, нефть маҳсулотлари ва турли органик моддаларни самарали тозалаш бўйича тадқиқотлар амалга оширилган. Ушбу олимлар ишланмаларида кам энергия сарфи ва иқтисодий жиҳатдан мақбул технологияларни ишлаб чиқишга, уларни маҳаллий саноат корхоналарида синовдан ўтказишга ҳамда амалиётга жорий этиш масалаларига алоҳида эътибор қаратилган.

Диссертацияни тайёрлаш жараёнида юқорида номлари қайд этилган жаҳон, рус ва ўзбек олимларининг тадқиқотлари чуқур ўрганилди, уларнинг қарашларига муносабат билдирилди ва тадқиқотда сорбентлар тизимининг функционал-технологик самарадорлиги махсус тадқиқ этилди.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилаётган илмий-тадқиқот муассасининг илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Бухоро давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг “Техник сувларни тозалашда ишлатиладиган флокулянт кимёвий реагентини маҳаллий хомашёлардан ишлаб чиқариш”, “Ўзбекнефтгаз” АЖ Муборак газни қайта ишлаш заводининг “Техник сувларни тозалашда ишлатиладиган коагулянт кимёвий реагентини маҳаллий хомашёлардан ишлаб чиқариш” ҳамда “Техник сувларни тозалашда ишлатиладиган флокулянт кимёвий реагентини маҳаллий хом-ашёлардан ишлаб чиқариш” мавзуларидаги лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** сапропель ва бентонит асосида модификацияланган композит сорбентлар олиш, уларни коагулянт-флокулянтлар билан биргаликда самарали тозалаш компоненти сифатида ишлаб чиқиш ҳамда ушбу сорбентларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш технологиясини илмий асослаш ва такомиллаштиришдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

сапропель ва бентонитнинг физик-кимёвий хусусиятларини чуқур ўрганиш, уларнинг сорбцион фаоллиги ҳамда модификация қобилятини турли шартларда аниқлаш, шу орқали тозалаш жараёнларида қўлланилиши учун илмий асос яратиш;

сапропельга механик, термик ва кимёвий ишлов бериш усулларини таҳлил қилиш, ушбу жараёнлар орқали модификацияланган сорбентлар олиш технологиясини очиб бериш ва уларнинг самарадорлигини асослаш;

бентонит ва коагулянт-флокулянтлар асосида модификацияланган композит сорбентлар олиш жараёнларини таҳлил қилиш, бу жараёндаги моддий ва технологик омилларнинг таъсирини белгилаш;

модификация жараёнида ишлатиладиган ҳарорат, рН, намлик, аралаштириш вақти ва реагент концентрациялари каби технологик параметрларнинг сорбент хоссаларига таъсирини чуқур таҳлил қилиш ва оптимал қийматларини аниқлаш;

сапропель ва бентонит асосида олинган сорбентларнинг оғир металллар ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  ва бошқалар), аммоний, хлорид ва сульфид ионлари ҳамда умумий қаттиқлик даражасини пасайтиришдаги самарадорлигини баҳолаш, шунингдек, металлургия ва тўқимачилик саноати оқова сувларида қўллаш имкониятларини белгилаш;

олинган сорбентлар ва уларни оқова сувларни тозалашда қўллаш технологияларини йириклаштирилган лаборатория ҳамда саноат-тажриба қурилмаларида амалий синовдан ўтказиш, натижаларини ишлаб чиқаришга жорий этиш имкониятларини аниқлаш;

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида Ўзбекистонда учрайдиган сапропель ва бентонит минераллари, улар асосида модификацияланган сорбентлар ҳамда коагулянт-флокулянтлар иштирокида тайёрланган композит сорбентлар, шунингдек, металлургия ва тўқимачилик саноатининг оқова сувлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни сапропель ва бентонитга турли ишлов бериш орқали сорбцион хусусиятларини яхшилаш, уларни модификациялаш ва саноат оқова сувларини тозалашда самарадорлигини баҳолаш ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертацияда кимёвий, физик-кимёвий, ИҚ-спектроскопия, рентгенографик, масс-спектроскопик ва хроматографик таҳлил усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

сапропельнинг сорбцион хусусиятлари, табиий алюмосиликат ва органоминерал таркиби, ғовак тузилиши ҳамда фаол юза марказлари СЭМ, XRF, EDS, FTIR, TGA/DTA таҳлил усуллари ёрдамида аниқланган;

сапропельни 350 °С ҳароратда фаоллаштириш орқали юза майдони ва ғовак ҳажми оптималлашган ҳолда адсорбцион фаоллиги оширилган ҳамда структурасининг механик барқарорлиги сақланганлиги аниқланган;

сапропель ва бентонитни натрий карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид ва алюминий сульфат билан модификация қилиш натижасида таркибий-структуравий кўрсаткичлари ва адсорбцион хусусиятлари ошганлиги аниқланган;

сапропель ва бентонит асосида модификацияланган сорбентлар олишда ҳарорат, рН, намлик, аралаштириш вақти ва реагент концентрациялари бўйича мақбул технологик режимлар ишлаб чиқилган;

бентонит, коагулянт ва флокулянтлар комбинациясидан фойдаланиш орқали сувни тозалаш самарадорлиги 90 % дан юқори даражага етказилиб,

коагуляция ва флокуляция жараёнларининг синергетик таъсири илмий асосланган;

модификацияланган сорбентлар қўлланилиши натижасида саноат оқова сувларидан оғир металллар, анионлар ва органик ифлослантитувчи моддалар миқдори кескин камайтирилиб, сувнинг экологик тозалик кўрсаткичлари ошганлиги аниқланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

Навбаҳор бентонити ва сапропелни модификация қилиш орқали юқори адсорбцион фаолликка эга бўлган сорбентлар олишнинг техник параметрлари ишлаб чиқилиб, уларнинг саноат оқова сувларини тозалашдаги қўлланиш имкониятлари далилланган;

Сапропель ва бентонит асосида тайёрланган сорбентлардан фойдаланиш орқали ишлаб чиқариш, санитария ва экологик меъёрларга мос саноат оқова сувларини тозалаш техник кўрсаткичлари ишлаб чиқилиб, уларнинг амалий самарадорлиги исботланган;

Навбаҳор бентонити ва сапропелни қайта ишлаш орқали самарали сорбентлар олиш ҳамда уларни оқова сувларни тозалаш жараёнида қўллаш бўйича технологик режимлар ишлаб чиқилиб, экологик хавфсизликни таъминлашдаги аҳамияти асослаб берилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги.** Олинган натижаларнинг ишончилиги, тадқиқот натижаларининг кимёвий, физик-кимёвий таҳлиллар, лаборатория синовлари ёрдамида кўп сонли тажрибаларнинг қониқарли даражада мутаносиблиги ва хулосаларнинг амалиётга жорий этилганлиги билан асосланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти Навбаҳор бентонити ва сапропелнинг тузилиш, термик барқарорлик ва фаоллик марказлари илмий асосда ўрганилганлиги, улар асосида юқори адсорбцион қобилиятга эга бўлган сорбентлар олиш технологиясини ишлаб чиқилганлиги ҳамда ушбу сорбентларнинг тузилишини СЭМ, XRF, FTIR, XRD ва TGA/DTA каби замонавий таҳлил усуллари билан комплекс аниқланганлиги, сорбентлар олиш жараёнларнинг физик-кимёвий асослари, назарияси ривожига катта ҳисса қўшиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти сапропель ва бентонит асосида тайёрланган сорбентлар оқова сувларни темир, сульфат, нитрит, нитрат, фосфор ва аммоний ионлари миқдорини 40–93% гача камайишига рангсизлантиришига, тиниқлик ва ҳидсизлантириш самарадорлигини 91–95% гача етказишга, композит таркибда 1,0:0,15:0,1:0,2 (Бентонит:NaHSO<sub>3</sub>:ПАА:Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) нисбатидаги сорбентнинг юза майдони 220 м<sup>2</sup>/г, ғовак диаметри 3,2 нм, ғовак ҳажми эса 0,28 см<sup>3</sup>/г бўлган, юқори фаолликка эга бўлган модификацияланган сорбентлар ишлаб чиқишга хизмат қилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Сапропель ва бентонит асосида модификацияланган композит сорбентлар олиш, уларни коагулянт-флокулянтлар билан биргаликда самарали тозалаш компоненти сифатида

ишлаб чиқиш ҳамда ушбу сорбентларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш технологияси бўйича олинган илмий натижалар асосида:

модификацияланган сапропель ва бентонит асосида юқори самарадор сорбентлар олиш ва уларни коагулянт ҳамда флокулянтлар ёрдамида комбинацияланган усули Навоий кон-металлургия комбинати АЖ да оқова сувларни турли оғир металл катионларидан тозалаш амалиётига жорий этилган (2025 йил 29 сентябрдаги 02-07/02/9226-сон маълумотномаси). Натижада, импорт ўрнини босувчи сорбентлар олиш ҳамда уларни коагулянт-флокулянтлар билан биргаликда самарали тозалаш компоненти сифатида Навоий кон-металлургия комбинати АЖ оқова сувларни муайян даражада тозалашга хизмат қилган;

оқова сувларни комплекс сорбент-коагулянт-флокулянт комбинацияланган усул ёрдамида тозалаш жараёни Навоий кон-металлургия комбинати АЖ да амалиётга жорий этилган (Навоий кон-металлургия комбинати АЖнинг 2025 йил 29 сентябрдаги 02-07/02/9226-сон маълумотномаси). Натижада, импорт ўрнини босувчи сорбентлар олиш ва уларни оқова сувни тозалашда қўллаганда, таркибдаги катионлардан  $\text{Cu}$  – 5,89 мг/л;  $\text{Ni}$  – 11,76 мг/л;  $\text{Cr}$  -0,56 мг/л;  $\text{Co}$  – 3,43 мг/л 80-90% тозалаш имконини берган;

маҳаллий хомашёлар асосида сорбция-коагуляция-флокуляция усулида чўктириш орқали кимёвий тозалаш усули Навоийазот АЖ да амалиётга жорий этилган. (Навоийазот АЖ корхонасининг 2025 йил 2 августдаги 03-48/83-сон маълумотномаси). Натижада, ушбу усул орқали тозалаш натижасида Навоийазот АЖ №99 цехи оқова сувлари таркибидаги туз миқдорини 196-198 мг/л (81,7%) гача,  $\text{Cl}^-$  иони миқдорини 21-23 мг/л (83,2%) гача камайтириш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 7 та халқаро ва 12 та Республика илмий-амалий анжуманларда апробациядан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши.** Диссертация мавзуси бўйича жами 47 та илмий ишлар чоп этилган бўлиб, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари (DSc) асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 25 та мақола, жумладан, 10 та Республика журналларда, 15 та хорижий журналларда чоп этилган, 1 та монография нашр қилинган ҳамда Интеллектуал мулк агентлиги томонидан электрон ҳисоблаш машиналари учун 2 та дастурий таъминот гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 200 бетни ташкил этган.

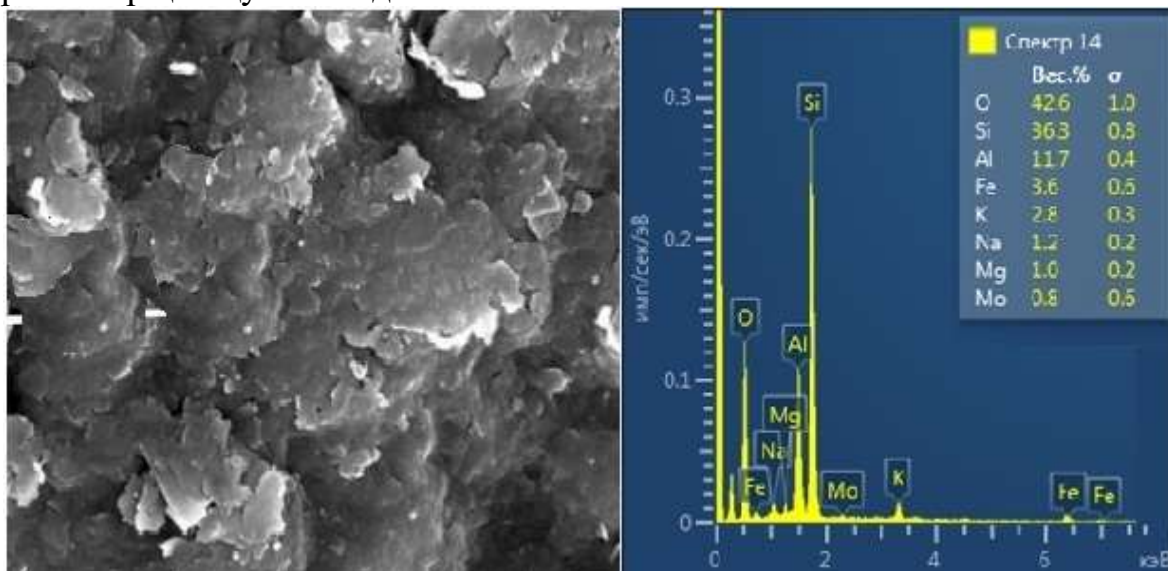
## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш қисмида** олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари

ривожлантиришнинг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга қўлланилиши бўйича тавсиялар, нашр қилинган ишлар ва диссертация тузилиши келтирилган.

**“Минерал ва биоген хом ашёлар асосида сорбцион материаллар олиш ҳамда оқова сувларни тозалаш технологиялари бўйича илмий-тадқиқотлар тахлили”** деб номланган биринчи бобида сапропель моддасининг физик-кимёвий хусусиятлари, унинг ион алмашиш қобилияти ва оғир металллар ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ) га нисбатан сорбция салоҳияти кенг кўламда ўрганилган. Сапропель асосидаги табиий сорбентларнинг ифлослантирилган оқова сувларни тозалашдаги юксак потенциални очиб беради. Бу натижалар сапропельнинг нафақат табиий ресурс сифатида, балки модификация орқали юқори қўшимча қийматга эга маҳсулотга айланиши мумкинлигини исботлайди.

**“Тадқиқот объектлари, уларнинг физик-кимёвий хусусиятлари ва ишлатилган тадқиқот усуллари”** деб номланган иккинчи бобда сапропель ва бентонит намунасига оид рентгенограмма тахлили ўрганилган. Сапропельнинг термик тахлили TGA/DTG/DSC, ИК-спектри ҳамда СЭМ тахлилларини ўз ичига олган бўлиб, тахлил натижалари материалнинг органик ва минерал таркибини, термостабиллигини ҳамда энергия алмашилиш жараёнларини тавсифланган. Буларнинг барчаси сапропельнинг табиий-гибрид табиатини – яъни, органик ва минерал қисмларнинг бир вақтда мавжудлигини намоён этган бўлиб, бу турдаги структуралар сорбцион хусусиятларини шакллантиришда муҳим аҳамият касб этиши изоҳланган. Тадқиқотларимиз давомида комбинацияланган тозалаш усулида нафақат сапропель, балки Навбахор бентонити асосида тайёрланган сорбентлар ҳам қўлланилди.

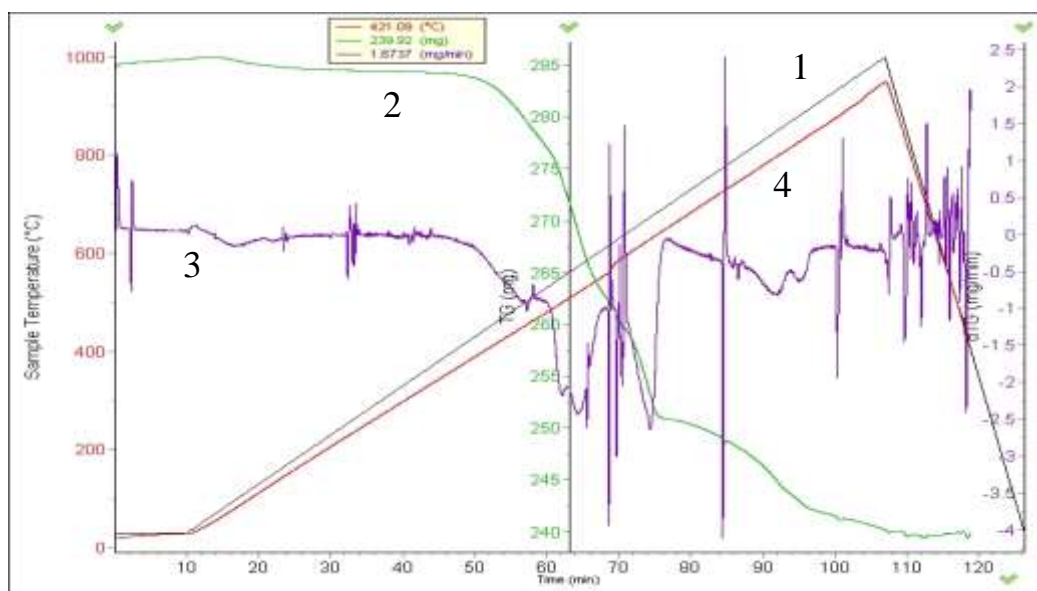


**1-расм. Навбахор бентонитнинг СЭМ тасвири**

Навбахор бентонитининг электрон-микроскопик тахлил натижалари келтирилган (1-расм).

Навбахор бентонитининг сканерловчи электрон микроскопияси (СЭМ) тасвири унинг табиий алюмосиликат табиатига хос бўлган қатламли ва флокулянт (йиғиндича/юпқалик) структурасини яққол кўрсатади. Тасвирнинг ўнг томонида келтирилган ЭДС (энергия-дисперсион спектрометрия) таҳлили бентонитнинг элемент таркибини кўрсатиб беради. Таҳлил натижаларидан кўришиб турибдики, бентонит асосан кислород (42,6%) ва кремний (36,3%) элементларига бой, бу унинг асосий тузилмаси – кремний-кислород остеокаркети ( $\text{SiO}_4$  тетраэдрлари) билан ташкил топганлигини тасдиқлайди. Алюминий (11,7%) ва темир (3,6%) миқдори монтмориллонит ва бошқа алюмосиликат минераллар таркибига хос бўлиб, алюминий қатламлараро позицияда ва ион алмашинув марказларида жойлашган. Калий (2,8%), натрий (1,2%), магний (1,0%) ва молибден (0,8%) миқдорлари бентонит таркибидаги ионлар орасидаги алмашинув қобилиятини ва модификация потенциалини кўрсатади. Айниқса, Мо ва Fe элементларининг мавжудлиги бентонитнинг модификация қилинган ёки ифлосланиш манбасидан келиб чиққанини кўрсатади.

Навбахор бентонитининг термогравиметрик таҳлили (TGA) унинг термик барқарорлиги, компонент таркиби ва моддий йўқотиш жараёнларини баҳолаш имконини беради (2-расм). Таҳлил натижаларига кўра,  $100^\circ\text{C}$  гача бўлган интервалда жуда оз миқдорда масса йўқотиш кузатилади, бу асосан адсорбцияланган физик сувнинг буғланиши билан боғлиқ. Бу босқичдаги йўқотишлар бентонитнинг табиий гигроскопик хусусиятини тасдиқлайди.  $100\text{--}250^\circ\text{C}$  оралиғида ҳеч қандай кескин реакция кузатилмайди, бу эса унинг структураси барқарор эканини кўрсатади.



**2-расм. Навбахор бентонитининг дериватограммаси: 1-температура эгри чизиғи; 2-динамик термогравиметрик таҳлил эгри чизиғи (ДТГА); 3-динамик термогравиметрик анализ эгри чизиғининг ҳосиласи (ДТГП); 4-DSK эгри чизиғи**

Таҳлилнинг асосий реактив фазаси  $250\text{--}600^\circ\text{C}$  оралиғида кузатилади. Бу босқичда материалнинг массаси сезиларли даражада камаяди, DTG қисмда

максимал қиймат 421.09°C атрофида қайд этилган. Бу ҳолат алюмосиликат қатламларидаги боғланган сув (структурали сув), гидроксил гуруҳларининг дегидратацияси ҳамда органик ифлослантирувчи ёки модификация элементларининг парчаланишига тўғри келади. Бу реакция экзотермик бўлиши ва ДТА қисмда энергия чиқиши ҳам кузатилган бўлиши мумкин.

Таҳлилнинг 600–1000°C оралиғидаги учинчи босқичида моддий йўқотиш жараёни яна секинлашади. Бу жараёнда асосан қалин қатламли алюмосиликат структуранинг термик қайта тузилиши, бўшлиқлар структурасининг қисқариши ва кремний-алюминий остеооскелетининг қайта кристалланиши кузатилиши мумкин. Ушбу босқичда умумий вазн йўқотиши тахминан 4–6% ни ташкил қилиши мумкин, бу миқдор структурадаги гидроксил гуруҳларнинг тўлиқ ажралиши ва фазавий ўзгаришларни акс эттиради. Умуман олганда, Навбахор бентонити термик жихатдан барқарор ва структураси 600°C гача бўлган ҳароратда ўзгаришга учрамайдиган фаол минерал модда эканлиги исботланади.

**“Сапропель хомашёсини механик ва термик фаоллантириш асосида сорбентлар олиш ҳамда уларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш”** деб номланган учинчи бобда сапропелни сорбент сифатида ишлатиш учун унинг физик-кимёвий хусусиятларини яхшилаш мақсадида қатор технологик ишловлар қўлланилган.

Сапропелдан сорбент сифатида фойдаланишда унинг физик-структуравий хусусиятларини яхшилаш мақсадида турли даражада майдалаш талаб этилади. Ушбу жараён ғоваклар ўлчамига, сорбция қобилятига бевосита таъсир кўрсатади. 600 мкм даражадаги майдаланган сапропелнинг ғоваклари <5 нм бўлиб, асосан микроғовак тузилмага эга (1-жадвал). Бу фракциядаги сапропелнинг фаоллиги паст, газ ёки ионлар ушбу ғовакларга кира олмайди, сорбция марказлари нофаъл ҳолда қолади. Шунинг учун бундай ўлчамдаги сапропель тузилмавий тўлдирувчи ёки мелиорант сифатида кўпроқ ишлатилади. 400 мкм даражадаги сапропелда ғоваклар ўлчами 9,5 нм атрофида бўлиб, мезоғоваклар шакллана бошлайди, бу БЕТ кўрсаткичларини яхшилайдди. Ҳар доим тозалаш ёки модификация жараёнларида бу фракцияга эга материални аралашмаларга қўшиш орқали самарадорликни ошириш мумкин. 200 мкм гача майдаланганда ғоваклар ўлчами 17,8 нм гача етади. Бу диапазондаги мезоғоваклар фаол ва очиқ бўлиб, сорбция марказлари шакллана бошлайди. Ушбу ўлчам сапропелни органик-минерал ўғитлар, биокомпост, ҳамда филтрация жараёнларида гомоген сорбент сифатида ишлатиш учун қулай ҳисобланади. Унинг БЕТ юза майдони ҳам 20 м<sup>2</sup>/г атрофида шаклланади, бу юқори фаолликка яқинлашишда муҳим босқичдир.

100 мкм даражада сапропелнинг ғоваклар ўлчами 34,5 нм гача етиб, тузилмада фаол мезоғоваклар ривожланади, юза майдони сезиларли ортиб, сорбция марказлари максимал даражада фаоллашади. Бу диапазондаги материал адсорбция жараёнларида, айниқса оғир металлларни, фосфатлар ва нитратларни оқова сувдан тозалашда юқори самара беради. 100 мкм — механик жихатдан барқарор, қайта ювилиш эҳтимоли паст, филтрлаш

тизимлари учун жуда мос. БЕТ таҳлилларида 59 м<sup>2</sup>/г гача юза майдони кўрсатган бундай фракция экотехнологиялар учун идеал ҳисобланади. 50 мкмда эса ғоваклар янада очилади (38,7 нм), БЕТ юза майдони юқори (64 м<sup>2</sup>/г), аммо ювилиш ва фильтр қатламидан ўтиб кетиш хавфи ортиши мумкин. Бундай фракция коллоид шаклда суюқ муҳитда тез тарқалади, лекин қайта тикланиши ва механик барқарорлиги паст бўлади. Шу сабабли, 100 мкм ғовак тузилмани сақлаган ҳолда юза майдони, фаол марказлар, механик барқарорлик ва қайта ишлаш имконияти бўйича энг мақбул йириклик ҳисобланади. Ушбу ўлчам лаборатория шароитида ҳам, амалий саноатда ҳам турли адсорбция ва фильтрлаш тизимларида кенг қўлланилиши мумкин. Ушбу таҳлиллардан келиб чиқиб, диссертация ёки илмий ишларда 100 мкм майдаланиш даражасига эга сапропель сорбент сифатида тавсия этилади. Сапропель каби табиий моддаларнинг адсорбцион хусусиятларини яхшилашда термик фаоллаштириш усули муҳим ўрин тутди. Ушбу жараёнда материал маълум ҳароратда қиздирилиб, унинг физик-кимёвий тузилмасидаги намлик, органик моддалар, ва хар хил фаол элементлар йўқотилиши орқали фаол марказлар ва ғоваклар юзасининг очилишига эришилади.

1-жадвал

Сапропельни механик майдаланиш даражасининг ғоваклар ўлчами ўзгаришига таъсири

№	Майдаланиш даражаси	Ғоваклар ўлчами	Изоҳлар
1	600 мкм	< 5 нм	Микроғовакли, фаоллик паст, газ кириши чекланган
2	400 мкм	9,5 нм	Мезоғоваклар шакллана бошлайди, БЕТ кўрсаткичи яхшиланади
3	200 мкм	17,8 нм	Ғоваклар фаол ва очик, сорбция марказлари фаоллашади
4	100 мкм	34,5 нм	Фаол мезоғоваклар ривожланган, тозалаш учун самарали
5	50 мкм	38,7 нм	Ғоваклар жуда очик, БЕТ юқори, лекин ювилиш эҳтимоли ортиши мумкин

Ушбу тадқиқотда 250 °С дан 450 °С гача бўлган ҳарорат интервалида фаоллаштирилган сапропель намуналарининг БЕТ юза майдони аниқланди. Ҳарорат 250 °С бўлганида юза майдони 18,54 м<sup>2</sup>/г бўлиб, материалдаги намликнинг чиқиши ва қисман ғовакларнинг ҳосил бўлиши билан изоҳланади. 300 °С да ушбу кўрсаткич 26,63 м<sup>2</sup>/г гача ошиб, ғовак структура шаклланиши бошлангани маълум бўлади.

Юқори фаоллик ва тозалаш самарадорлиги 350 °С ҳароратда эришилди. Ушбу ҳароратда БЕТ юза майдони 39,49 м<sup>2</sup>/г бўлиб, сапропельнинг ички структурасида мезоғоваклар тўлиқ очилади, актив сорбция марказлари ривожланади. Бу температура — структура барқарорлиги, адсорбцион қобиляти ва қўллаш имконияти жиҳатдан энг мақбул шароит ҳисобланади.

Бизга маълумки, тоғ-кон металлургия саноати корхоналари оқова сувлари минерал ва органик ифлосланишнинг юқори даражасига эга. Бундай сувларни тозалаш учун комплекс технологиялар — жумладан, сапропель, бентонит, минерал ва полимер флокулянтлар асосида сорбция, коагуляция ва фильтрация усуллари қўлланилиши мақсадга мувофиқ ҳисобланади. Бу эса атроф-муҳит муҳофазасини таъминлаш билан бирга, қайта ишлаш ва техник сув олиш имкониятини ҳам яратади.

2-жадвал

3-ГМЗ саноат корхонаси оқова сувлари таҳлил натижалари

Катион-лар	Бир литр эритманинг таркиби			Бошқа кўрсаткичлар	
	мг/л	мг-экв/л	%-экв/л		
Na <sup>+</sup>	658	28,61	22,98	Умумий қаттиқлик мг-экв/л:	85,23
K <sup>+</sup>	245	6,28	5,05	Карбонат	3,79
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32	1,78	1,43	Карбонатсиз	70,18
Ca <sup>2+</sup>	748	37,40	30,05	рН	7,89
Mg <sup>2+</sup>	574	47,83	38,43	СО <sub>2</sub> эркин. мг/л	29
Fe <sup>3+</sup>	32	1,71	1,38	СО <sub>2</sub> агр мг/л	Мавжуд эмас
Fe <sup>2+</sup>	24	0,86	0,69	SiO <sub>2</sub> мг/л	8
Жами	2313	124,47	100,00	Курук қолдиқ: мг/л	
Анионлар				Эксперимент	7858
				Ҳисобланган	7763
Cl <sup>-</sup>	2045	57,61	46,28	Физикавий хоссалари	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2310	48,13	38,67	Тиниклиги	Филтрлашдан кейин тиник
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,2	0,03	0,02	Таъми	Жуда шўр
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	772	12,45	10,00	Ранги	Рангсиз
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	54	1,86	1,50	Ҳиди	Ҳидсиз
HCO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	268	4,39	3,53	Қолдиқ	Чайқалмай турганда чўкмага тушади
Жами	5450,2	124,46	100,00	Ютилган моддалар, мг/л	410

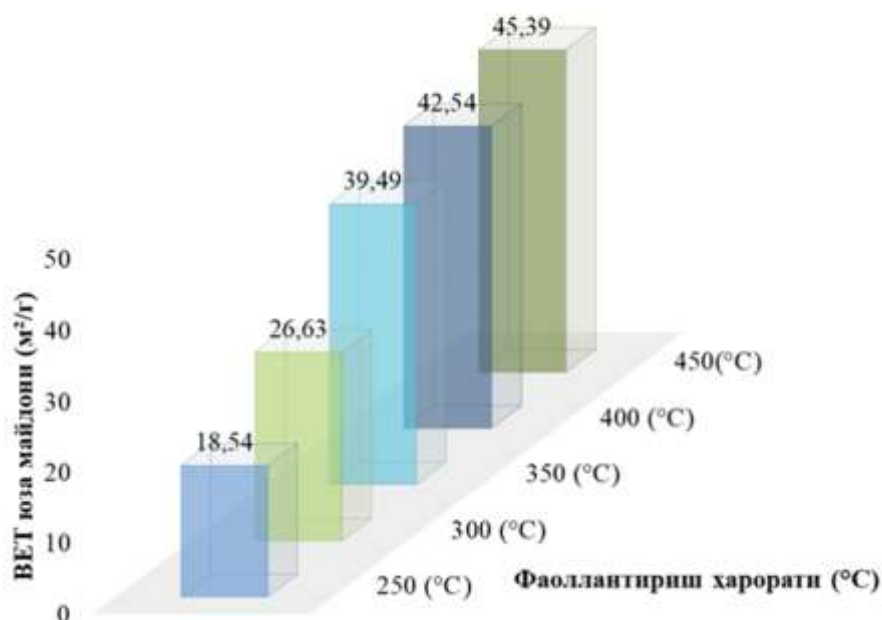
Юқоридаги таҳлилий маълумотларга таянган ҳолда, 3-сонли гидрometаллургия заводи оқова сувларини тозалаш учун композит сорбентлар ва комплекс технологияларни ишлаб чиқиш зарурати яққол кўзга ташланади. Бундай сувларда юқори миқдордаги катионлар (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>), анионлар (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), ҳамда курик қолдиқлар юқори даражада бўлгани боис, оддий механик ёки биологик тозалаш етарли самара бермайди (2-жадвал).

Шунинг учун адсорбцион, ион алмашинувчи ва коагуляцион жараёнларни биргаликда қўллаш талаб этилади. Бунинг учун эса сапропель асосида юқори самарали сорбентлар яратиш мақсадга мувофиқ.

Сапропелнинг юза майдони (БЕТ) ва ғовакликлар ҳажмини оптималлаштириш, жумладан, механик (100 мкм гача майдалаш) ва термик (350 °С да фаоллаштириш) ишлов бериш орқали уларнинг сорбцион қобилияти оширилади.

Шу билан бирга, турли рН ва электролит миқдорида турли катион-анионларни сорбция қилиш қобилияти аниқланиб, амалдаги ифлосланган сувда бу сорбентлар қандай самара бераётгани лабораторияда текширилади. Шу орқали, гидрометаллургия жараёнларидаги фтор, сульфат, нитрат ва аммоний ионлари каби юқори ифлосланувчиларни сифатли тозалаш имконияти яратилади.

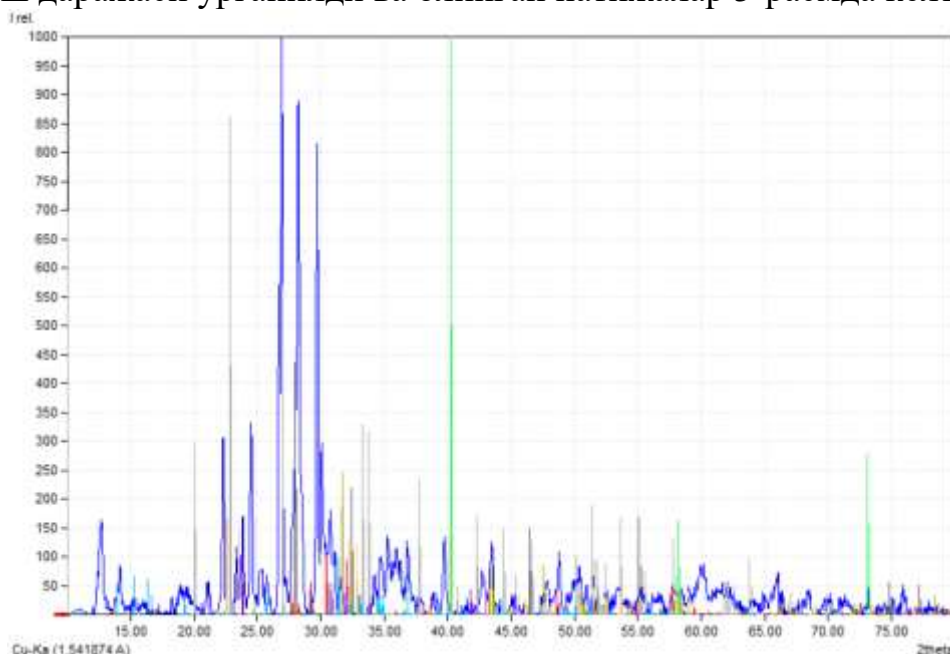
Ҳарорат 400 °С гача оширилганда юза майдони 42,54 м<sup>2</sup>/г, 450 °С да эса 45,39 м<sup>2</sup>/г ни ташкил этди (3-расм). Ҳароратни ошириш билан фаоллик бир оз ортади, бироқ 400 °С дан юқори ҳароратларда структурада емирилиш, ғовакликлар қисмининг йўқотилиши ва қайта ювилиш эҳтимоли пайдо бўлади. Шу боис 350 °С – функционал юза майдони ва механик барқарорлик ўртасидаги мувозанат нуқтаси деб баҳоланади. Бу ҳароратда фаоллаштирилган сапропель саноат оқова сувларини тозалаш, моддий сорбция жараёнлари учун энг самарали ҳолатда бўлади.



**3-расм. Сапропелни термик фаоллантиришнинг БЕТ юза майдони ўзгаришига таъсири**

Сапропель асосидаги сорбент рентнограммаси ўрганилди, ўрганиш натижалари 4-расмда келтирилган. Олинган натижалардан кўриниб турибдики, сапропель асосидаги сорбентнинг рентгенодифрактометрия (XRD) таҳлили натижалари 43 та аниқланган пиклар орқали сорбент таркибининг кўп фазали эканини тасдиқлайди. Асосий минераллар сифатида

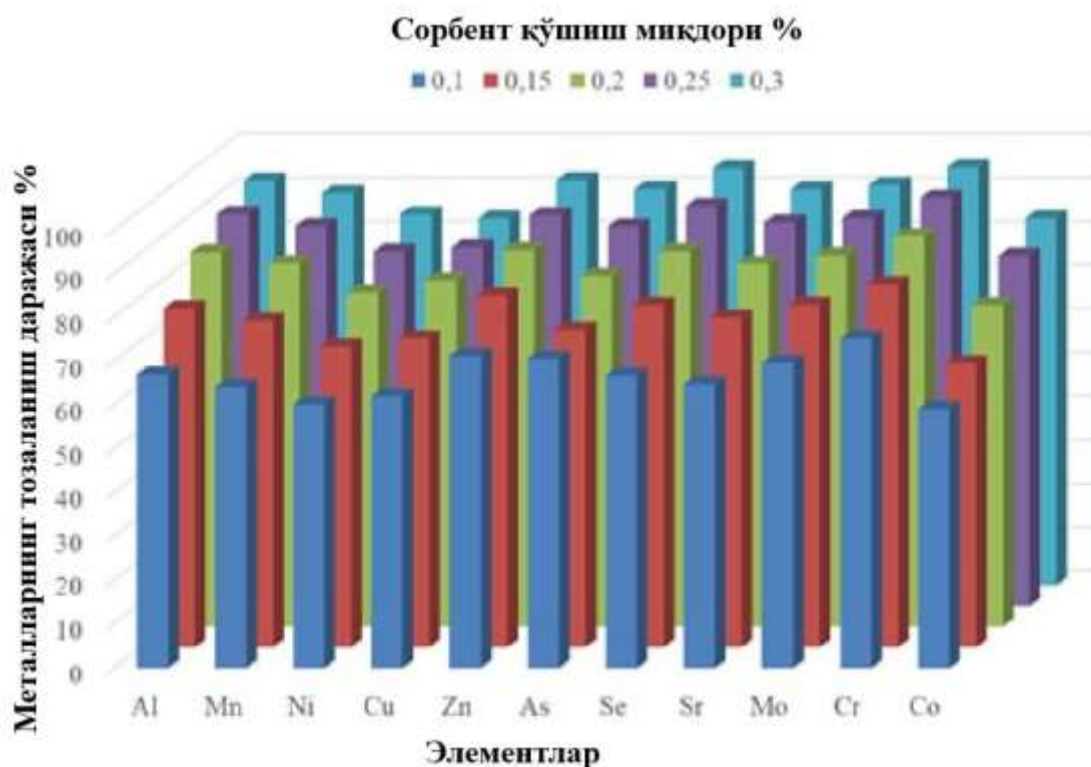
калцит ( $\text{CaCO}_3$ ), кварц ( $\text{SiO}_2$ ), доломит ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ), гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), каолинит, иллит, хлорит, мусковит ва бошқа алюмосиликатли моддалар аниқланган. Рентгенограммадаги эътиборга молик пиклардан №4 ( $22,34^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,9801 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 312,50$ ) — калцит, кварц ва ок иллитга мос келувчи пик бўлиб, сорбентдаги юқори кристалликли структурани англатади; №6 ( $24,31^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,6320 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 328,12$ ) — кварц ва магнетитга тегишли бўлиб, механик барқарорлик ва сорбцион хусусиятларга хисса қўшади; №11 ( $28,23^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,1607 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 963,61$ ) — энг юқори интенсивликка эга бўлиб, калцит ва доломит билан мос келади; №13 ( $30,95^\circ 2\theta$ ,  $d = 2,8871 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 267,52$ ) — доломит ва иллит фазаларига мос; №22 ( $37,79^\circ 2\theta$ ,  $d = 2,3806 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 130,43$ ) — кварц, леймонтит ва магнетит каби кремнийли фазалар билан боғлиқ; №39 ( $59,98^\circ 2\theta$ ,  $I/I_0 = 81,04$ ) ва №40 ( $61,41^\circ 2\theta$ ,  $I/I_0 = 64,28$ ) пиклари эса гематит, мусковит ва магнетит фазаларининг мавжудлигини англатади. Рентгенограммада пикларнинг торлиги ва FWHM қийматларининг асосан 0,1–0,3 интервалда бўлиши сорбент таркибида юқори даражада кристалликка эга минералларнинг устунлигини кўрсатади. Шу билан бирга, 0,5–0,75 каби кенг пиклар аморф аралашмаларнинг мавжудлигидан далолат беради. Сапропель асосида тозаланган 3-гидрометаллургия заводи оқова сувлари таркибидаги металлларнинг тозаланиш даражаси ўрганилди ва олинган натижалар 5-расмда келтирилган.



#### 4-расм. Сапропельни асосидаги сорбент рентгенограммаси

Таҳлил натижаларидан кўриниб турибдики, сорбент миқдори ошган сари барча металллар учун концентрация кескин камайган. Бу эса, сапропель асосидаги сорбентнинг юқори сорбция қобилиятига эга эканлигини ва оқова сувларнинг санитар-экологик ҳолатини яхшилашда самарали ечим эканлигини кўрсатади. Ҳар бир металл бўйича концентрациянинг босқичма-босқич тушиши, сорбентнинг тўйиниш нуқтасигача бўлган самарадорлигини ҳам кўрсатади. Масалан, 0,1% дан 0,2% гача сорбент қўшилганда металллар миқдоридаги фарқ катта бўлса, 0,25% ва 0,3% оралиғида айрим металллар

учун тушиш нисбатан секинлашади. Бу амалиётда оптимал сорбент миқдорини аниқлаш ва ресурс тежамкорлигини таъминлаш учун муҳим.



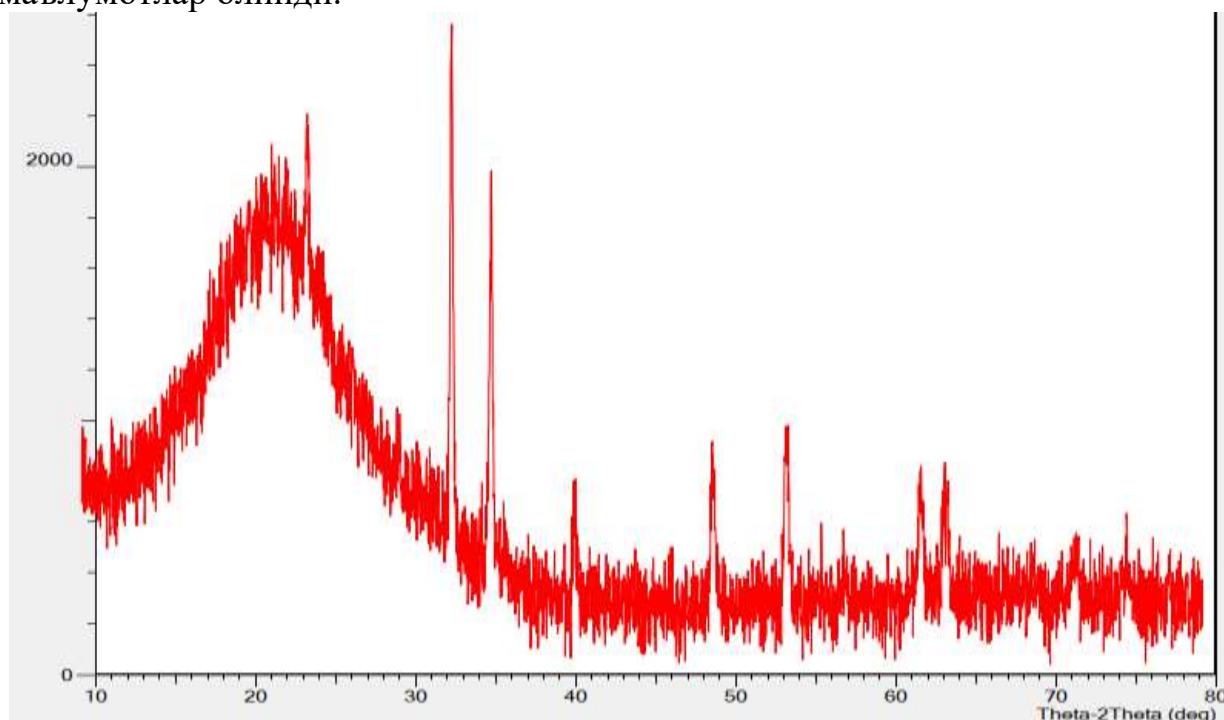
### 5-расм. Сапропель асосида тозаланган 3-гидрометаллургия заводи оқова сувлари таркибидаги металлларнинг тозаланиш даражаси

Сапропель асосидаги сорбент қўшилиш миқдори ошган сари оқова сувдаги барча асосий металлларнинг тозаланиш даражаси изчил ошгани яққол кўринади (5-расм). Масалан, алюминий (Al) учун тозалаш даражаси 0,1% сорбентда 67,05% бўлса, 0,3% сорбентда 92,49% гача етади. Марганец (Mn) 64,25% дан 89,63% гача, никель (Ni) эса 60,16% дан 84,82% гача тозаланган. Бу тенденция мис (Cu), цинк (Zn), мышьяк (As), селен (Se), стронций (Sr), молибден (Mo), хром (Cr) ва кобальт (Co) каби бошқа металлларда ҳам кузатилиб, уларнинг барчаси учун тозалаш даражаси 0,3% сорбентда 80% дан юқорига кўтарилган.

Айниқса, рух (Zn), хром (Cr) ва селен (Se) каби элементлар учун энг юқори тозалаш самарадорлиги қайд этилган бўлиб, 0,3% сорбентда улар мос равишда 92,62%, 95,52% ва 95,27% тозаланиш даражасига эришган. Бу эса сапропель асосидаги сорбентнинг юқори сорбция қобилиятига эга эканлигини ва оқова сувдаги зарарли металлларни РЭМ меъёрларга яқинлаштиришда самарали ечим эканлигини тасдиқлайди.

**“Бентонит ва коагулянт-флокулянтлар асосида композит сорбентлар олиш ва уларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш”** деб номланган тўртинчи бобда бентонит гилининг сорбентлик хоссаларини ошириш мақсадида уни сульфат кислотаси билан турли рН қийматларида кимёвий фаоллаштириш усули қўлланилган.

Бентонит, натрий гидросульфит, полиакриламид ва алюминий сульфатдан иборат 1,0:0,15:0,1:0,2 нисбатдаги композицион адсорбент рентгенодифракцион таҳлилдан ўтказилиб (6-расм), унинг фазавий тузилмаси, кристаллик даражаси ва моддий таркиби хақида муҳим маълумотлар олинди.



**6-расм. Бентонит, натрий гидросульфит, полиакриламид ва алюминий сульфати асосидаги (1,0:0,15:0,1:0,2) композицион адсорбентнинг рентгенодифрактограммаси**

Таҳлил  $10^{\circ}$ – $80^{\circ}$   $2\theta$  интервалда, Cu-K $\alpha$  нурланишида ( $\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$ )  $0,02^{\circ}$  тўлқин узунлигида ўтказилди. Натижалар асосида намунанинг асосий пиклари ва уларнинг қайси моддаларга мос келишини баҳолашга эътибор қаратилди.

Намунанинг энг кучли пики  $2\theta \approx 26,6^{\circ}$  ( $d \approx 3,34 \text{ \AA}$ ) бўлиб, у кремний оксиди ( $\text{SiO}_2$ ), яъни кварц фазасига мос келади. Бу пик бентонит таркибидаги кремний асосий фазаси ҳисобланиб, адсорбция қобилиятида муҳим роль ўйнайди. Кварц юқори кристаллик даражаси ва яхши термохимёвий барқарорлиги билан ажралиб туради. Шу билан бирга,  $2\theta \approx 27\text{--}30^{\circ}$  ( $d \approx 3,3\text{--}3,0 \text{ \AA}$ ) диапазонидаги пиклар ҳам кварц ва монтмориллонит ёки иллит сингари алюмосиликат фазаларга мос келади. Бу фазалар композицион адсорбентдаги бентонитнинг асосий тузилишини таъминлайди.

$2\theta \approx 33,1^{\circ}$  ( $d \approx 2,7 \text{ \AA}$ ) пик монтмориллонит ёки иллит фазасига тегишли бўлиб, алюмосиликатлар таркибини ифода этади. Бу фазалар адсорбция қобилиятининг юқорилиги ва структуранинг кенг ғовақлиги билан тавсифланади.  $2\theta \approx 35,5^{\circ}$  ( $d \approx 2,5 \text{ \AA}$ ) пик иллит билан боғлиқ бўлиб, айниқса алюминий гидроксид ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) қатламлари таъсирида намунанинг тузилишидаги ўзгаришларни акс эттиради. Ушбу пикда алюминий сульфат таъсирида алюминат қатламларининг вужудга келиши билан изоҳланади.

$2\theta \approx 20\text{--}25^\circ$  ( $d \approx 4,4\text{--}3,5 \text{ \AA}$ ) атрофидаги пиклар асосан монтмориллонитнинг Na ва Ca алюмосиликат қатламларига, шунингдек, иллит фазасига мос келади. Полиакриламиднинг юза тузилишидаги органик боғланишлар ғовакларни қисман ёпишига олиб келади ва пикларнинг кенглигида ўз аксини топади.  $2\theta \approx 38\text{--}42^\circ$  ( $d \approx 2,3\text{--}2,1 \text{ \AA}$ ) пиклар гидроксидлар, масалан,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  ёки гидратланган алюминатлар, шунингдек, натрий гидросулфит таъсирида ҳосил бўлган реакция маҳсулотларига мос келиши мумкин. Бу пиклар намунанинг механик барқарорлигини ва кристалл тартибини белгилаб беради.

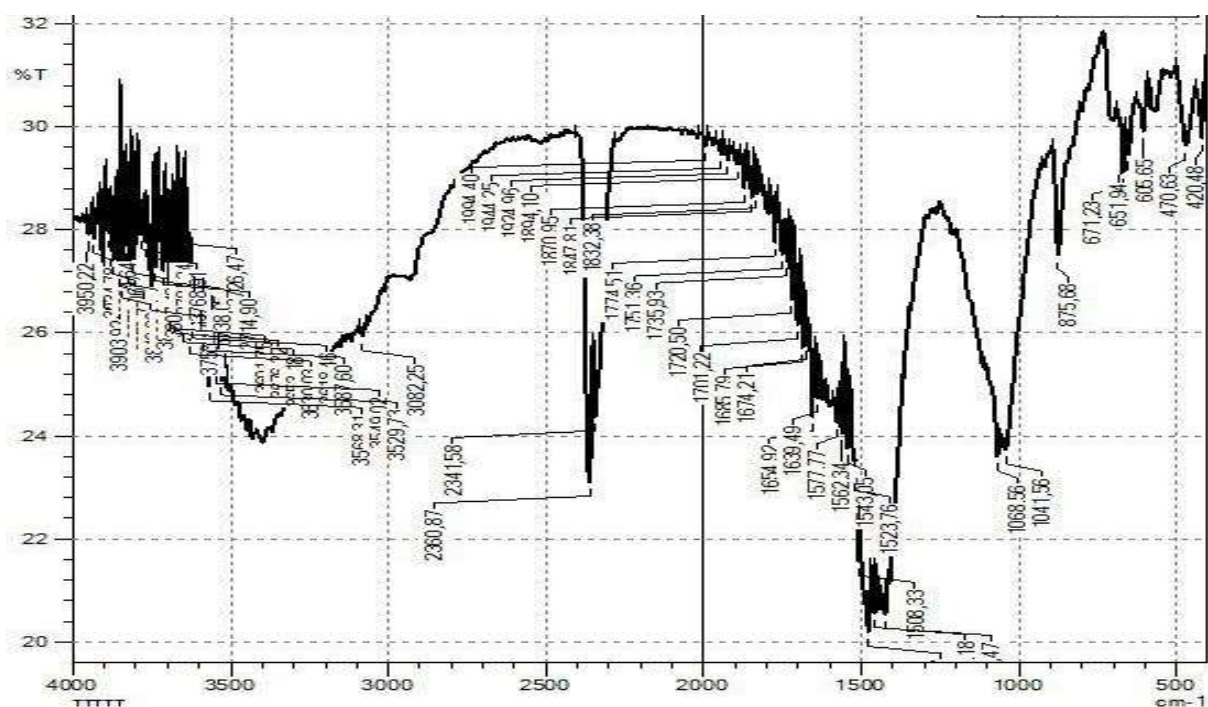
$2\theta \approx 43,5\text{--}45^\circ$  ( $d \approx 2,1\text{--}2,0 \text{ \AA}$ ) атрофидаги пиклар алюмосиликатларнинг юқори даражада кристаллланган шаклларига ишора қилиб, сорбция қобилиятини оширувчи катта юза майдони ва ғоваклари билан боғлиқ.  $2\theta \approx 50^\circ\text{--}52^\circ$  ( $d \approx 1,8\text{--}1,7 \text{ \AA}$ ) пиклар эса алюминий гидроксид ёки алюминат фазаларга мос келади. Улар алюминий сульфат таъсирида алюминат гидроксид қатламлари билан боғланиш натижасида вужудга келади. Шунингдек,  $2\theta \approx 54^\circ$  ( $d \approx 1,7 \text{ \AA}$ ) пик ҳам кремний оксиди (кварц) ва алюминат-гидроксид фазаларига мос келиши мумкин.

Умумий хулосага кўра, композицион адсорбент таркибидаги асосий фазалар алюмосиликатлар (монтмориллонит, иллит), кремний оксиди (кварц), алюминат ва гидроксидлардир. Бу фазалар адсорбентнинг юза майдони, ғоваклар улчами ва механик барқарорлигини белгилаб, унинг сувда мустаҳкамлигини таъминлайди. Ҳосил бўлган структурада алюминий сульфатнинг алюминат қатламлари ва натрий гидросулфитнинг реакция маҳсулотлари микрокристаллик даражани оширган ва ғовакликларини мустаҳкамлаган. Таҳлил натижалари бу композицион адсорбентнинг адсорбция қобилияти юқори ва механик барқарор эканлигини кўрсатади.

ИК спектроскопия таҳлилида композицион адсорбентнинг таркибий фазаларидаги органик ва минерал боғлар келтирилган (7-расм). Спектрда  $4000\text{--}500 \text{ см}^{-1}$  диапазонидаги ҳосилалари тўлиқ таҳлил қилинди, бунга кўра  $3700\text{--}3000 \text{ см}^{-1}$  диапазонида кенг чизиқлар O–H боғларининг валент тебранишларини кўрсатади, бу бентонит ва полиакриламид таркибидаги гидроксил гуруҳлари билан боғлиқ. Бу пиклар сув буғи ва сув молекулалари, гидроксил боғларининг адсорбцияланган ҳолдаги тебранишларини англатади.

$2850\text{--}2950 \text{ см}^{-1}$  атрофидаги пиклар C–H валент тебранишларига тегишли бўлиб, полиакриламид таркибидаги метилен ( $-\text{CH}_2-$ ) гуруҳлари билан боғлиқ. Бу пиклар полиакриламиднинг адсорбент юзасига боғланиши ва углеводород структураларини ташкил қилиши ҳақида маълумот беради.

$1650\text{--}1600 \text{ см}^{-1}$  орасидаги пиклар C=O (карбонил) ва C=C боғларининг тебранишларига, полиакриламиднинг амид гуруҳлари ва алюмосиликат қатламларининг кремний ва алюминий боғланишларига тегишли. Бу пиклар бентонит таркибидаги иллит ва монтмориллонит структуралари билан боғлиқ бўлиши мумкин.



**7-расм. Бентонит, натрий гидросулфит, полиакриламид ва алюминий сульфати асосидаги композицион адсорбентнинг ИҚ спектри**

1450–1400  $\text{cm}^{-1}$  диапазондаги пиклар C–H деформация тебранишлари билан боғлиқ. Бу полиакриламид таркибидаги органик гуруҳларнинг механик барқарорлигини кўрсатади. 1100–1000  $\text{cm}^{-1}$  атрофидаги юқори интенсив пиклар Si–O–Si ва Si–O–Al боғларининг тебранишларига тегишли, бу алюмосиликат тузилишидаги асосий боғлардир.

800–600  $\text{cm}^{-1}$  орасидаги пиклар алюмосиликатларнинг тўғри бурчакли тебранишларига, айниқса бентонит ва иллитдаги кислород атомларининг ҳаракатига тегишли. Бу диапазондаги пиклар алюминий сульфат таъсирида юзада алюминат қатламлари пайдо бўлишини ҳам кўрсатади. 600–500  $\text{cm}^{-1}$  орасидаги кичик интенсив пиклар  $\text{NaHSO}_3$  (натрий гидросулфит) таъсиридаги C–S ва S=O боғларининг тебранишларига мос келиши мумкин.

Умуман, таҳлил натижаларидаги асосий пиклар композицион адсорбентнинг минерал (бентонит ва алюмосиликатлар) ва органик (полиакриламид) фазалари ўртасидаги боғларнинг барқарорлигини ва юзадаги функционал гуруҳларнинг (OH, C=O, Si–O) мавжудлигини кўрсатди. Бу натижалар композицион адсорбентнинг юқори адсорбцион қобилиятига ва механик барқарорлигига олиб келади. Шунингдек,  $\text{NaHSO}_3$  таъсирида C–S боғларининг шаклланиши ва алюминий сульфат таъсирида алюминат қатламларининг пайдо бўлиши адсорбент юзасида фазавий ва кимёвий ўзгаришларни таъминлаган.

Юқоридагиларни инобатга олган ҳолда, тўқимачилик саноати оқова сувларини ифлослантирувчи моддаларнинг концентрациясининг композицион адсорбентлар миқдорига боғлиқ ҳолда ўзгариши таҳлил қилинди, олинган натижалар 3-жадвалда келтирилган. Бунга кўра, муаллақ моддалар концентрацияси адсорбент кўшилиши билан 87% дан ортиқ

камайиб, бу адсорбция жараёнида уларнинг адсорбент катламларига боғланиши ва йирик заррачаларнинг агломерацияси билан изоҳланган.

3-жадвал

Тўқимачилик саноати оқова сувларини ифлослантирувчи моддаларнинг концентрацияси ўзгаришининг адсорбент миқдorigа боғлиқлиги

Кўрсаткичлар	Бошланғич оқова сув	0,25 кг/тонна	0,5 кг/тонна	0,75 кг/тонна	1,0 кг/тонна	1,25 кг/тонна	1,5 кг/тонна	1,75 кг/тонна	2,0 кг/тонна
рН	9	8,6	8,5	8,4	8,3	8,2	8,1	8,0	7,9
Муаллақ моддалар (мг/л)	400	325	252	204	142	124	93	68	52
Сирт фаол моддалар (мг/л)	70	64	58	51	43	36	29	24	20
Умумий ишқорий муҳит(мг/экв/л)	9,6	9,4	9,3	9,0	8,7	8,4	8,1	7,8	7,5
Қурук қўшимча (мг/л)	1200	1160	1042	805	608	538	478	385	275
Хлоридлар (мг/л)	51	50	45	40	35	30	25	22	20
Сульфатлар (мг/л)	350	338	304	278	212	201	190	175	160
КБС <sub>умумий</sub> (мг/л)	321	312	272	233	205	180	163	121	103
ККС (мг/л)	400	376	350	304	255	212	183	163	145
(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (мг/л)	14,5	13,5	12,5	10,47	8,63	6,38	4,42	3,30	2,87
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (мг/л)	6,7	6,7	5,5	4,5	3,5	2,5	2	1,5	1
Шаффолик (см)	2	3	4	5	7	8	10	12	13

СФМ концентрацияси 70 мг/л дан 20 мг/л гача тушиши полиакриламиднинг гидрофоб органик моддаларни адсорбция қилиши билан боғлиқ бўлиб, оқова сувдаги синтетик ювиш воситалари ва бошқа органик моддалар миқдорини камайтиришга ёрдам берган, СФМ камайиши эса сув сифати яхшиланишининг асосий кўрсаткичларидан ҳисобланади. Хлоридлар

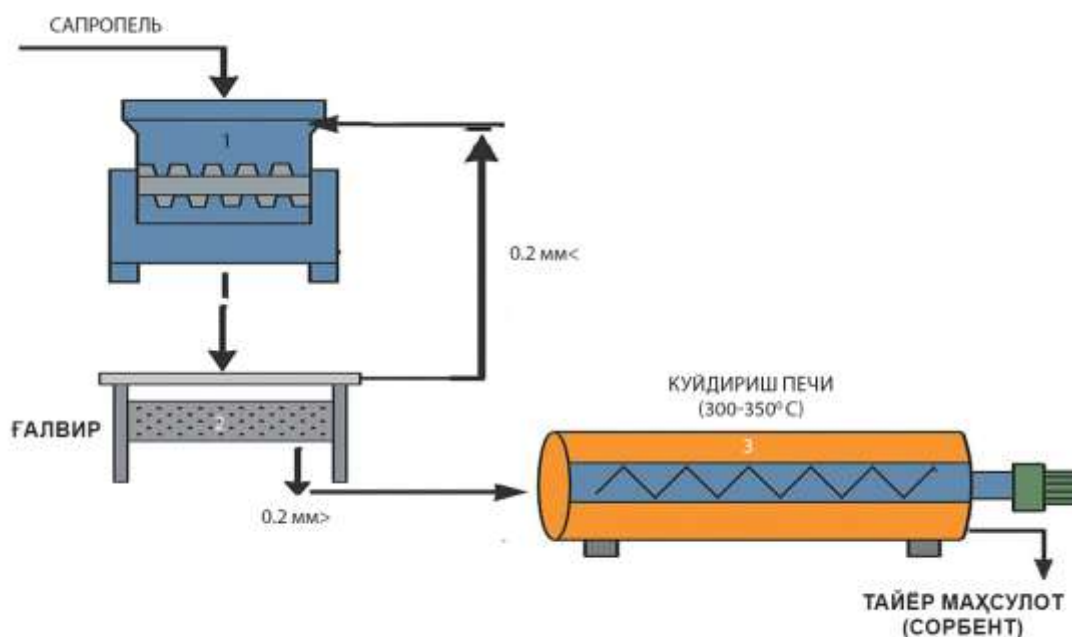
ва сульфатлар концентрациясининг мос равишда 51 дан 20 мг/л гача ва 350 дан 160 мг/л гача пасайиши тузлар адсорбцияси ва алюмосиликат қатламларидаги реакцияларнинг таъсири билан изоҳланади. КБС ва ККС кўрсаткичларининг мос равишда 321 дан 103 мг/л гача ва 400 дан 145 мг/л гача камайиши органик моддаларнинг (синтетик ювиш воситалари, ёғлар) адсорбция орқали йўқолиши билан боғлиқ бўлиб, биологик ва кимёвий талаблар пасайишига олиб келади. Фосфор ( $P_2O_5$ ) концентрациясининг 14,5 дан 2,87 мг/л гача камайиши алюминий сульфат таъсирида фосфатларни алюминат қатламларига боғланиши ва оқова сувдан чиқарилиши билан изоҳланади.

**“Сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан модификацияланган композит сорбентлар олиш технологиялари”** деб номланган бешинчи бобда бентонитни сульфат кислотаси билан фаоллаштириш ва сорбент тайёрлаш технологияси, бентонит асосида  $NaHSO_3$ , полиакриламид ва алюминий сульфат қўшилиб сорбент олиш технологияси ёритиб берилган. Сапропель ва бентонит асосида модификацияланган композит сорбентлар тайёрлашнинг технологик параметрлари (рН, ҳарорат, модификатор миқдори ва аралаштириш вақти) илмий асосда аниқланган ва уларни турли оқова сувларни тозалашда амалиётга жорий этиш имконияти кўрсатиб берилган.

Модификациялаш жараёни сапропельни тегирмонга юборишдан бошланади (8-расм). У ерда сапропель хомашёси механик тарзда янчилади. Бунда тегирмондаги айланувчи валлар ва ускуналар ёрдамида сапропель йирик ва ўртача фракциялардан майда заррачаларга парчаланadi. Янчидан мақсад – материал заррачалари юзаки майдонларини ошириш ҳамда кейинги термик фаоллаштириш босқичида кучли адсорбцион хусусиятларни шакллантириш учун дастлабки тайёргарликни таъминлашдир.

Янчилган материал кейин вибрацион сепаратор (даврий механик элак) ускунасига юборилади. Бу ерда заррачалар ўлчами бўйича ажратиш жараёни амалга оширилади. Вибрацион сепараторнинг ўлчами 0,2 мм бўлиб, бу меъёр технологик талабларга мувофиқ белгиланган. Вибрацион сепаратордан ўта олмаган 0,2 мм дан катта заррачалар қайтарма оқим орқали яна тегирмонга юборилади ва қайта янчилади. Бу контурли (айланма) жараён сифатида ишлаб, материални тўлиқ ҳажмда керакли ўлчамгача майдаланишини таъминлайди.

0,2 мм дан кичик бўлган заррачалар эса фаол термик ишлов бериш учун махсус куйдириш печига юборилади. Куйдириш печидаги асосий вазифа — сапропель таркибидаги органик моддаларни термик парчалаш, ғовак тузилишни яратиш ва адсорбцион марказларни фаоллаштиришдан иборат. Бу жараён 300–350 °С температурада амалга оширилади. Бу оралиқ – сапропельнинг термостабиллиги ва фаоллашув нукталарига мослаштирилган бўлиб, юқори ҳароратда материалдаги сув, углеводород ва гумус моддаларнинг маълум қисмини йўқотиш орқали унинг ғоваклигини оширади ва адсорбцион қобилятини жадаллаштиради.



**8-расм. Сапропелни механик ва термик фаоллаштириш асосида сорбент олишнинг технологик схемаси: 1-тегирмон; 2-галвир; 3-куйдириш печи**

Куйдириш жараёни ёпиқ муҳитда, баъзи ҳолларда инерт муҳитда (масалан, азот, карбонат ангидрид) амалга оширилиши мумкин. Бу материал таркибининг оксидланишини чеклаб, мақсадли структура ҳосил бўлишига ёрдам беради. Куйдириш вақти одатда 1–2 соат давом этади. Куйдиришдан сўнг чиқувчи маҳсулот тайёр сорбент ҳисобланади. У юқори ҳажмли ғоваклик, кенг юзаки майдон (100–300 м<sup>2</sup>/г) ва самарали металл ионлари ёки органик моддаларни адсорбция қилиш қобилиятига эга бўлади. Сорбент суюқ муҳитлардан ионлар, оғир металллар, ёғлар ва токсик моддаларни тозалашда қўлланишга мўлжалланган бўлиб, бу технология атроф-муҳит муҳофазаси ва саноат чиқиндиларини қайта ишлаш соҳаларида кенг қўлланилади.

Бентонитни сульфат кислотаси билан фаоллаштириш ва сорбент тайёрлаш технологияси келтирилган (9-расм).

Бентонит гилини сорбент сифатида самарали қўллаш мақсадида унинг физик-кимёвий хусусиятларини яхшилаш талаб этилади. Бунинг учун бентонитни сульфат кислотаси (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) билан фаоллаштириш усули ишлатилади. Ушбу жараёнда гилнинг ички тузилишидаги табиий структуралар қисман парчаланиб, унинг адсорбцион марказлари фаоллашади ва юзаки майдони кенгаяди. Технология асосан тўрт босқичдан иборат: кислотали фаоллаштириш, нейтраллаштирувчи ювиш, қуритиш ва тайёр маҳсулотни омборлаш.

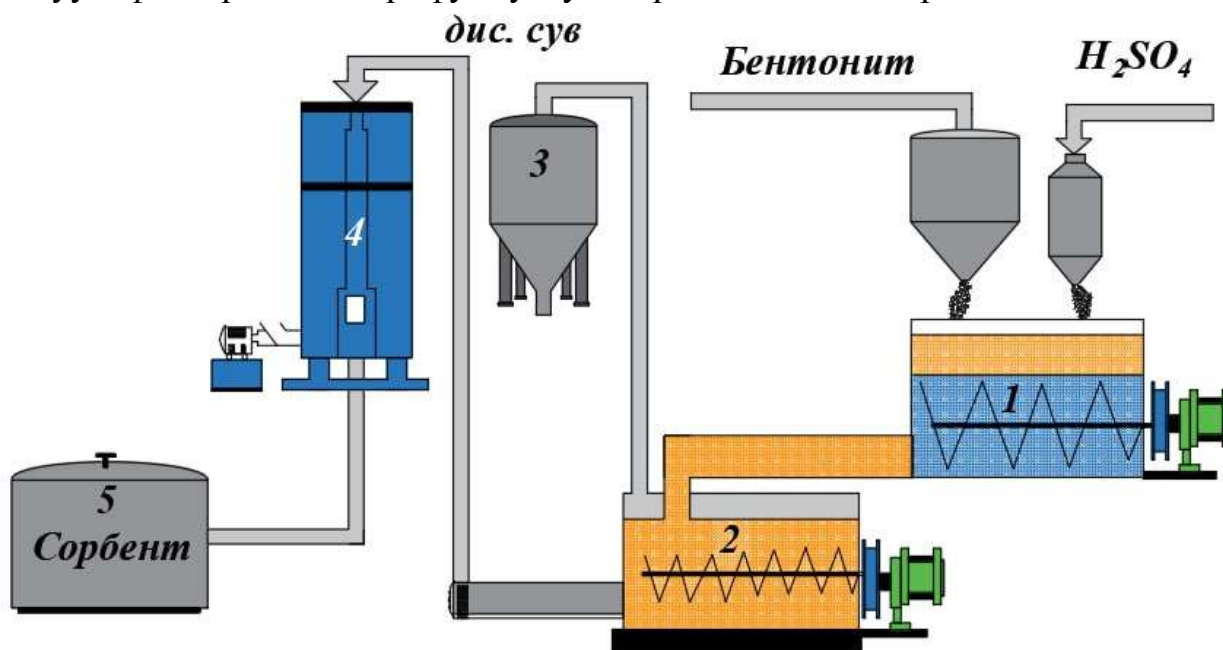
#### 1. Кислотали фаоллаштириш жараёни

Биринчи босқичда табиий бентонит гили элакдан ўтказилиб, бир хил заррача ўлчамига эга қилинади. Кейин 10% ёки 15% концентрацияли сульфат кислотаси дистилланган сувда суюлтирилиб, pH 4,0 атрофига келтирилади. Аралашма (суспензия) 80–90 °C ҳароратда 1 соат давомида турли

тозаликдаги кимёвий реакциялар учун махсус реактор идишларда сақланади. Бу жараёнда  $H^+$  ионлари гил структурасидаги  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  каби катионлар билан ион алмашинув реакциясига киришиб, бентонит структурасига ўзгариш киритади ва адсорбция қобилиятини кучайтиради.

## 2. Дистилланган сув билан ювиш

Ювиш жараёнида ҳар бир намуна ўзидаги кислотали ионларни чиқариб ташлаши учун бир неча марта қайта-қайта сувда ювилади. Бу жараёнда рН 6,5–7,0 атрофига етгунича сув қўшиш давом эттирилади. Ювиш жараёни вакуум-фильтр ёки центрифуга ускуналарида амалга оширилади.



**9-расм. Бентонитни сульфат кислотаси билан фаоллаштириш асосида сорбент олишнинг технологик схемаси: 1-активатор; 2- махсус реактор; 3-центрифуга; 4-қуритиш шкафи; 5- тайёр маҳсулотни сақлагич**

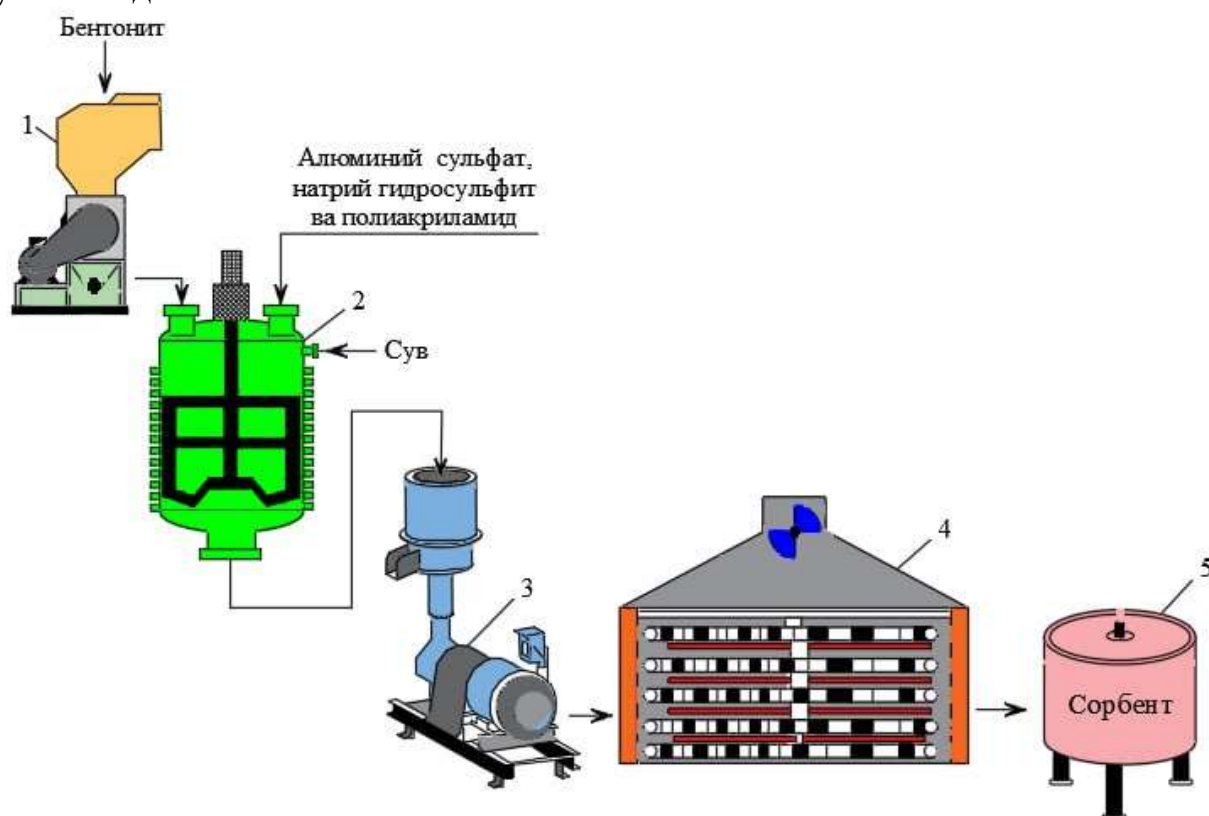
3. Қуритиш жараёни. Ювилган суспензия керамик ёки зангламайдиган пўлат поддонларга жойлаштирилиб, қуритиш печига юборилади. Қуритиш жараёни  $100\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$  ҳароратда 4–6 соат давомида олиб борилади. Ҳарорат доимий назорат остида ушлаб турилади, чунки юқори ҳарорат гил структурасини бузиши мумкин. Қуритишдан сўнг материалнинг намлиги 5% дан паст бўлиши талаб этилади, бу унинг сақлаш муддати ва сорбцион барқарорлигини таъминлайди. Қуритилган маҳсулот совитилиб, хўл муҳитга тушмаслиги учун махсус ҳаво изоляцияланган жойда сақланади.

4. Омборлаш ва сақлаш. Омбор сақлаш ҳарорати  $10\text{--}25\text{ }^\circ\text{C}$ , нисбий намлик эса 60% дан ошмаслиги керак. Омборда сорбент ҳаводан нам тортиб олмаслиги учун гигроскопик муҳитдан ҳимоя қилинган бўлиши шарт. Маҳсулот кейинчалик тўғридан-тўғри адсорбция жараёнларида, металл ионларини тозалашда ёки модификацияланган сорбент тайёрлашда қўлланиши мумкин.

Бентонит асосида  $NaHSO_3$ , полиакриламид ва алюминий сульфат қўшилиб сорбент олиш технологияси келтирилган (10-расм).

Бентонитни юқори самарали сорбент сифатида ишлатиш учун уни модификация ва гранулалаш асосида қайта ишлаш технологияси ишлаб чиқилган. Ушбу технологияда бентонит механик майдаланиб, турли модификаторлар (натрий гидросульфити  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламид ва алюминий сульфат) билан аралаштирилади ва гранула шаклида тайёр сорбент ҳосил қилинади. Жараён беш асосий босқичдан иборат: майдалаш, модификаторлар билан аралаштириш, гранулалаш, қуритиш ва омборлаш.

1. Бентонитни механик янчиш. Дастлаб, табиий бентонит хомашёси тегирмонга юборилади. Бу ерда у валокли ёки болғали майдалагичда заррача ўлчами 0,2–0,5 мм гача бўлган фракцияларгача янчилади. Қуритилган ва янчилган бентонит тайёрлаш қопларига тўкилиб, кейинги босқичга ўтказилади.



**10-расм. Бентонит  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламид ва алюминий сульфат билан модификацияланган сорбент олишнинг технологик схемаси:**

**1-майдалагич; 2-аралаштиргич; 3-гранулятор; 4-қуритиш печи; 5-маҳсулотни сақлаш контейнери**

2. Аралаштириш ва бўтқа тайёрлаш. Янчилган бентонит маълум микдордаги сув (одатда 1:1,2 ёки 1:1,5 нисбатда) билан аралаштирилади. Аралаштириш ускунасида (винтли ёки лопастли аралаштиргич) бентонит сув билан тўлиқ ювилган ҳолда бўтқа ҳосил қилинади. Шундан сўнг, модификаторлар —  $\text{NaHSO}_3$  (ишқорий муҳит барқарорлигини таъминлаш учун), полиакриламид (органик флокулянт ва механик мустаҳкамлик учун) ва алюминий сульфат (коагулянт ва структурани барқарорлаштирувчи) белгиланган микдорда бўтқага қўшилади. Аралашма 15–20 дақиқа давомида

бир хил структурага келгунча аралаштирилади. Бу босқичда моддалар ўзаро таъсирлашиб, сорбентнинг фаол марказлари шакллана бошлайди.

3. Гранулалаш. Тайёр бўтқа гранулятор ускунасига юборилади. Бу ускунада марказдан қочма кучлар таъсирида ёки барабанли айланувчи механизм ёрдамида ифодали гранулалар ҳосил қилинади. Гранулалаш жараёнида гранула диаметри 2–5 мм атрофида бўлиши таъминланади.

4. Қуритиш. Грануланган сорбент махсус лопастли ёки тасмали қуритиш печига юборилади. Қуритиш ҳарорати 90–110 °С оралиғида танланади ва бу жараён 4–6 соат давом этади. Қуритишда мақсад — гранулаларнинг механик мустақкамлигини ошириш ва адсорбцион қобилиятини барқарорлаштириш. Қуритиш вақти давомида ҳаво оқими ёрдамида намлик парчланади ва сорбентнинг тузилиши тўлиқ шаклланади.

5. Омборлаш. Қуритилган сорбент совитилади ва герметик идишларга, қопларга ёки картон барабанларга солинади. Сорбент омборда қуруқ, намлик бўлмаган ва соя жойда сақланиши керак. Ҳаво намлиги 60% дан ошмаслиги лозим.

## ХУЛОСА

“Сапропель ва бентонит асосида коагулянт-флокулянтлар билан модификацияланган композит сорбентлар олиш ва уларни саноат оқова сувларини тозалашда қўллаш технологияларини ишлаб чиқиш” мавзусидаги фан доктори (DSc) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотларга асосланган ҳолда, назарий ва амалий аҳамиятга эга бўлган қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Сапропелнинг физик-кимёвий хусусиятлари замонавий аналитик усуллар ёрдамида комплекс таҳлил қилиниб, уларнинг табиий тузилишидаги алюмосиликат ва органоминерал фазаларнинг адсорбцион марказлари мавжудлиги илмий жиҳатдан асослаб берилди.

2. Сапропелни механик майдалаш ва термик фаоллаштириш орқали унинг ғовак тузилиши, юза майдони ва адсорбцион қобилияти яхшиланиши таъминланди. Бу жараёнда фаол юза марказлари шаклланиши кузатилди.

3. Сапропель сорбенти оқова сув таркибидаги турли катионларни камайтиришда юқори самарадорликка эришди. Бу эса уни катион алмашинувчи материал сифатида қўллаш имкониятларини кенгайтирди.

4. Сапропель сорбенти оқова сувнинг биологик ва органолептик кўрсаткичларини яхшилашда таъсирли бўлиб, сув рН мувозанатини барқарорлаштириш ва хавfli бирикмалар миқдорини камайтиришда фойдали эканлиги асосланди.

5. Бентонит гилини кислотали муҳитда фаоллаштириш технологик усули асосида унинг структурасидаги ион алмашинув марказлари тикланди ва адсорбцион қобилияти бир неча марта оширилди.

6. Бентонитни  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламид ва алюминий сульфат модификаторлари иштирокида модификациялаш йўли билан олинган композит сорбент ўзининг барқарор механик тузилиши ва фаол адсорбцион хусусиятлари юқорилиги таҳлил натижалари асосида исботланди.

7. Композит сорбент таркибидаги компонентлар нисбати оптималлаштирилганда, сорбентнинг тузилишидаги ғоваклик, юза майдони ва модда алмашинув марказлари яхшиланди.

8. Коагулянт ва флокулянт моддалар билан модификация қилинган бентонит асосидаги сорбент оқова сувдаги коллоид ва ёғ моддаларни самарали тозалаш имконини берди, бу эса сувнинг шаффофлигини сезиларли даражада оширди.

9. Композит сорбентнинг тўғри танланган миқдори ва модификатор концентрацияси оқова сув таркибидаги бегона моддаларни камайтириш ва экологик меъёрларга мослашда муҳим роль ўйнаши асосланди.

10. Na-КМЦ ва ПАА асосида модификация қилинган сорбентлар оқова сувларни умумий тозалаш жараёнида юқори самарадорлик кўрсатиши аниқланди.

11. Сув таркибидаги мураккаб ифлослантирувчилар, хусусан, ишқорлилик, хавфли моддалар ва гидрофоб фракцияларнинг камайтилиши полиакриламид ва алюмосиликатлар таъсирининг синергетик натижаси эканлиги баҳоланди.

12. Сапропель ва бентонит асосида модификацияланган композит сорбентлар тайёрлашнинг технологик параметрлари (рН, ҳарорат, модификатор миқдори ва аралаштириш вақти) илмий асосланди ва уларни турли оқова сувларни тозалашда амалиётга жорий этиш имконияти мавжудлиги кўрсатиб берилди.

13. Сапропель ва бентонит асосида модификацияланган композит сорбентлар тайёрлашнинг техник иқтисодий асослари амалга оширилди ва 1 тонна сапропель ва бентонит асосида модификацияланган сорбент ишлаб чиқариш мос равишда 674 960 сўмни ва 1 179 536 сўмни ташкил этиши кўрсатиб ўтилди.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
DSc.17/7.06.2024.К/Т06.03 ПРИ НАВОЙСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ  
ГОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

---

**БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АМОНОВА МАТЛУБА МУХТАРОВНА**

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
СОРБЕНТОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ КОАГУЛЯНТАМИ-  
ФЛОКУЛЯНТАМИ НА ОСНОВЕ САПРОПЕЛЯ И БЕНТОНИТА, И ИХ  
ПРИМЕНЕНИЕ В ОЧИСТКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД**

**02.00.13 - Технология неорганических веществ и материалов на их основе**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации доктора технических наук (Doctor of Science)**

Тема докторской диссертации (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером B2025.3.DSc/T953.

Диссертация выполнена в Бухарском государственном университете.

Автореферат диссертации размещён на трёх языках (узбекском, русском, английском (резюме)) на веб-сайте Научного совета [www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz) и на информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный консультант:** **Мухиддинов Баходир Фахриддинович**  
доктор химических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Темиров Уктам Шавкатович**  
доктор технических наук, доцент

**Усанбаев Нажимуддин Халмурзаевич**  
доктор технических наук, профессор

**Тураев Зокиржон**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:** **Термезский государственный университет**

Защита диссертации состоится «25» октября 2025 года в 10:00 часов на заседании Научного совета DSc.17/7.06.2024.К/Т.06.03 при Наваийского государственного горно-технологического университета (Адрес: 210100, г. Наваи, проспект Галаба, дом 76в, конференц-зал Наваийского государственного горно-технологического университета. Тел.: 0 (79) 223-23-32; факс: 0 (79) 223-49-66; E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Наваийского государственного горно-технологического университета (зарегистрирован за №226). Адрес: 210100, г.Навои, ул. Галаба шох, 76в. Тел.: 0 (79) 223-23-32; факс: 0 (79) 223-49-66; (E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

Автореферат диссертации разослан «30» сентября 2025 года.

(Реестр протокола рассылки №14 от «30» сентября 2025 года).



**Т.И. Нурмуродов**  
Вр.и.о. председателя Научного совета по  
присуждению учёных степеней, д.т.н., профессор

**С.Ш. Шарипов**  
Секретарь Научного совета по  
присуждению учёных степеней, (PhD), доцент

**Ф.Э. Умиров**  
Присуждение учёных степеней  
Научный семинар при учёном совете  
Председатель, д.т.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора наук)

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** В связи с расширением промышленных предприятий в мире и ростом техногенной нагрузки проблема эффективной очистки сточных вод от сложных органических и неорганических загрязняющих веществ становится актуальной. Использование традиционных активных сорбентов и коагулянтов в этой области приводит к неэффективным с точки зрения технологической ценности и стоимости решениям. В то же время резко возрастает потребность в создании процессов очистки воды на основе недорогих, эффективных и экологически безопасных технологий путем создания модифицированных сорбционных композитов на основе природного сырья. В частности, производство сорбентов, модифицированных полимерными флокулянтами и коагулянтами на основе солей металлов с использованием местных сырьевых материалов – сапропеля и бентонита, позволяет усовершенствовать системы очистки воды с минимальными затратами энергетических и материальных ресурсов. Проводимые научные исследования показывают, что такие сорбционно-коагуляционные системы способны эффективно удалять из сточных вод взвешенные вещества, органические загрязняющие вещества и ионы тяжелых металлов. Поэтому разработка и внедрение в производство модифицированных сорбентов на основе природного и недорогого сырья имеет особое значение.

В связи со сложностью структуры промышленных сточных вод и взаимодействием в них загрязняющих компонентов, методы, сочетающие процессы сорбции, флокуляции и коагуляции для их эффективной очистки, стали центральным направлением научных исследований во всем мире. В частности, ведутся научные исследования по получению сорбентов путем усиления фазового обмена и разложения веществ под воздействием флокулянтов и коагулянтов, а также их модификации природными минералами, такими как сапропель и бентонит. При этом высокое содержание бета-активных центров в структуре обработанного сорбента обеспечивает целенаправленное взаимодействие вредных ионов. При этом повышенная пористость и адсорбционная емкость структуры, в сочетании с композитами-флокулянтами, позволяют эффективно накапливать высокие концентрации органических и неорганических веществ в сточных водах. Одним из наиболее перспективных подходов в этом направлении является оптимизация соотношения коагулянтов и флокулянтов, подбор количества сорбентов, а также уделение особого внимания процессу селективной очистки загрязненных вод на основе первичного анализа.

В нашей Республике достигаются важные научно-практические результаты за счёт разработки технологий экологически безопасной очистки промышленных сточных вод и эффективного использования природных ресурсов. «Необходимо системно организовать научно-исследовательские работы по следующим направлениям: внедрение в производство

энергосберегающих и экологически безопасных технологий, организация этих процессов в соответствии с современными требованиями, расширение возможностей использования возобновляемых источников энергии, переработка и минимизация отходов, снижение объёмов выбросов вредных веществ в атмосферу. Также важно внедрять международный опыт в практическую деятельность по этим направлениям»<sup>4</sup>. Исходя из этих задач, важное научное и практическое значение имеет создание модифицированных сорбционно-композитных сорбентов на основе местного минерального сырья – сапропеля и бентонита, а также разработка научно обоснованных технологий глубокой и селективной очистки промышленных сточных вод с их использованием совместно с коагулянтами и флокулянтами.

Настоящее диссертационное исследование в определенной мере послужит реализацией задач, изложенных в постановлении Президента Республики Узбекистан от 13 февраля 2021 г. № ПП-4992 «О мерах по дальнейшему реформированию и финансовому оздоровлению предприятий химической промышленности, дальнейшему развитию финансового оздоровления промышленных предприятий» и в постановлении № ПП-4124 от 17 января 2019 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности предприятий горно-металлургического комплекса» и других нормативных правовых актах, касающихся данной деятельности.

**Соответствие исследования основным приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с VII приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан — «Химические технологии и нанотехнологии».

#### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>5</sup>**

В мире научные исследования по получению композиционных сорбентов, модифицированных коагулянтами-флокулянтами на основе сапропеля и бентонита, и их применению для очистки промышленных сточных вод проводятся в ведущих научно-исследовательских центрах и высших учебных заведениях мира, включая Варшавский технологический университет (Польша), Рижский технический университет (Латвия), Таллинский технологический университет (Эстония), Вильнюсский университет (Литва), Шаньдунский технологический университет (Китай), Токийский университет (Япония), Университет Торонто (Канада), Бухарский

---

<sup>4</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан от 13 февраля 2021 года № ПП-4992 «О мерах по дальнейшей реформе и финансовому оздоровлению предприятий химической промышленности, а также по дальнейшему развитию механизмов финансового оздоровления промышленных предприятий»// Сборник нормативно-правовых актов Республики Узбекистан. – Ташкент, 2017. – С. 103.

<sup>5</sup> Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации выполнен на основе следующих источников:  
[https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-016-2244-x?utm\\_source=chatgpt.com](https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-016-2244-x?utm_source=chatgpt.com),  
[https://www.researchgate.net/publication/317771309 Influence of Polyelectrolytes and Other Polymer Complexes on the Flocculation and Rheo](https://www.researchgate.net/publication/317771309_Influence_of_Polyelectrolytes_and_Other_Polymer_Complexes_on_the_Flocculation_and_Rheo),  
[https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924002172?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666893924002172?utm_source=chatgpt.com),  
[https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9844?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.mdpi.com/2071-1050/15/12/9844?utm_source=chatgpt.com),  
[https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10573546/?utm\\_source=chatgpt.com](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10573546/?utm_source=chatgpt.com)

государственный университет, Ташкентский государственный национальный университет, Ташкентский государственный технический университет и Академию наук Узбекистана.

В мире ведутся научные исследования по разработке сорбентов, модифицированных коагулянтами-флокулянтами на основе сапропеля и бентонита, и их применению для очистки промышленных сточных вод, и получены следующие научные результаты: повышен уровень поглощения сорбентами ионов тяжелых металлов, красителей и органических загрязнителей в воде (Университет Торонто, Канада); Разработаны технологии очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов на основе природных сорбентов – бентонита и хитозана, а также технологии переработки водных ресурсов (Варшавский технический университет, Польша); изучена роль сорбентов типа бентонита в глубокой очистке воды от фосфат-ионов путём активации природных минералов и определены их оптимальные значения (Рижский технический университет, Латвия); разработаны технологии очистки сточных вод и восстановления водных ресурсов, а также технологии получения многоразовых сорбентов и гибридных коагулянтов (Таллиннский технический университет, Эстония); эффективно выделены фторид-ионы из состава воды (Исследовательский центр технологий водной среды, Токийский университет, Япония).

В мировой практике ведется ряд приоритетных направлений исследований по разработке сорбентов, модифицированных коагулянтами-флокулянтами на основе сапропеля и бентонита, и их применению при очистке промышленных сточных вод, в том числе: получение композиционных материалов с высокими сорбционными свойствами на основе местного сырья, модификация сорбционных свойств композиционных сорбентов и повышение их регенерационных свойств, получение селективных ионообменных ионитов для промышленных сточных вод различного состава, создание оборотных систем очистки промышленных сточных вод, разработка экономически эффективных методов очистки сточных вод.

**Степень изученности проблемы.** В международном научном сообществе проведены масштабные исследования в области разработки сорбентов на основе минерального сырья — сапропеля и бентонита, их модификации коагулянтами-флокулянтами, а также применения в очистке промышленных сточных вод. Например, китайские исследователи Jiang Li, Weiqing Zhang, Xiao Lin и Yongsheng Gao добились эффективных результатов по применению сапропеля в качестве биоразлагаемого материала. Польские учёные провели исследования по высокоэффективному удалению ионов тяжёлых металлов с помощью биополимерно-бентонитовых композитов, подтвердившие их высокую сорбционную способность<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Jiang Li, Weiqing Zhang, Xiao Lin, Yongsheng Gao. *Application of Sapropel in Wastewater Treatment*. Semantic Scholar. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/9413/b957f2ddc360f72640fc3821f7f92ac4e98e.pdf> (мурожаат санаси: 14.08.2025).; Jiang Li, Weiqing Zhang. *Recent Advances in Biodegradable Materials from*

В русской научной школе, в частности в Российской Федерации, значительный вклад в область применения минеральных сорбентов для очистки промышленных сточных вод внесли такие учёные, как В.А. Кистяковский, С.Л. Зайцева, А.Н. Гринберг, Г.С. Неретина, В.И. Веретнов, Н.Н. Падергин, Т.Н. Короткова, О.В. Грин, Ю.П. Макаров и Л.А. Чугуева. В их работах проведены комплексные исследования по химической и термической модификации минерального сырья, такого как бентонит, цеолит и сапропель, с целью улучшения структуры, физико-химических и сорбционных свойств полученных материалов. Особое внимание уделено эффективности сорбентов при удалении ионов тяжёлых металлов, нефтепродуктов и органических загрязнителей из сточных вод.

В Узбекистане Ш.К. Шарипов, И.Г. Якунин, С.Р. Абдуллаев, Б.Н. Икрамов, У.Ш. Темиров, Т.Т. Азимов и другие учёные провели ряд научных и прикладных исследований в области очистки и переработки промышленных сточных вод. Ими разработаны различные модифицированные сорбенты на основе местного минерального сырья — бентонита, сапропеля, диатомита и цеолита. В работах указанных учёных изучены сорбционные, фильтрационные и регенерационные свойства этих материалов, а также проведены исследования по их совместному применению с коагулянтами и флокулянтами для эффективной очистки сточных вод от ионов тяжёлых металлов, нефтепродуктов и различных органических соединений.

Особое внимание в их разработках уделено созданию энергоэффективных и экономически целесообразных технологий, их апробации на отечественных промышленных предприятиях и внедрению в практику. В процессе подготовки диссертации были тщательно изучены научные труды вышеуказанных учёных — как мировых, так и представителей российской и узбекской научных школ. Проведён критический анализ их взглядов, а также проведено собственное исследование, посвящённое функционально-технологической эффективности системы сорбентов на узбекском сырье.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами учреждения, в котором выполняется диссертация.** Диссертационное исследование выполняется в рамках научно-исследовательского плана Бухарского государственного университета по проекту на тему: «Производство флокулянта — химического реагента для очистки технических вод на основе местного сырья» (2023–2025 гг.), а также в рамках инновационных разработок, технологий и проектов, реализуемых на Мубарекском газоперерабатывающем заводе АО «Узбекнефтегаз», по направлениям: «Производство коагулянта — химического реагента для очистки технических вод на основе местного сырья», «Производство

флокулянта — химического реагента для очистки технических вод на основе местного сырья».

**Цель исследования** является получении модифицированных композиционных сорбентов на основе сапропеля и бентонита, разработка их в качестве эффективных компонентов очистки в комплексе с коагулянтами-флокулянтами, научное обоснование и совершенствование технологии использования этих сорбентов при очистке промышленных сточных вод.

**Задачи исследования:**

всестороннее изучение физико-химических свойств сапропеля и бентонита, определение их сорбционной активности и способности к модификации в различных условиях, с целью создания научной основы для их применения в процессах очистки;

анализ методов механической, термической и химической обработки сапропеля, разработка технологии получения модифицированных сорбентов посредством указанных процессов и обоснование их эффективности;

исследование процессов получения модифицированных композитных сорбентов на основе бентонита и коагулянтов-флокулянтов, выявление влияния материальных и технологических факторов на данные процессы;

глубокий анализ влияния технологических параметров, таких как температура, рН, влажность, время перемешивания и концентрация реагентов, на свойства сорбентов и определение их оптимальных значений;

оценка эффективности сорбентов, полученных на основе сапропеля и бентонита, в снижении содержания тяжёлых металлов ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$  и др.), аммония, хлоридов, сульфидов, а также общей жёсткости воды; определение возможностей их применения для очистки сточных вод металлургической и текстильной промышленности;

проведение практических испытаний полученных сорбентов и технологий их применения для очистки сточных вод на укрупнённых лабораторных и опытно-промышленных установках, а также выявление перспектив их внедрения в производство.

**Объектом исследования** являются сапропель и бентонитовые минералы, встречающиеся на территории Узбекистана, модифицированные на их основе сорбенты, а также композитные сорбенты, полученные с использованием коагулянтов-флокулянтов, и сточные воды металлургической и текстильной промышленности.

**Предметом исследования** выступает улучшение сорбционных свойств сапропеля и бентонита посредством различных методов обработки, их модификация и оценка эффективности применения в процессах очистки промышленных сточных вод.

**Методы исследования.** В диссертационной работе применены химические, физико-химические, ИК-спектроскопические, рентгенографические, масс-спектроскопические и хроматографические методы анализа.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

сорбционные свойства сапропеля изучены с использованием методов СЭМ, XRF, EDS, FTIR, TGA/DTA; установлены его природный алюмосиликатный и органоминеральный состав, пористая структура и активные поверхностные центры;

показано, что активация сапропеля при температуре 350°C приводит к увеличению удельной поверхности и порового объёма, что способствует росту адсорбционной активности при сохранении механической стабильности структуры;

установлено, что модификация сапропеля и бентонита натриевой карбоксиметилцеллюлозой, полиакриламидом и сульфатом алюминия повышает их структурно-композиционные характеристики и адсорбционные свойства;

разработаны оптимальные технологические режимы получения модифицированных сорбентов на основе сапропеля и бентонита по параметрам температуры, рН, влажности, времени перемешивания и концентрации реагентов;

научно обосновано, что использование комбинации бентонита, коагулянтов и флокулянтов обеспечивает эффективность очистки воды свыше 90 % за счёт синергетического эффекта процессов коагуляции и флокуляции;

выявлено, что применение модифицированных сорбентов способствует значительному снижению содержания тяжёлых металлов, анионов и органических загрязнителей в промышленных сточных водах, что приводит к повышению экологических показателей качества воды.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны технические параметры получения сорбентов с высокой адсорбционной активностью путём модификации навбахорского бентонита и сапропеля, обоснованы возможности их применения для очистки промышленных сточных вод;

определены технические показатели очистки промышленных сточных вод с использованием сорбентов на основе сапропеля и бентонита, соответствующие производственным, санитарным и экологическим нормам, что подтверждает их практическую эффективность;

разработаны технологические режимы получения эффективных сорбентов путём переработки навбахорского бентонита и сапропеля и применения их в процессах очистки сточных вод, что имеет важное значение для обеспечения экологической безопасности.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность полученных результатов подтверждается их согласованностью с данными химических и физико-химических анализов, результатами многочисленных лабораторных экспериментов, а также внедрением выводов исследования в практику.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов заключается в том, что структура, термическая стабильность и активные центры навбахорского бентонита и

сапропеля были изучены на научной основе; разработана технология получения сорбентов с высокой адсорбционной способностью; проведено комплексное исследование их структуры с использованием современных методов анализа (СЭМ, XRF, FTIR, XRD, TGA/DTA). Полученные данные вносят существенный вклад в развитие теории физико-химических основ процессов получения сорбентов.

Практическая значимость исследования состоит в том, что сорбенты на основе сапропеля и бентонита обеспечивают снижение концентрации ионов железа, сульфатов, нитритов, нитратов, фосфора и аммония в сточных водах на 40–93 %, при этом эффективность процессов обесцвечивания, осветления и дезодорации достигает 91–95%. Для композитного сорбента в соотношении 1,0:0,15:0,1:0,2 (Бентонит:NaHSO<sub>3</sub>:ПАА:Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) установлены следующие параметры: удельная поверхность 220 м<sup>2</sup>/г, диаметр пор 3,2 нм, объём пор 0,28 см<sup>3</sup>/г, что подтверждает возможность получения модифицированных сорбентов с высокой активностью.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по получению модифицированных композитных сорбентов из сапропеля и бентонита, разработке их в качестве эффективного очистительного компонента в сочетании с коагулянтами-флокулянтами и применению данных сорбентов в процессах очистки промышленных сточных вод:

разработаны и внедрены сорбенты высокой эффективности на основе модифицированного сапропеля и бентонита для очистки сточных вод текстильных предприятий в комбинации с коагулянтами и флокулянтами методами комбинированной очистки (акт ЧК ООО «TSK» от 16 мая 2025 года). В результате, обеспечено получение импортозамещающих сорбентов, применение которых совместно с коагулянтами-флокулянтами позволило достичь определённого уровня очистки сточных вод текстильной промышленности;

внедрён процесс очистки сточных вод методом комбинированного применения сорбентов, коагулянтов и флокулянтов на предприятии АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» для удаления различных катионов тяжёлых металлов (справка АО «НГМК» № 02-07/02/9226 от 29 сентября 2025 года). В результате, применение импортозамещающих сорбентов позволило снизить содержание в сточных водах ионов Cu – 5,89 мг/л, Ni – 11,76 мг/л, Cr – 0,56 мг/л, Co – 3,43 мг/л на 80–90 %;

предложенный комплексный метод очистки был апробирован на сточных водах АО «Навойазот» на различных стадиях производства, где содержание взвешенных веществ, различных ионов и показатели ХПК значительно снизились благодаря использованию комбинированного метода сорбции-коагуляции-флокуляции с осаждением (справка АО «Навойазот» № 03-48/83 от 2 августа 2025 года). В результате, в сточных водах водоёма №99 АО «Навойазот» показатель рН составил 8,06–9,45, концентрация Cl<sup>-</sup> – 125–136 мг/л; в водоёме №08 — рН 8,66–9,2, общая минерализация 1075 мг/л, концентрация Cl<sup>-</sup> 430–670 мг/л. После очистки содержание солей было

снижено до 196–198 мг/л (81,7 %), а концентрация ионов  $\text{Cl}^-$  — до 21–23 мг/л (83,2 %).

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены и утверждены на 7 международных и 12 республиканских научно-практических конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 47 научных работ, из них 25 научных статей, в том числе 10 в республиканских и 15 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций (DSc).

Кроме того, опубликована 1 монография. Также получены 2 свидетельства на программное обеспечение от Агентства интеллектуальной собственности.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 200 страниц.

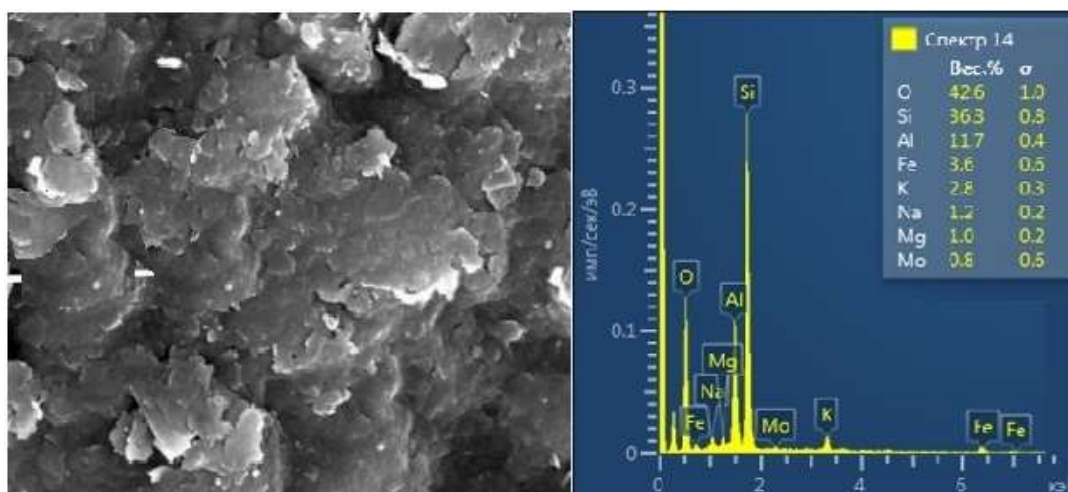
### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В введении** обоснована актуальность проведенного исследования и существующая потребность в нём, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики, изложены научная новизна и практические результаты, раскрыто научное и практическое значение полученных результатов, даны рекомендации по внедрению результатов в практику, приведён перечень опубликованных работ, а также структура диссертации.

В первой главе, именованная **«Анализ научных исследований по получению сорбционных материалов на основе минерального и биогенного сырья и технологиям очистки сточных вод»**, подробно изучены физико-химические свойства сапропеля, его ионообменная способность и сорбционный потенциал по отношению к тяжёлым металлам ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ). Раскрыт высокий потенциал природных сорбентов на основе сапропеля для очистки загрязнённых сточных вод. Эти результаты доказывают, что сапропель может использоваться не только как природный ресурс, но и, благодаря модификации, может быть превращён в продукт с высокой добавленной стоимостью.

Во второй главе - **«Объекты исследования, их физико-химические свойства и используемые методы исследования»** - приведён рентгенографический анализ образца сапропеля, включающий термический анализ (TGA/DTG/DSC), ИК-спектроскопию и СЭМ-исследования. Результаты анализов охватывают органический и минеральный состав материала, его термическую стабильность, а также процессы энергообмена. Все эти данные указывают на природно-гибридную природу сапропеля, то есть одновременное присутствие органических и минеральных компонентов, что, как отмечается, играет важную роль в формировании сорбционных

свойств таких структур. Также приведены результаты электронно-микроскопического анализа Навбахорского бентонита (рис.1).

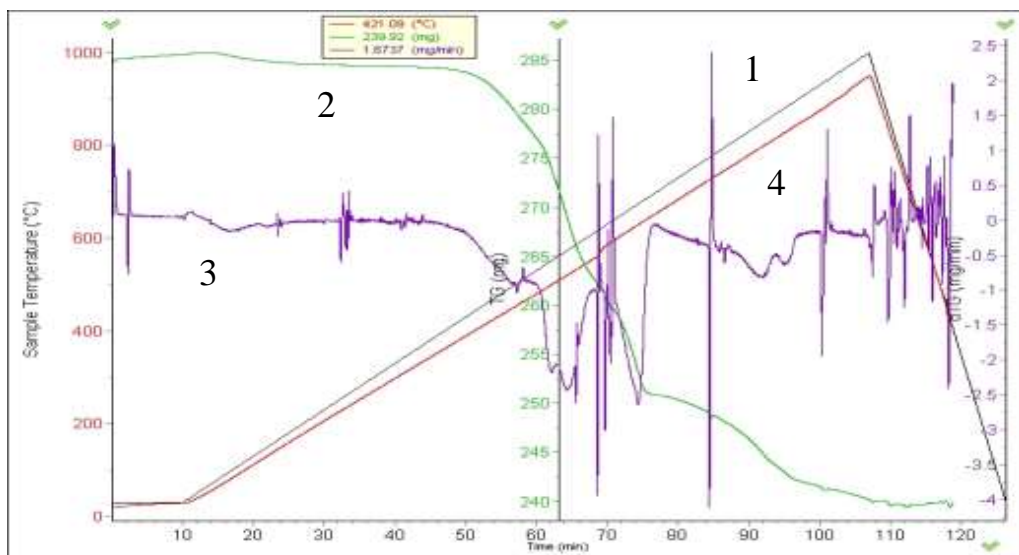


**Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение Навбахорского бентонита**

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) Навбахорского бентонита отчётливо демонстрирует его слоистую и флокулянтную (сборчатую/ тонкопластинчатую) структуру, характерную для природных алюмосиликатов. На правой стороне изображения приведён результат EDS-анализа (энергодисперсионной спектрометрии), который показывает элементный состав бентонита. Согласно результатам анализа, бентонит преимущественно состоит из кислорода (42,6%) и кремния (36,3%), что подтверждает наличие кремний-кислородного остова (тетраэдры  $\text{SiO}_4$ ), составляющего его основную структуру.

Содержание алюминия (11,7%) и железа (3,6%) типично для монтмориллонита и других алюмосиликатных минералов, алюминий, как правило, размещается в межслоевых позициях и на центрах ионного обмена. Наличие калия (2,8%), натрия (1,2%), магния (1,0%) и молибдена (0,8%) указывает на способность к ионному обмену и потенциал модификации структуры бентонита. В особенности, наличие элементов Mo и Fe может свидетельствовать о модифицированном состоянии бентонита или о присутствии загрязняющих примесей.

Термогравиметрический анализ (TGA) Навбахорского бентонита позволяет оценить его термическую стабильность, состав компонентов и процессы потери массы (рис.2). Согласно результатам анализа, в интервале до 100 °С наблюдается незначительная потеря массы, что в основном связано с испарением адсорбированной физически связанной воды. Потери на этом этапе подтверждают естественную гигроскопичность бентонита. В интервале температур 100–250 °С каких-либо резких реакций не происходит, что указывает на устойчивость его структуры.



**Рис.2. Дериватограмма Навбахорского бентонита 1-кривая температуры; 2-кривая динамического термогравиметрического анализа (ДТГА); 3-производная кривой ДТГА (ДТГП); 4-кривая DSC**

Основная реактивная фаза анализа наблюдается в интервале температур 250–600 °С. На этом этапе масса материала значительно уменьшается; на кривой DTG зафиксировано максимальное значение около 421,09 °С. Это соответствует процессам дегидратации связанной воды (структурной воды) в алюмосиликатных слоях, удалению гидроксильных групп, а также разложению органических загрязнителей или модифицирующих компонентов. Данная реакция может быть экзотермической, что может сопровождаться выделением энергии, зафиксированной на кривой DTA.

На третьем этапе анализа, происходящем в температурном интервале 600–1000 °С, процесс потери массы снова замедляется. На этом этапе, как правило, наблюдаются термическая перестройка слоистой алюмосиликатной структуры, сжатие пористой структуры, а также рекристаллизация кремний-алюминиевого остова. Общая потеря массы на данном этапе может составлять примерно 4–6%, что отражает полное удаление гидроксильных групп из структуры и происходящие фазовые превращения. В целом, установлено, что Навбахорский бентонит является термически стабильным и активным минеральным веществом, структура которого не претерпевает изменений до температуры 600 °С.

В третьей главе, под названием «**Получение сорбентов на основе механически и термически активированного сапропеля и их применение для очистки промышленных сточных вод**», описаны различные технологические обработки, применённые с целью улучшения физико-химических свойств сапропеля для его использования в качестве сорбента.

Для использования сапропеля в качестве сорбента требуется улучшение его физико-структурных характеристик, что достигается путем измельчения до различных размеров. Этот процесс напрямую влияет на размер пор и сорбционную способность материала. При измельчении до 600 мкм, размер пор составляет менее 5 нм, структура преимущественно микропористая (табл.1). В такой фракции сапропель обладает низкой активностью, так как

молекулы газа или ионы не могут проникнуть в поры, а сорбционные центры остаются неактивными. Поэтому сапропель в таком виде в основном используется как структурная добавка или мелиорант. При размере 400 мкм, поры увеличиваются до примерно 9,5 нм, начинают формироваться мезопоры, что улучшает показатели ВЭТ. Такой сапропель рекомендуется добавлять в смеси при очистке или модификации для повышения эффективности процесса. При дальнейшем измельчении до 200 мкм, размер пор достигает 17,8 нм. Мезопоры в этом диапазоне становятся активными и открытыми, начинают формироваться сорбционные центры. Этот размер делает сапропель подходящим для использования в качестве органоминерального удобрения, биокомпоста, а также гомогенного сорбента в фильтрационных процессах. Площадь поверхности по ВЭТ достигает примерно 20 м<sup>2</sup>/г, что является важным этапом на пути к высокой сорбционной активности.

Таблица 1

Влияние степени механического измельчения сапропеля на изменение размеров пор

№	Степень измельчения, мкм	Средний диаметр пор, нм	Характеристика структуры
1	600 мкм	< 5 нм	Микропористый, низкая активность, ограниченная газопроницаемость
2	400 мкм	9,5 нм	Начинают формироваться мезопоры, улучшается БЭТ
3	200 мкм	17,8 нм	Поры активны и открыты, активируются сорбционные центры
4	100 мкм	34,5 нм	Развиваются активные мезопоры, эффективны для очистки
5	50 мкм	38,7 нм	Поры очень открыты, БЭТ высокая, но может увеличиться вероятность выщелачивания

При размере частиц 100 мкм поры сапропеля достигают 34,5 нм, в структуре активно развиваются мезопоры, площадь поверхности значительно увеличивается, а сорбционные центры активизируются на максимальном уровне. Материал с такими характеристиками показывает высокую эффективность в процессах адсорбции, особенно при очистке сточных вод от тяжёлых металлов, фосфатов и нитратов. Фракция 100 мкм также является механически устойчивой, обладает низкой вероятностью вымывания и идеально подходит для фильтрационных систем. Согласно данным ВЭТ-анализа, площадь поверхности может достигать 59 м<sup>2</sup>/г, что делает такую фракцию оптимальной для применения в экотехнологиях. При дальнейшем измельчении до 50 мкм поры становятся ещё более открытыми (38,7 нм), а площадь поверхности достигает 64 м<sup>2</sup>/г. Однако при этом повышается риск вымывания частиц и прохождения их через фильтрующий слой, что снижает эффективность фильтрации. Такие частицы легко распространяются в жидкой среде в коллоидной форме, но обладают низкой механической

устойчивостью и затруднённой возможностью регенерации. Именно поэтому фракция 100 мкм рассматривается как наиболее оптимальный компромисс между развитием пористой структуры, площадью поверхности, активными центрами, механической устойчивостью и возможностью повторного использования. Этот размер может широко применяться как в лабораторных, так и в промышленных условиях в различных системах адсорбции и фильтрации. На основании проведённого анализа, в диссертационной или научной работе рекомендуется использовать сапропель с размером частиц 100 мкм в качестве сорбента. Термическая активация играет важную роль в улучшении адсорбционных свойств природных материалов, таких как сапропель.

В данном процессе материал подвергается нагреву до определённой температуры, в результате чего за счёт удаления влаги, органических веществ и различных активных элементов в его физико-химической структуре происходит образование активных центров и раскрытие пористой поверхности. В рамках данного исследования площадь поверхности по БЭТ ( $\text{м}^2/\text{г}$ ) была определена для образцов сапропеля, активированных в температурном интервале от  $250\text{ }^\circ\text{C}$  до  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . При температуре  $250\text{ }^\circ\text{C}$  площадь поверхности составила  $18,54\text{ м}^2/\text{г}$ , что объясняется удалением влаги и частичным формированием пор. При  $300\text{ }^\circ\text{C}$  этот показатель увеличивается до  $26,63\text{ м}^2/\text{г}$ , что указывает на начало формирования пористой структуры.

Максимальная сорбционная активность и эффективность очистки достигнуты при температуре  $350\text{ }^\circ\text{C}$ . При данной температуре площадь поверхности по БЭТ составила  $39,49\text{ м}^2/\text{г}$ , что свидетельствует о полном раскрытии мезопор во внутренней структуре сапропеля и развитии активных сорбционных центров. Эта температура считается оптимальной с точки зрения структурной стабильности, адсорбционной способности и практической применимости.

Как известно, сточные воды горно-металлургических предприятий, особенно гидрометаллургических заводов (ГМЗ), отличаются высоким уровнем минерального и органического загрязнения. Для очистки таких вод целесообразно применение комплексных технологий, включающих сорбцию, коагуляцию и фильтрацию с использованием сапропеля, бентонита, минеральных и полимерных флокулянтов. Это не только способствует охране окружающей среды, но и создаёт возможность повторного использования воды в технических целях.

Опираясь на приведённые аналитические данные, становится очевидной необходимость разработки композитных сорбентов и комплексных технологий очистки сточных вод промышленного предприятия ГМЗ №3. В таких водах присутствует высокая концентрация катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ), анионов ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ), а также значительное количество осадков, из-за чего простые механические или биологические методы очистки оказываются недостаточно эффективными (табл.2). Поэтому требуется комплексное применение процессов адсорбции, ионного обмена и коагуляции. Для этого

целесообразно создание высокоэффективных сорбентов на основе сапропеля. Оптимизация площади поверхности (БЭТ) и объема пор сапропеля, включая механическую обработку (измельчение до 100 мкм) и термическую активацию (при 350 °С), позволяет повысить их сорбционную способность. При этом в лабораторных условиях определяется способность сорбентов адсорбировать различные катионы и анионы при разных значениях рН и концентрациях электролитов, а также оценивается их эффективность в реальных загрязнённых водах.

Таблица 2

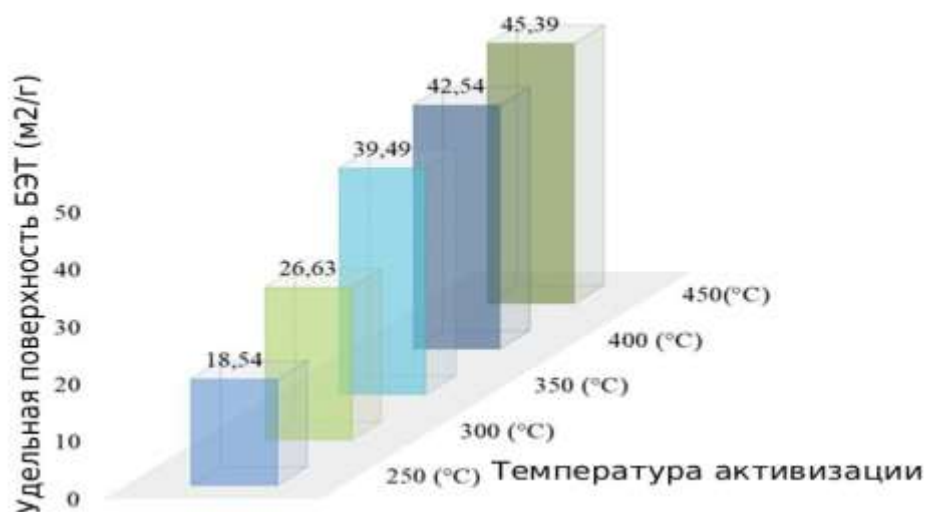
Результаты анализа сточных вод ГМЗ №3

Катионы	Состав одного литра раствора			Другие показатели	
	мг/л	мг-экв/л	%-экв/л		
Na <sup>+</sup>	658	28,61	22,98	Общая твердость мг-экв/л:	85,23
K <sup>+</sup>	245	6,28	5,05	Карбонат	3,79
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	32	1,78	1,43	Без карбоната	70,18
Ca <sup>2+</sup>	748	37,40	30,05	рН	7,89
Mg <sup>2+</sup>	574	47,83	38,43	СО <sub>2</sub> свободный. мг/л	29
Fe <sup>3+</sup>	32	1,71	1,38	СО <sub>2</sub> агр мг/л	Не имеется
Fe <sup>2+</sup>	24	0,86	0,69	SiO <sub>2</sub> мг/л	8
Общее	2313	124,47	100,00	Сухой остаток: мг/л	
Анионы				Эксперимент	7858
				Рассчитано	7763
Cl <sup>-</sup>	2045	57,61	46,28	Физические свойства	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2310	48,13	38,67	Прозрачность	Прозрачен после фильтрации
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1,2	0,03	0,02	Вкус	Очень соленый
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	772	12,45	10,00	Цвет	Бесцветный
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	54	1,86	1,50	Запах	Без запаха
HCO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	268	4,39	3,53	Остаток	Выпадает в осадок
Общее	5450,2	124,46	100,00	Поглощённые вещества, мг/л	410

Это создаёт возможности для качественной очистки высокозагрязнённых ионов, таких как фтор, сульфат, нитрат и аммоний, в гидрометаллургических процессах.

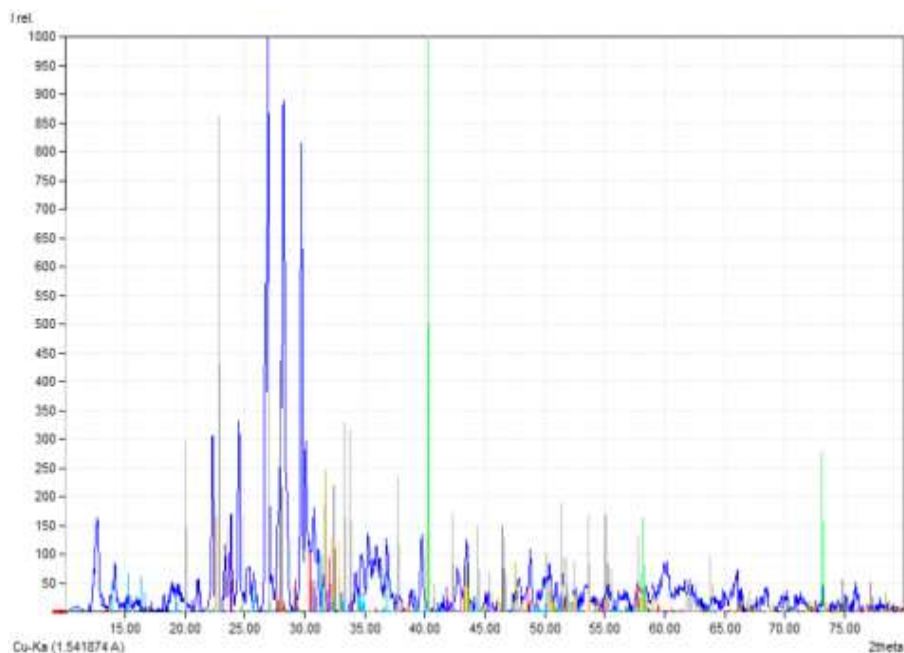
При повышении температуры до 400 °С удельная поверхность сапропеля составила 42,54 м<sup>2</sup>/г, а при 450 °С — уже 45,39 м<sup>2</sup>/г (см. рисунок 3). С увеличением температуры наблюдается незначительный рост активности, однако при температуре выше 400 °С начинает происходить разрушение структуры, частичная потеря пор и повышается риск вымывания материала.

Поэтому температура 350 °С считается оптимальной точкой баланса между функциональной поверхностью и механической устойчивостью. В этом состоянии активированный сапропель является наиболее эффективным для очистки промышленных сточных вод и процессов материальной сорбции.



**Рис. 3. Изменение удельной поверхности (БЭТ) сапропеля при термической активации**

Был также изучен рентгенодифрактометрический (XRD) анализ сорбента, полученного на основе сапропеля (рис.4). Согласно результатам, идентифицировано 43 характерных дифракционных пика, что подтверждает полифазную (многофазную) структуру сорбента. В составе были определены такие минералы, как кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ), кварц ( $\text{SiO}_2$ ), доломит ( $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ ), гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), а также алюмосиликатные минералы: каолинит, иллит, хлорит, мусковит и др.



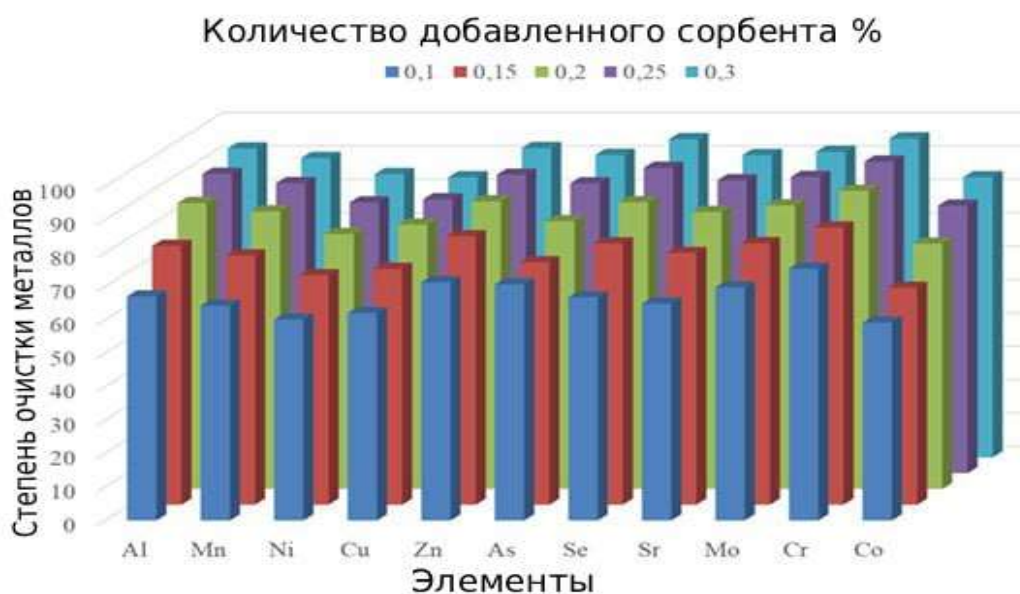
**Рис. 4. Рентгенограмма сорбента на основе сапропеля**

Выдающиеся пики: №4 ( $22,34^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,9801 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 312,50$ ) – соответствует кальциту, кварцу и белому иллиту; указывает на высокую

кристалличность; №6 ( $24,31^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,6320 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 328,12$ ) – ассоциируется с кварцем и магнетитом, обеспечивает механическую прочность и сорбционные свойства; №11 ( $28,23^\circ 2\theta$ ,  $d = 3,1607 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 963,61$ ) – наиболее интенсивный пик, характерный для кальцита и доломита; №13 ( $30,95^\circ 2\theta$ ,  $d = 2,8871 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 267,52$ ) – соответствует фазам доломита и иллита; №22 ( $37,79^\circ 2\theta$ ,  $d = 2,3806 \text{ \AA}$ ,  $I/I_0 = 130,43$ ) – указывает на наличие кремнийсодержащих фаз: кварца, леймонита, магнетита, №39 ( $59,98^\circ 2\theta$ ,  $I/I_0 = 81,04$ ) и №40 ( $61,41^\circ 2\theta$ ,  $I/I_0 = 64,28$ ) – свидетельствуют о присутствии гематита, мусковита и магнетита. Анализ ширины пиков (FWHM): Узкие пики (FWHM 0,1–0,3) подтверждают преобладание хорошо кристаллизованных фаз, более широкие пики (FWHM 0,5–0,75) указывают на наличие аморфных или частично аморфных компонентов.

Таким образом, рентгеноструктурный анализ подтверждает наличие в сорбенте как кристаллических, так и аморфных компонентов, что в совокупности обеспечивает хорошие адсорбционные свойства, механическую прочность и устойчивость при термообработке.

Результаты анализа показывают, что по мере увеличения количества сорбента концентрация всех металлов резко снижается. Это свидетельствует о высокой сорбционной способности сорбента на основе сапропеля и его эффективности как решения для улучшения санитарно-экологического состояния сточных вод.



**Рис.5. Степень очистки от металлов в сточных водах промышленного предприятия №3 после обработки сорбентом на основе сапропеля**

Постепенное снижение концентрации каждого металла также указывает на эффективность сорбции до точки насыщения сорбента. Например, при добавлении сорбента от 0,1% до 0,2% наблюдается значительное снижение концентрации металлов, тогда как в интервале от 0,25% до 0,3% снижение становится менее выраженным для некоторых металлов. Это важно

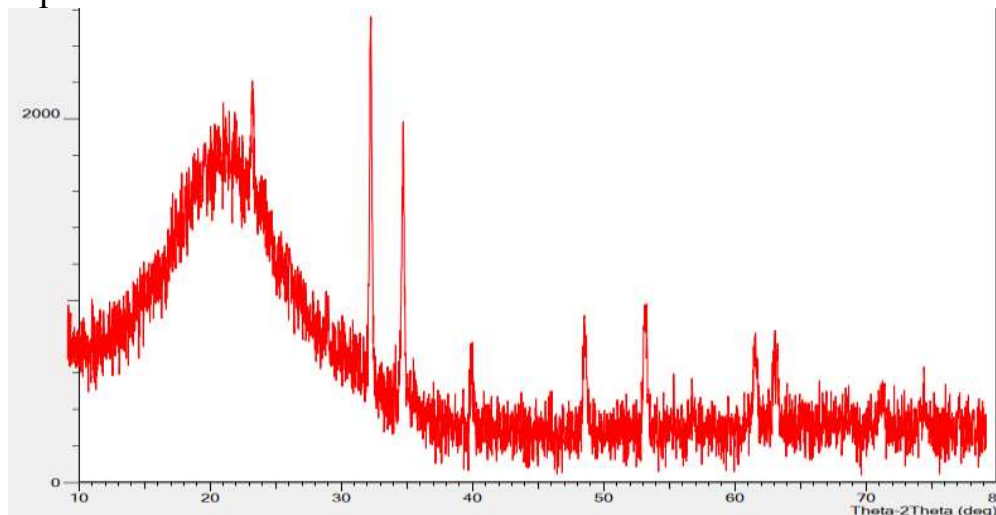
учитывать для определения оптимального количества сорбента в практике, что позволяет обеспечить как эффективность очистки, так и экономию ресурсов. Четко видно, что по мере увеличения дозы сорбента на основе сапропеля степень очистки всех основных металлов в сточных водах постепенно возрастает (рис.5).

Например, для алюминия (Al) степень очистки составляет 67,05% при 0,1% сорбента и достигает 92,49% при 0,3%; марганец (Mn) — от 64,25% до 89,63%; никель (Ni) — от 60,16% до 84,82%. Такая тенденция также наблюдается для других металлов — меди (Cu), цинка (Zn), мышьяка (As), селена (Se), стронция (Sr), молибдена (Mo), хрома (Cr) и кобальта (Co), причем для всех них степень очистки при 0,3% сорбенте превышает 80%.

Особенно высокая эффективность очистки отмечена для таких элементов, как: цинк (Zn) — 92,62%, хром (Cr) — 95,52%, селен (Se) — 95,27%. Это подтверждает высокую сорбционную способность сорбента на основе сапропеля и его эффективность в снижении концентраций опасных металлов в сточных водах до санитарно допустимых норм.

В четвертой главе диссертации- **«Получение композитных сорбентов на основе бентонита и коагулянт-флокулянтов и их применение для очистки промышленных сточных вод»**- рассматривается метод химической активации бентонитовой глины серной кислотой при разных значениях рН для улучшения её сорбционных свойств.

Композиционный адсорбент, приготовленный в соотношении 1,0:0,15:0,1:0,2 (бентонит:натрий гидросульфит:полиакриламид:сульфат алюминия), был проанализирован методом рентгенодифракционного анализа (рис.6). Это позволило получить важную информацию о его фазовом составе, степени кристалличности и химическом составе.



**Рис.6. Рентгенодифракционный анализ композиционного адсорбента на основе бентонита, натрия гидросульфита, полиакриламида и сульфата алюминия (в соотношении 1,0:0,15:0,1:0,2)**

Анализ проводился в интервале  $10^{\circ}$ – $80^{\circ}$  по  $2\theta$ , с использованием излучения Cu-K $\alpha$  ( $\lambda = 1,54178 \text{ \AA}$ ) и шагом  $0,02^{\circ}$ . Основное внимание уделялось пиковым значениям, соответствующим различным фазам вещества.

Наиболее интенсивный пик расположен при  $2\theta \approx 26,6^\circ$  ( $d \approx 3,34 \text{ \AA}$ ) — соответствует диоксиду кремния ( $\text{SiO}_2$ ), то есть фазе кварца. Это подтверждает, что кварц является основной кремниевой фазой в составе бентонита и играет важную роль в адсорбционной способности. Кварц выделяется высокой степенью кристалличности и термохимической устойчивостью. Пики в диапазоне  $2\theta \approx 27\text{--}30^\circ$  ( $d \approx 3,3\text{--}3,0 \text{ \AA}$ ) также соответствуют кварцу, а также фазам монтмориллонита или иллиту, которые являются алюмосиликатами и представляют основную структуру бентонита в адсорбенте.

Пик при  $2\theta \approx 33,1^\circ$  ( $d \approx 2,7 \text{ \AA}$ ) соответствует монтмориллониту или иллиту, указывая на наличие алюмосиликатов с высокой адсорбционной способностью и развитой пористой структурой. Пик при  $2\theta \approx 35,5^\circ$  ( $d \approx 2,5 \text{ \AA}$ ) также связан с иллитом и, предположительно, отражает изменения в структуре материала под воздействием гидроксида алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Это может быть связано с образованием алюминатных слоев в результате добавления сульфата алюминия.

Пики в диапазоне  $2\theta \approx 20\text{--}25^\circ$  ( $d \approx 4,4\text{--}3,5 \text{ \AA}$ ) в основном соответствуют Na- и Ca- алюмосиликатным слоям монтмориллонита, а также фазе иллита.

Присутствие полиакриламида частично закрывает поры своей органической поверхностной структурой, что отражается в расширенных формах пиков. Пики при  $2\theta \approx 38\text{--}42^\circ$  ( $d \approx 2,3\text{--}2,1 \text{ \AA}$ ) могут быть связаны с гидроксидами, такими как  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , гидратированными алюминатами, а также реакционными продуктами, образующимися под действием натрия гидросульфита. Эти пики определяют механическую устойчивость и кристаллическую упорядоченность образца.

Пики в диапазоне  $2\theta \approx 43,5\text{--}45^\circ$  ( $d \approx 2,1\text{--}2,0 \text{ \AA}$ ) указывают на высококристаллизованные формы алюмосиликатов, которые связаны с большой удельной поверхностью и пористостью, повышающими сорбционную способность материала.

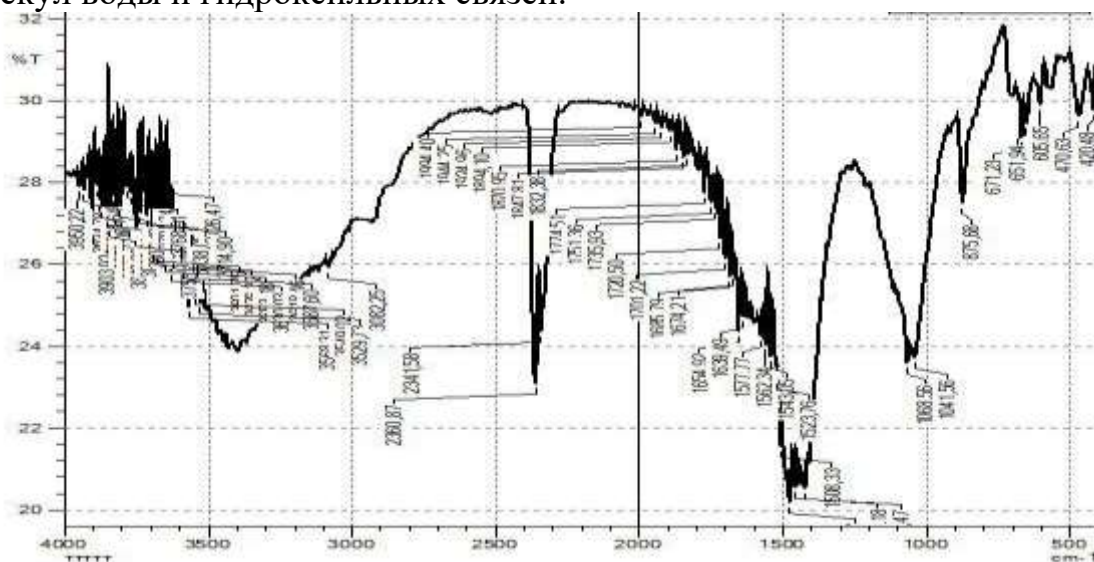
Пики при  $2\theta \approx 50^\circ\text{--}52^\circ$  ( $d \approx 1,8\text{--}1,7 \text{ \AA}$ ) соответствуют фазам гидроксида алюминия или алюминатов, образующимся в результате взаимодействия сульфата алюминия с алюминат-гидроксидными слоями. Также пик при  $2\theta \approx 54^\circ$  ( $d \approx 1,7 \text{ \AA}$ ) может быть связан с диоксидом кремния (кварцем) и алюминат-гидроксидными фазами.

Общий вывод: Основные фазы композиционного адсорбента включают алюмосиликаты (монтмориллонит, иллит), диоксид кремния (кварц), алюминаты и гидроксиды. Эти фазы определяют удельную поверхность, размер пор и механическую прочность адсорбента, обеспечивая его стабильность в водной среде.

В образовавшейся структуре алюминатные слои, формируемые сульфатом алюминия, и продукты реакции с натрием гидросульфитом увеличивают микрокристалличность и укрепляют поры.

Результаты анализа показывают, что данный композиционный адсорбент обладает высокой адсорбционной способностью и механической устойчивостью.

В ИК-спектроскопическом анализе (рис.7) представлены данные по органическим и минеральным связям в составе фаз композиционного адсорбента. Спектр исследовался в диапазоне  $4000\text{--}500\text{ см}^{-1}$ , и были подробно проанализированы области поглощения. Диапазон  $3700\text{--}3000\text{ см}^{-1}$  характеризуется широкими полосами, отражающими валентные колебания O–H связей, связанных с гидроксильными группами в составе бентонита и полиакриламида. Эти пики указывают на вибрации адсорбированных молекул воды и гидроксильных связей.



**Рис.7. ИК-анализ композиционного адсорбента на основе бентонита, натрия гидросульфита, полиакриламида и сульфата алюминия**

Пики в области  $2850\text{--}2950\text{ см}^{-1}$  соответствуют валентным колебаниям C–H связей, характерных для метиленовых групп ( $-\text{CH}_2-$ ) в составе полиакриламида. Это подтверждает наличие углеводородных структур и связывание полиакриламида с поверхностью адсорбента.

Область  $1650\text{--}1600\text{ см}^{-1}$  включает пики, обусловленные колебаниями карбонильных (C=O) и двойных углеродных (C=C) связей, а также амидных групп полиакриламида и связей между кремнием и алюминием в алюмосиликатных слоях. Эти пики могут быть связаны со структурами иллита и монтмориллонита в составе бентонита.

Пики в диапазоне  $1450\text{--}1400\text{ см}^{-1}$  относятся к деформационным колебаниям C–H связей, что указывает на структурную стабильность органических групп полиакриламида. Интенсивные пики в области  $1100\text{--}1000\text{ см}^{-1}$  соответствуют вибрациям связей Si–O–Si и Si–O–Al, являющихся основными структурными связями в алюмосиликатной решетке.

Пики в диапазоне  $800\text{--}600\text{ см}^{-1}$  отражают угловые (деформационные) колебания алюмосиликатных структур, особенно движения кислородных атомов в бентоните и иллите. Также эти пики указывают на возможное образование алюминатных слоёв под воздействием сульфата алюминия. Низкоинтенсивные пики в области  $600\text{--}500\text{ см}^{-1}$  могут быть связаны с колебаниями C–S и S=O связей, образующихся под действием натрия гидросульфита ( $\text{NaHSO}_3$ ).

В целом, основные пики, выявленные в результате анализа, указывают на стабильность связей между минеральными (бентонит и алюмосиликаты) и органическими (полиакриламид) фазами композиционного адсорбента, а также на наличие функциональных групп (ОН, С=О, Si–О) на его поверхности. Эти результаты свидетельствуют о высокой адсорбционной способности композиционного адсорбента и его механической устойчивости. Кроме того, под воздействием  $\text{NaHSO}_3$  происходит формирование связей С–S, а под действием сульфата алюминия – образование алюминатных слоёв, что обеспечивает фазовые и химические изменения на поверхности адсорбента.

Таблица 3

Изменение концентрации загрязняющих веществ в сточных водах текстильной промышленности в зависимости от дозы адсорбента (мг/л)

Показатели	Источная сточная вода	0,25 кг/тона	0,5 кг/тона	0,75 кг/тона	1,0 кг/тона	1,25 кг/тона	1,5 кг/тона	1,75 кг/тона	2,0 кг/тона
рН	9	8,6	8,5	8,4	8,3		8,1	8,0	7,9
Общие вещества (мг/л)	400	325	252	204	142	124	93	68	52
Активные вещества на поверхности (мг/л)	70	64	58	51	43	36	29	24	20
Общая щелочность(мг/экв/л)	9,6	9,4	9,3	9,0	8,7	8,4	8,1	7,8	7,5
Сухой остаток(мг/л)	1200	1160	1042	805	608	538	478	385	275
Хлориды (мг/л)	51	50	45	40	35	30	25	22	20
Сульфаты (мг/л)	350	338	304	278	212	201	190	175	160
Суммарная жесткость (мг/л)	321	312	272	233	205	180	163	121	103
ХПК (мг/л)	400	376	350	304	255	212	183	163	145
( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (мг/л)	14,5	13,5	12,5	10,47	8,63	6,38	4,42	3,30	2,87
$\text{NH}_4^+$ (мг/л)	6,7	6,7	5,5	4,5	3,5	2,5	2	1,5	1
Прозрачность (см)	2	3	4	5	7	8	10	12	13

Следует отметить, что данные анализа изменения концентраций загрязняющих веществ в сточных водах текстильной промышленности в зависимости от количества введённого композиционного адсорбента приведены в таблице 3. Концентрация взвешенных веществ снизилась более чем на 87% благодаря их адсорбции на слоях адсорбента и агломерации крупных частиц. Снижение концентрации поверхностно-активных веществ (ПАВ) с 70 до 20 мг/л связано с способностью полиакриламида адсорбировать гидрофобные органические соединения, что способствует

уменьшению количества детергентов и других органических веществ в сточных водах.

Снижение ПАВ также является одним из основных показателей улучшения качества воды. Снижение концентрации хлоридов с 51 до 20 мг/л и сульфатов с 350 до 160 мг/л объясняется адсорбцией солей и реакциями в алюмосиликатных слоях.

Показатели ХПК и БПК соответственно уменьшились с 400 до 145 мг/л и с 321 до 103 мг/л, что связано с удалением органических веществ (детергентов, масел) путём адсорбции, приводящей к снижению биологической и химической потребности в кислороде. Снижение концентрации фосфора ( $P_2O_5$ ) с 14,5 до 2,87 мг/л объясняется связыванием фосфатов в алюминатные слои под действием сульфата алюминия и их последующим удалением из сточной воды.

В пятой главе, озаглавленной **«Технологии получения композитных сорбентов, модифицированных коагулянтами-флокулянтами на основе сапропеля и бентонита»**, представлены технологии активации бентонита с помощью серной кислоты и получения сорбента, а также методика получения сорбента на основе бентонита с добавлением  $NaHSO_3$ , полиакриламида и сульфата алюминия. На научной основе определены технологические параметры (рН, температура, количество модификаторов и время перемешивания) для приготовления модифицированных композитных сорбентов на основе сапропеля и бентонита. Также показана возможность их практического применения для очистки различных сточных вод.

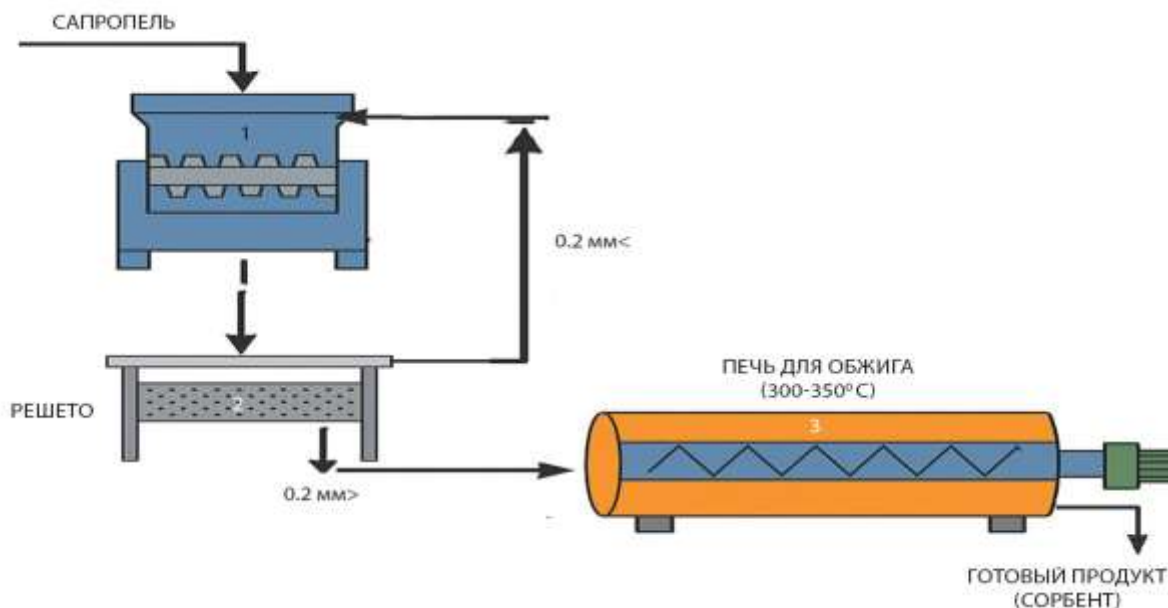
Процесс модификации начинается с подачи сапропеля в мельницу (рис.8). Здесь сырьё подвергается механическому измельчению. Вращающиеся валы и оборудование мельницы дробят сапропель из крупных и средних фракций до мелкодисперсных частиц. Цель измельчения — увеличение удельной поверхности частиц материала и обеспечение подготовки к следующему этапу — термической активации, в ходе которой формируются выраженные адсорбционные свойства.

Измельчённый материал затем подаётся в установку «Сито» (вибросито или периодическое механическое сито), где происходит классификация частиц по размеру. Размер ячеек сита составляет 0,2 мм — установлен в соответствии с технологическими требованиями. Частицы, не прошедшие через сито (размером более 0,2 мм), возвращаются по рециркуляционной линии обратно в мельницу для повторного измельчения. Такой замкнутый (циклический) процесс обеспечивает достижение нужного размера для всего объёма материала.

Частицы размером менее 0,2 мм направляются в специальную обжиговую печь для термической активации. Основная задача этой печи — термическое разложение органических веществ в составе сапропеля, формирование пористой структуры и активация адсорбционных центров.

Процесс проводится при температуре 300–350 °С. Этот температурный диапазон подобран в соответствии с термической стабильностью сапропеля и

его точками активации. При этой температуре происходит удаление влаги, углеводов и части гумусных веществ из материала, что увеличивает его пористость и значительно усиливает адсорбционные свойства.

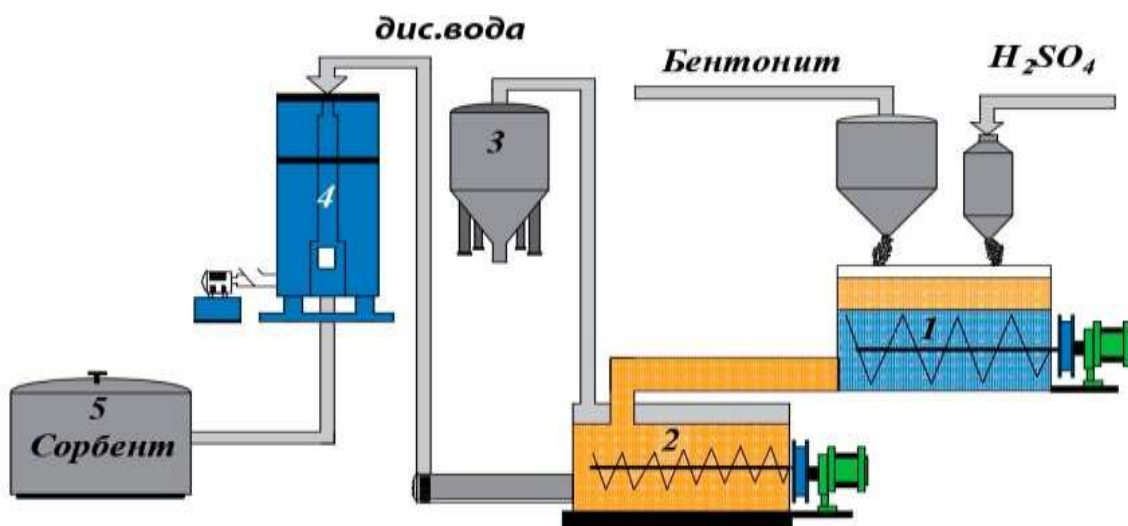


**Рис.8. Принципиальная технология получения сорбента на основе механически и термически активированного сапропеля: 1-мельница; 2-сито; 3-обжиговая печь**

Процесс обжига может проводиться в закрытой среде, а в некоторых случаях — в инертной атмосфере (например, азота или углекислого газа). Это ограничивает окисление компонентов материала и способствует формированию целевой структуры. Время обжига обычно составляет 1–2 часа. Полученный после обжига продукт считается готовым сорбентом. Он обладает высокой пористостью, большой удельной поверхностью (100–300 м<sup>2</sup>/г) и эффективной способностью к адсорбции ионов металлов или органических веществ. Сорбент предназначен для очистки жидких сред от ионов, тяжёлых металлов, масел и токсичных веществ, и данная технология широко применяется в области охраны окружающей среды и переработки промышленных сточных вод.

На 9 изображении представлена технология активации бентонита серной кислотой и получения сорбента. Для эффективного использования бентонитовой глины в качестве сорбента необходимо улучшить её физико-химические свойства. Для этого используется метод активации бентонита серной кислотой (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). При этом происходит частичное разрушение природных структур во внутренней структуре глины, активируются её адсорбционные центры и расширяется площадь поверхности. Технология в основном состоит из четырёх стадий: кислотная активация, нейтрализующая промывка, сушка и хранение готового продукта.

1. Процесс кислотной активации. На первом этапе природная бентонитовая глина просеивается через сито для получения однородного размера частиц. Затем серная кислота концентрацией 10% или 15% разбавляется дистиллированной водой до достижения рН около 4,0.



**Рис. 9. Принципиальная технология получения сорбента на основе активации бентонита серной кислотой: 1-активатор; 2-специальный реактор; 3-центрифуга; 4-сушильный шкаф; 5-хранилище готовой продукции**

Полученная смесь (суспензия) выдерживается в специальных реакционных сосудах при температуре 80–90 °С в течение 1 часа. В этом процессе ионы  $H^+$  вступают в реакцию ионного обмена с катионами, такими как  $Na^+$  и  $Ca^{2+}$ , находящимися в структуре глины, изменяя структуру бентонита и усиливая его адсорбционную способность.

2. Промывка дистиллированной водой. В процессе промывки каждая проба многократно промывается водой с целью удаления кислотных ионов. Добавление воды продолжается до тех пор, пока рН не достигнет значения 6,5–7,0. Промывка осуществляется с использованием вакуум-фильтра или центрифуги.

3. Процесс сушки. Промытая суспензия выкладывается на керамические или нержавеющей (нелакированные) поддоны и отправляется в сушильную печь. Сушка проводится при температуре 100–110 °С в течение 4–6 часов. Температура постоянно контролируется, так как её превышение может повредить структуру глины. После сушки влажность материала должна быть менее 5%, что обеспечивает его стабильность при хранении и устойчивость сорбционных свойств. Высушенный продукт охлаждается и хранится в специальном месте, защищённом от влаги.

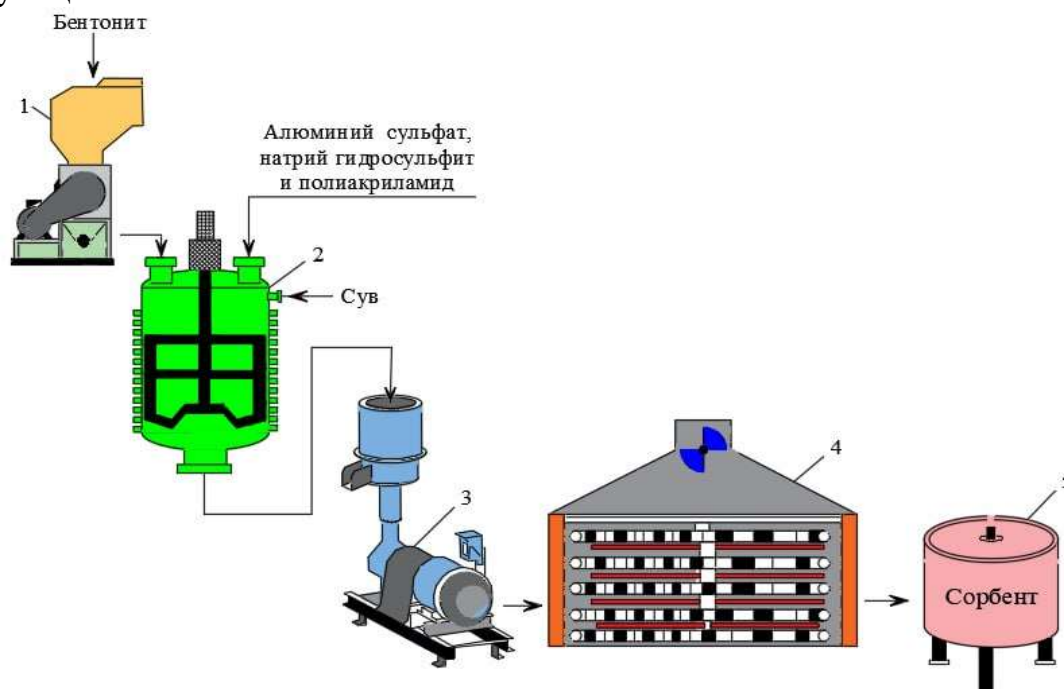
4. Складирование и хранение. Температура хранения на складе должна составлять 10–25 °С, а относительная влажность — не превышать 60%. Сорбент необходимо защищать от гигроскопичной среды, чтобы он не впитывал влагу из воздуха. Полученный продукт может быть использован непосредственно в процессах адсорбции, для очистки ионов металлов, а также для получения модифицированных сорбентов.

Для эффективного использования бентонита в качестве высокоэффективного сорбента была разработана технология его переработки на основе модификации и гранулирования (рис.10).

В данной технологии бентонит сначала подвергается механическому измельчению, затем смешивается с различными модификаторами (гидросульфитом натрия —  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламидом и сульфатом алюминия), после чего превращается в готовый сорбент в виде гранул. Процесс включает пять основных этапов: измельчение, смешивание с модификаторами, гранулирование, сушка, хранение.

Механическое измельчение бентонита.

1. На первом этапе природное сырьё бентонита направляется в мельницу. Там оно измельчается в валковой или молотковой установке до фракций с размером частиц 0,2–0,5 мм. Высушенный и измельчённый бентонит загружается в подготовительные мешки и передаётся на следующий этап.



**Рис.10. Принципиальная технология получения модифицированного сорбента на основе бентонита с добавками  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламида и сульфата алюминия: 1 – дробилка; 2 – смеситель; 3 – гранулятор; 4 – сушильная печь; 5 – контейнер для хранения готовой продукции**

2. Смешивание и приготовление пульпы. Измельчённый бентонит смешивается с определённым количеством воды (обычно в соотношении 1:1,2 или 1:1,5). В смесительной установке (шнековой или лопастной) бентонит полностью смачивается, превращаясь в однородную пульпу. Затем в эту пульпу добавляются модификаторы:  $\text{NaHSO}_3$  – для обеспечения устойчивости в щелочной среде, полиакриламид – как органический флокулянт и для повышения механической прочности, сульфат алюминия – как коагулянт и стабилизатор структуры. Смесь перемешивается в течение 15–20 минут до получения однородной структуры. На этом этапе вещества начинают взаимодействовать друг с другом, формируя активные центры сорбента.

3. Гранулирование. Полученная пульпа поступает в гранулятор. В этом устройстве под действием центробежных сил или с использованием вращающегося барабана формируются округлые гранулы. В процессе гранулирования обеспечивается диаметр гранул в пределах 2–5 мм.

4. Сушка. Гранулированный сорбент направляется в специальную лопастную или ленточную сушильную печь. Температура сушки выбирается в диапазоне 90–110 °С, и процесс продолжается от 4 до 6 часов. Цель сушки — повысить механическую прочность гранул и стабилизировать адсорбционную способность. Во время сушки, с помощью потока воздуха, влага испаряется, и структура сорбента окончательно формируется.

5. Хранение. Высушенный сорбент охлаждается и фасуется в герметичные контейнеры, мешки или картонные барабаны. Сорбент должен храниться в сухом, защищённом от влаги и прямого солнечного света помещении. Влажность воздуха не должна превышать 60%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведённых исследований в рамках докторской диссертации (DSc) на тему «Разработка технологий получения композитных сорбентов, модифицированных коагулянтами и флокулянтами на основе сапропеля и бентонита, и их применение для очистки промышленных сточных вод», сформулированы следующие научно и практически значимые выводы:

1. Физико-химические свойства сапропеля были всесторонне проанализированы с помощью современных аналитических методов. Научно обосновано наличие в его природной структуре алюмосиликатных и органоминеральных фаз, содержащих адсорбционные центры.

2. Путём механического измельчения и термической активации сапропеля были улучшены его пористая структура, удельная поверхность и адсорбционная способность. Установлено формирование активных поверхностных центров в процессе активации.

3. Сорбент на основе сапропеля показал высокую эффективность в снижении концентрации различных катионов в составе сточных вод, что подтверждает возможность его применения в качестве катионообменного материала.

4. Сорбент из сапропеля оказался эффективным при улучшении биологических и органолептических показателей сточных вод, способствуя стабилизации кислотно-щелочного баланса (рН) и снижению содержания опасных соединений.

5. В результате технологической активации бентонитовой глины в кислой среде были восстановлены центры ионного обмена в её структуре, что привело к многократному увеличению адсорбционной способности.

6. Композитный сорбент, полученный путем модификации бентонита с использованием  $\text{NaHSO}_3$ , полиакриламида и сульфата алюминия, продемонстрировал устойчивую механическую структуру и высокие адсорбционные свойства, что подтверждено результатами анализа.

7. При оптимизации соотношения компонентов композитного сорбента были улучшены его пористая структура, удельная поверхность и активные центры обмена веществ.

8. Модифицированный сорбент на основе бентонита, обработанный коагулянтами и флокулянтами, эффективно удалял коллоидные и жировые вещества из сточных вод, что обеспечивало значительное повышение прозрачности воды.

9. Установлено, что правильный выбор дозировки композитного сорбента и концентрации модификаторов позволяет эффективно снижать уровень загрязняющих веществ в сточных водах, приводя их к соответствию экологическим нормам.

10. Сорбенты, модифицированные на основе Na-КМЦ (натрий-карбоксиметилцеллюлозы) и ПАА (полиакриламида), продемонстрировали высокую эффективность в процессе комплексной очистки сточных вод.

11. Снижение содержания сложных загрязнителей в воде, таких как щёлочность, опасные вещества и гидрофобные фракции, было высоко оценено как результат синергетического эффекта полиакриламида и алюмосиликатов.

12. Технологические параметры получения композитных сорбентов на основе сапропеля и бентонита (рН, температура, количество модификатора, время перемешивания) были научно обоснованы, и доказана возможность их практического применения для очистки различных видов сточных вод.

13. Разработано технико-экономическое обоснование получения модифицированных композиционных сорбентов на основе сапропеля и бентонита и показано, что производство 1 тонны модифицированного сорбента на основе сапропеля и бентонита составляет 674 960 сумов и 1 179 536 сумов соответственно.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.17/7.06.2024.K/T.06.03 AT NAVOI STATE UNIVERSITY  
OF MINING AND TECHNOLOGIES**

---

**BUKHARA STATE UNIVERSITY**

**AMONOVA MATLUBA**

**DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES FOR OBTAINING COMPOSITE  
SORBENTS MODIFIED WITH COAGULANT-FLOCCULANTS BASED  
ON SAPROPEL AND BENTONITE AND THEIR APPLICATION IN  
INDUSTRIAL WASTEWATER TREATMENT**

**02.00.13–Technology of inorganic substances and materials based on them**

**DISSERTATION ABSTRACT  
for a Doctor of Technical Sciences (DSc)**

**The theme of the dissertation for a Doctor of Technical Sciences (DSc) degree was registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under B2025.3.DSc/T953.**

The dissertation was completed at Bukhara State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the webpage ([www.nsumt.uz](http://www.nsumt.uz)) of Navoi State University of Mining and Technologies and on the “Ziyonet” information-educational portal ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

<b>Scientific supervisor:</b>	<b>Mukhiddinov Bakhodir</b> Doctor Of Chemical Sciences, Professor
<b>Official opponents:</b>	<b>Temirov Uktam</b> Doctor Of Technical Sciences, Docent <b>Usanbaev Najimuddin</b> Doctor Of Technical Sciences, Professor <b>Turaev Zokirjon</b> Doctor Of Technical Sciences, Professor
<b>Leading organization:</b>	<b>Termez State University</b>

The dissertation defense will be held on «25» October 2025 at 10:00 at the meeting of the Scientific Council awarding Scientific degrees DSc.17/7.06.2024.K/T.06.03 at Navoi State University of Mining and Technologies Address: 210100, Navoi city, Galaba street, 76 v-building. Conference hall of Navoi State University of Mining and Technology. Tel.: (79) 223-23-32; fax: (79) 223-49-66; (E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

The dissertation is available at the Information-resource center of Navoi State University of Mining and Technologies (registration No.226). Address: 210100, Navoi city, Galaba street, 76v building. Conference hall of Navoi State University of Mining and Technologies conference hall. Tel.: (79) 223-23-32; fax:(79) 223-49-66; (E-mail: [info@nsumt.uz](mailto:info@nsumt.uz)).

Abstract of the dissertation is distributed on «30» September 2025.

(protocol at the register No. 14 dated «30» September 2025.)



**T.Nurmurodov**  
Vice-chairman of the Scientific Council for  
awarding the scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**S.Sharipov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council for  
Awarding the scientific degrees,  
PhD, Associate Professor

**F.Umirov**  
Chairman of the scientific seminar under the Scientific  
Council for awarding the scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

## INTRODUCTION (DSc thesis annotation)

**The aim of the study is** to obtain modified composite sorbents based on sapropel and bentonite, to develop them as an effective purification component in combination with coagulants and flocculants, as well as to provide a scientific rationale and improve the technology for applying these sorbents in the treatment of industrial wastewater.

**The object of the study comprises** sapropel and bentonite minerals found in the territory of Uzbekistan, sorbents modified on their basis, composite sorbents obtained with the use of coagulants-flocculants, as well as wastewater from the metallurgical and textile industries.

**The scientific novelty of the study is as follows:**

the sorption properties of sapropel were studied using SEM, XRF, EDS, FTIR, and TGA/DTA methods; its natural aluminosilicate and organomineral composition, porous structure, and active surface centers were identified;

it was demonstrated that activation of sapropel at 350 °C leads to an increase in specific surface area and pore volume, thereby enhancing adsorption activity while maintaining the mechanical stability of the structure;

it was established that modification of sapropel and bentonite with sodium carboxymethylcellulose, polyacrylamide, and aluminum sulfate improves their structural–compositional characteristics and adsorption properties;

optimal technological conditions for producing modified sorbents based on sapropel and bentonite were developed in terms of temperature, pH, humidity, mixing time, and reagent concentration;

it was scientifically substantiated that the combined use of bentonite, coagulants, and flocculants ensures water purification efficiency exceeding 90%, due to the synergistic effect of coagulation and flocculation processes;

it was revealed that the application of modified sorbents significantly reduces the content of heavy metals, anions, and organic pollutants in industrial wastewater, thereby improving the ecological quality indicators of water.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained scientific findings regarding the synthesis of modified composite sorbents from sapropel and bentonite, their development as effective purification components in combination with coagulants and flocculants, and their application in the treatment of industrial wastewater:

high-efficiency sorbents based on modified sapropel and bentonite were developed and implemented for the treatment of textile industry wastewater in combination with coagulants and flocculants using integrated purification methods (Act of JV LLC “TSK” dated May 16, 2025). As a result, import-substituting sorbents were obtained, the use of which together with coagulants and flocculants ensured an effective level of wastewater purification in textile enterprises;

the process of wastewater purification using a combined method of sorbents, coagulants, and flocculants was implemented at the Navoi Mining and

Metallurgical Combinat JSC for the removal of various heavy metal cations (Certificate of NMMC JSC No. 02-07/02/9226 dated September 29, 2025). As a result, the application of import-substituting sorbents allowed the reduction of Cu – 5.89 mg/L, Ni – 11.76 mg/L, Cr – 0.56 mg/L, and Co – 3.43 mg/L cations in wastewater by 80–90%;

the proposed integrated purification method was tested on wastewater at different production stages of NavoiAzot JSC, where the content of suspended solids, various ions, and COD indicators significantly decreased due to the use of the combined sorption–coagulation–flocculation method with sedimentation (Certificate of NavoiAzot JSC No. 03-48/83 dated August 2, 2025). As a result, in wastewater from reservoir No. 99 of NavoiAzot JSC, the pH ranged from 8.06 to 9.45, and the Cl<sup>-</sup> concentration was 125–136 mg/L; in reservoir No. 08, the pH was 8.66–9.2, the total salinity was 1075 mg/L, and the Cl<sup>-</sup> concentration was 430–670 mg/L. After purification, the salt content decreased to 196–198 mg/L (81.7%), while the Cl<sup>-</sup> concentration was reduced to 21–23 mg/L (83.2%).

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, five chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The total volume of the dissertation is 200 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Амонов М.Р. Изучение процессов очистки сточных вод с использованием флокулянта и адсорбентов // Научный вестник. ФерГУ. -Фергана. 2020. -№ 3., -С.13-19 (02.00.00.№17).

2. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Амонов М.Р. Физико-химическая очистка сточных вод // Научный вестник Наманганского государственного университета, -Наманган. 2020.- № 5. -С. 63-74 (02.00.00.№18).

3. Амонова М.М. Эффективный комплексный подход очистки сточных вод текстильных и шелкомотальных предприятия // Universum: технические науки: электронный научный журнал. -Москва, Изд. «МЦНО», 2020.– № 11(80). Часть 3., - С.14-18 (02.00.00.№1).

4. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Саидова Ш.З. Совершенствование очистки сточных вод сорбционно- коагуляционным методом // Развитие науки и технологий научно – технический журнал БМТИ. -Бухара. 2020, №6,- С.20-25 (02.00.00.№14).

5. Amonova M. M., Umurov F.F., Shukurov I.B., Sadikova S.Sh. Study the influence of concentration of components on the level of wastewater treatment // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology, India.,Volume 11, Issue 11, November 2020, P. 421-427 (ISSN: 0976-6480; ISSN: 0976-6499).

6. Amonova M.M., Umurov F.F., Hayrullayev Ch.K., Sulstonova D.B. Improvement of wastewater treatment sorption-coagulation-flocculation method // European Journal of Molecular & Clinical Medicine, United Kingdom., Volume 07, Issue 08, 2020, P. 1599-1604 (ISSN 2515-8260).

7. Amonova M.M. The use of natural adsorbents in wastewater treatment systems // Universum: технические науки: электронный научный журнал. - Москва, Изд. «МЦНО», 2021.– № 3(84). Часть 4., - С.86-88 (02.00.00.№1).

8. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Амонов М.Р. Технологии очистки окрашенных сточных вод шелкомотальных производств комбинированным методом // Композиционные материалы, -Ташкент., 2021, №1.-С.50-53 (02.00.00.№4).

9. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Амонов М.Р. Усовершенствование очистки сточных вод шелкомотальных производств // Научный вестник НамГУ, -Наманган., 2021. №3.-С. 43-48 (02.00.00.№18).

10. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Амонов М.Р. Комбинированный способ очистки сточных вод шелкомотальных производств // Экология и промышленность России, -Россия., 2021.Т. 25. № 4. С.38 – 43 (ISSN:1816-0395; ISSN: 2413-6042).

11. Амонова М.М., Мухиддинов Б.Ф. Исследование влияния концентрации коагулянтов и адсорбентов при очистке сточных вод текстильного производства // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. -Москва, Изд. «МЦНО», Часть 4. 2021. № 5 (86) -С.10-15 (02.00.00.№1).
12. Амонова М.М. Применение коагулянтов и адсорбентов для очистки сточных вод текстильного производства // *Научный вестник НамГУ*, - Наманган., 2021. №10. -С. 85-92 (02.00.00.№18).
13. Amonova M.M. Study of the biochemical method for wastewater purification from textile productions from dyes and suspended substances // *Ra Journal of Applied Research*. –India., Volume: 08 Issue: 04.04.2022. P. 272-277 (ISSN:2394-6709).
14. Амонова М.М. Особенности комплексной очистки сточных вод текстильных предприятий // *Galaxy International Interdisciplinary Research Journal*. -India., Volume:10. No.11.2022. P. 65-71 (ISSN: 2347-6915).
15. Amonova M.M. The application of coagulants and adsorbents for textile production waste water purification // *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. -India., Volume 13, Special Issue 9, 2022 P. 4740-4746 (ISSN:09769234; ISSN:22297723).
16. Амонова М.М. Сравнительный анализ адсорбентов применяемых для очистки сточных вод текстильного производства // *Creative teacher journal*. – Tashkent., Vol. 2 No. 23. 2022. P. 61-65 (ISSN:2181-2330).
17. Амонова М.М., Избуллаева М.С., Амонов М.Р. Использование флокулянтов в системах очистки сточных вод // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. -Москва, Изд. «МЦНО», Часть 5. 2023. № 11 (116) - С. 20-24 (02.00.00.№1).
18. Амонова М.М., Избуллаева М.С., Амонов М.Р. Изучение эффективности флокулянтов для очистки сточных вод газоперерабатывающих производств // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. -Москва, Изд. «МЦНО», 2024. № 3 (120) - С. 27-31 (02.00.00.№1).
19. Амонова М.М., Амонов М.Р., Умурова Ш.Ш. Изучение адсорбционные свойства модифицированных бентонитов // *Узбекский Научно-технический и производственный журнал Композиционные материалы*. -Ташкент, 2024, №4.-С.175-178 (02.00.00.№4).
20. Amonova M.M., Amonov M.R., Sultonov Sh.A. Efficient methods for obtaining adsorbents through chemical activation of clay powders // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. -Москва, Изд. «МЦНО», 2024.– № 12(129). - С.27-31 (02.00.00.№2).
21. Амонова М.М. Перспективы изучения эффективности флокулянтов в очистке сточных вод промышленных предприятий // *Universum: технические науки: электронный научный журнал*. -Москва, Изд. «МЦНО», 2025. № 1(130). Часть 4. С.61-67 (02.00.00.№1).

22. Amonova M.M. Processing of Wastewater Treatment in Gas Industry Enterprises Using Flocculant Composition // International Journal of Materials and Chemistry. –USA., Volume 15, Issue 01, March, 2025. 5-8 pages (02.00.00.№13).

23. Amonova M.M., Muhiddinov B.F. Structural and Adsorptive Properties of Sapropele-Based Sorbents: Effect of Mechanical and Thermal Activation // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. (IJARSET) -India., Volume 12, Issue 7, July, 2025. 23672-23676 pages (02.00.00.№17).

24. Amonova M.M. Sapropele asosidagi sorbentlarning fazaviy tahlili: rentgenodifraksiya usulida baholash // Kompozitsion materiallar jurnali. – Toshkent., 2025, №3.-С.70-76 (02.00.00.№4).

25. Amonova M.M., Amonov M.R., Ganiev B.Sh. Grade of the flocculants efficiency in wastewater treatment // Rasayan Journal of Chemistry, Jaipur. DCM Branch, Ajmer Road, Jaipur (Rajasthan) India. RJC, Vol.18, No.4, 2025.

26. Амонова М.М. Перспективы химических способов очистки сточных вод текстильных производств // Монография. Бухара, издательство «Дурдона», 2021 год. ISBN 978-9943-6893-7-2 // ББК 26.1. 116 страниц.

27. Амонова М.М., Мухиддинов Б.Ф., Амонов М.Р. Тўқимачилик корхоналари оқова сувларини тозалашда: адсорбент-коагулянт-флокулянтлар концентрациясининг таъсирини ўрганиш // DGU 46675/210/DT 202414868/04.01.2025.

28. Амонова М.М., Амонов М.Р. Пиллакашлик корхоналари оқова сувларини кимёвий усулда тозалашнинг асослари // DGU 46731/210/DT 202414871/06.01.2025.

## **II бўлим (II часть; II part)**

29. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф., Саидова Ш.З. Исследование очистки сточных вод шелкомотального производства сорбентами // Академик А.Ш. Ганиевнинг 90 йиллигига бағишланган “Аналитик кимёнинг долзарб муаммолари” VI Республика илмий-амалий анжумани., Термиз давлат университети. Термиз, 14-26 апрель, 2020 йил. 358-359 бетлар.

30. Умуров Ф.Ф., Амонова М.М., Саидова Ш.З. Химический способ очистки сточных вод шелкомотального производства // Академик А.Ш. Ганиевнинг 90 йиллигига бағишланган “Аналитик кимёнинг долзарб муаммолари” VI Республика илмий-амалий анжумани., Термиз давлат университети. Термиз, 14-26 апрель, 2020 йил. 361-362 бетлар.

31. Умуров Ф.Ф., Амонова М.М. Изучение концентрации минеральных сорбентов при очистки сточных вод шелкомотальных фабрик // Proceedings. Book #1. Dedicated to the 97<sup>th</sup> Anniversary of the National leader of Azerbaijan, Heydar Aliyev. IV International scientific conference of young researchers., Baku Engineering University. Azerbaijan, 29-30 April. 2020 y. – P. 375-376.

32. Умуров Ф.Ф., Амонова М.М. Химический способ очистки сточных вод шелкомотального производства // Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари. // “Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари”-мавзусидаги халқаро илмий-техник анжуман., Тошкент, 18 сентябр, 2020 йил. 166-168 бетлар.

33. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф. Коагуляционно-флокуляционный способ очистки сточных вод // Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари. // “Инновацион техника ва технологияларнинг атроф муҳит муҳофазаси соҳасидаги муаммо ва истиқболлари”-мавзусидаги халқаро илмий-техник анжуман., Тошкент, 18 сентябр, 2020 йил. 168-170 бетлар.

34. Умуров Ф.Ф., Амонова М.М., Ибрагимова М.И., Амонов М.Р. Способы очистки сточных вод шелкомотальных производств комбинированным методом // Международной научно-теоретической конференции на тему: “Куатбековские чтения-1: Уроки независимости” посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан. Шымкент, 23 апрель 2021 г.-С. 33.

35. Амонова М.М. Очистка сточных вод шелкомотальных предприятий // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. Казань. 30-31.01.2021 г. – С. 15-18.

36. Амонова М.М. Использование адсорбентов при очистке сточных вод текстильной промышленности // LXIX Международной научной конференции «Актуальные научные исследования в современном мире» 26-27 января 2021 г. № 1. (69), Часть.3. –С. 163-166.

37. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф. Оптимизация процесса очистки промышленных сточных вод // «Маҳаллий хомашёлар ва иккиламчи ресурслар асосида инновацион технологиялар» мавзусидаги Республика илмий-амалий конференция материаллари тўплами. Урганч шаҳри, Урганч давлат университети, 2021. II жилд. 436 бет.

38. Амонова М.М., Умуров Ф.Ф. Комбинированный метод очистки сточных вод // «Инновационные решения актуальных проблем в области высокомолекулярных металлоорганических соединений» Международная научно-практическая конференция Республика Узбекистан г. Ташкент 28-мая 2021 г. - С. 177.

39. Амонова М.М. Современные методы к глубокой очистке сточных вод текстильного производства с использованием инновационных компонентов // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2023 год. -С. 349-351.

40. Амонова М.М. Очистка сточных вод с применением комплексного реагентами // Сборник материалов Республиканской научно-практической

конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2023 год. -С. 351-353.

41. Амонова М.М. Химический состав сточных вод производственных промышленных предприятий // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2023 год. -С. 353-355.

42. Амонова М.М. Параметры дозирования коагулянтов при очистке сточных вод текстильных производств // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2023. -С. 355-357.

43. Амонова М.М. Исследование эффективности очистки сточных вод с применением коагулянтов // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2024 год, 5-6 июня. -С. 512-514.

44. Амонова М.М. Зависимость эффективности очистки сточных вод от концентрации адсорбентов, флокулянтов и коагулянтов // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2024 год, 5-6 июня. -С. 514-516.

45. Амонова М.М. Анализ влияния концентрации реагентов на эффективность очистки сточных вод шелкомотального производства // Сборник материалов Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и талантливых студентов на тему «Роль молодежи в инновационном развитии Узбекистана» г. Карши, 2024 год, 5-6 июня. -С.516-517.

46. Amonova M.M. Gazni qayta ishlash korxonalarini oqova suvlarini tozalash jarayonida qo'llaniladigan flokulyantlarning xossalari va ularning tozalash samaradorligiga ta'sirini o'rganish // Fan, ta'lim, tibbiyotda innovatsion texnologiyalar, davolashning dolzarb muammolari va ularning yechimlari" mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi. Buxoro, 2025 yil, 21-22-aprel. 747-751-betlar.

47. Амонова М.М. Определение оптимальных параметров фильтрации сточных вод хлопчатобумажной промышленности с применением бентонитовой композиции // «Актуальные проблемы инновационных технологий и лечения в науке, образовании, медицине и их решения» Республиканская научно-практическая конференция. Бухара, 2025 год, 21-22 апреля. -С.752-756.