

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАХКАМОВ БУНЁДЖОН ҒАНИЖОНОВИЧ**

**ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛ ВА ВЕРМИКУЛИТ АСОСИДА ИОНИТЛАР  
ОЛИНИШИ ВА ХОССАЛАРИ**

**02.00.06 – Юқори молекуляр бирикмалар**

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

**Тошкент – 2021 йил**

**Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
химическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
chemical sciences**

**Махкамов Бунёджон Ганижонович**

Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида ионитлар олиниши ва  
хоссалари ..... 3

**Махкамов Бунёджон Ганижонович**

Получение и свойства ионитов на основе полиакрилонитрила и  
вермикулита..... 21

**Makhamov Bunyod**

Obtaining and properties of ion exchangers based on polyacrylonitrile and  
vermiculite..... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ

List of published works.....

**ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.К.01.03 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ  
КЕНГАШ АСОСИДА БИР МАРТАЛИК ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ФАРҒОНА ПОЛИТЕХНИКА ИНСТИТУТИ  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ**

**МАХКАМОВ БУНЁДЖОН ҒАНИЖОНОВИЧ**

**ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛ ВА ВЕРМИКУЛИТ АСОСИДА ИОНИТЛАР  
ОЛИНИШИ ВА ХОССАЛАРИ**

**02.00.06 – Юқори молекуляр бирикмалар**

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

**Тошкент – 2021 йил**

**Кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2021.1.PhD/К211 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Фарғона политехника институти ва Ўзбекистон Миллий университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус ва инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.cspi.uz.ilmiy-kengash](http://www.cspi.uz.ilmiy-kengash)) ва «Ziynet» Ахборот-таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Гафурова Дилфуза Анваровна**  
кимё фанлари доктори, доцент

**Расмий оппонентлар:**

**Бекназаров Ҳасан Сойибназарович**  
техника фанлари доктори, профессор

**Рустамов Махаммасидик Қуканбаевич**  
кимё фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)

**Етакчи ташкилот:**

Тошкент кимё технология институти

Диссертация ҳимояси Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.К.01.03 рақамли Илмий кенгаш асосидаги бир марталик Илмий кенгашнинг 2021 йил «\_\_\_» \_\_\_\_\_ соат «\_\_\_» даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (+99871) 246-07-88; факс: (+99824) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: chem0102@mail.ru).

Диссертация билан Ўзбекистон Миллий университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100174, Тошкент шаҳри, Университет кўчаси, 4-уй. Тел.: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24; e-mail: nauka@nuu.uz).

Диссертация автореферати 2021 йил «\_\_\_» \_\_\_ куни таркатилди.

(2021 йил «\_\_\_» \_\_\_ даги \_\_\_ рақамли реестр баённомаси)..

**З. А. Сманова**

Илмий даражалар берувчи  
бир марталик илмий кенгаш раиси,  
к.ф.д., профессор,

**М. А. Маҳкамов**

Илмий даражалар берувчи  
бир марталик илмий кенгаш  
илмий котиби, к.ф.д., доцент

**М. Г. Мухамедиев**

Илмий даражалар берувчи  
бир марталик илмий кенгаш  
қошидаги илмий семинар  
раиси к.ф.д., профессор

## **КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Дунёда кўплаб саноат корхоналарининг кенгайиши ва ривожланиши натижасида атроф-муҳитнинг оғир металллар билан ифлосланиши кучайиб бормоқда. Бу эса ҳозирда умумбашарий экологик муаммолардан бири ҳисобланади. Турли хил саноат корхоналаридан атроф-муҳитга оғир металллар чиқариб юборилиши табиатга ва ушбу экотизимларда яшовчи тирик организмларга салбий таъсир кўрсатади. Натижада оғир металллар токсиклиги, парчаланмаслиги туфайли турли хил касалликларни келтириб чиқариши аниқланган. Ушбу муаммоларни ечиш учун ионитлар қўллайдиган ион алмашинувчи технологиялардан фойдаланиш алоҳида аҳамият касб этади.

Бугунги кунда жаҳон миқёсида ион алмашинувчи синтетик ионитларни ишлаб чиқариш бир неча баробар ортган бўлса-да, ишлаб чиқариш тармоқлари ортиши ва ривожланиб боргани сари ионитларга талаб ортиб бормоқда. Бу борада импорт ўрнини босадиган термик ва кимёвий барқарор ионитларни синтез қилиш усулларини яратиш, уларнинг физик-кимёвий жиҳатларини амалиётга татбиқ қилиш ва ишлаб чиқаришни йўлга қўйиш муҳим масалалардан бири ҳисобланади. Комплекс хоссага эга бўлган таркибида ҳам кислотали, ҳам асосли гуруҳларини тутувчи ионалмашинувчи материаллар олиш, қимматбаҳо, рангли ва ноёб металл ионларига нисбатан селективлигини аниқлаш, оқова сувларни тирик организмларга салбий таъсир қилувчи захарли ва оғир металл ионларидан тозалаш муҳим омиллардан саналади.

Республикамызда маҳаллий хомашёлар асосида ишлаб чиқариладиган полимер композицион материалларнинг ишлатилиш соҳаларини кенгайтириш, ион алмашинувчи материаллар олинишининг муқобил шароитларини аниқлаш ва уларнинг жорий этилиши бўйича бир қатор ишлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида «маҳаллий хомашёларни чуқур қайта ишлашни ва улар асосида янги импорт ўрнини босувчи маҳсулотлар ишлаб чиқаришни кўзда тутувчи саноатни янги сифат жиҳатдан юқорига кўтариш»<sup>1</sup>га йўналтирилган вазифалар белгилаб берилган. Бу борада маҳаллий хомашёлар асосида истикболли сорбентларнинг иқтисодий жиҳатдан самарадор йўллари белгилаш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги ПҚ-3983-сонли «Ўзбекистон Республикаси кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2019 йил 3 апрелдаги ПҚ-4265-сонли «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг инвестициявий жозибадорлигини ошириш чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ижросини таъминлашда ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февральдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» Фармони

хуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти натижалари муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг VII. Кимё технологиялари ва нанотехнологиялар устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Модификацияланган полиакрилонитрил (ПАН) асосида олинган ионитлар сувни заҳарли ионлардан тозалаш, металл ионларини концентрлаш ва ажратиб олиш учун ишлатиладиган полимер материаллардан бири ҳисобланади. ПАНдан фойдаланиш самарадорлигини, шу жумладан, хомашё ажратиб олиш коэффициенти, ишлаб чиқариладиган маҳсулот сифати ва уни қайта ишлаш даражасини ошириш бўйича бир қатор олимлар томонидан тадқиқотлар олиб борилган. ПАН механик, кимёвий ва термик барқарорликка эга, шунингдек, коррозияга ва эритувчиларга чидамли бўлган полимер материалидир. Шунинг учун илмий адабиётларда кўплаб ишлар ушбу полимер асосида олинган ионитларга бағишланган. Полиакрилонитрил асосида синтез қилинган поликомплексонлар ва хоссаларининг физик-кимёвий жиҳатлари бўйича тадқиқотлар бир қатор хориж олимлари Е.Н.Зильберман, М.П.Зверев, Л.А.Вольф, В.С.Солдатов, Е.Г.Косандрович, L.S.Wang, С.Е.Carraher, Б.Э.Геллер, Dr.Inamuddin, Mohammad Luqman, M.Rahaman, A.Ismail, F.Mustafa томонидан ва мамлакатимизнинг таниқли олимлари К.С.Ахмедов, Н.У.Ризаев, М.А.Аскарров, А.Т.Жалилов, Ў.Н.Мусаев, Т.М.Бабаев, Ш.А.Қурбанов, М.Г.Мухамедиев, Д.А.Гафурова, Н.Т.Каттаев томонидан олиб борилган. Уларнинг ПАНнинг нитрил гуруҳини кимёвий модификациялаш йўналишида олиб борган илмий изланишлари алоҳида аҳамиятга эга.

Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида полимер композицион материаллар олиш ва уларни модификациялаш ҳамда ҳосил бўлган ионитнинг физик-кимёвий жиҳатларини тадқиқ қилиш, синтез қилинган ионит ва полиамфолитик гуруҳлар тутган янги турдаги сорбентларнинг кимёвий, термик барқарорликлари ва сорбцион хоссаларини текшириш, импорт ўрнини босувчи ион алмашувчи материалларни яратишга олиб келади.

**Тадқиқотнинг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Миллий университети илмий тадқиқот ишлари режасининг А-7-23 «Маҳаллий сорбентлар ёрдамида мис ионларини оқова сувлардан ажратиб олиш технологияси» ва ПЗ-20170925290+ПЗ-2017092965+ПЗ-20170927395 «Маҳаллий хомашё асосида ионитлар олиш ва уларни рангли ва камёб металлларни ишлаб чиқариш чиқиндиларидан ажратиб олиш учун қўллаш» (2018-2020 йй.) амалий лойиҳалар доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** полиакрилонитрил ва вермикулит асосида

композицион материалдан ионит олиш ҳамда унинг физик-кимёвий хоссаларини текширишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

полиакрилонитрил ва табиий вермикулит минерали асосида полимер композицион материаллар олиш;

олинган полимер композицион материални гидроксилламин билан кимёвий модификациялаш кинетикасини таҳлил қилиш ҳамда олинган ионитларнинг кимёвий ва термик барқарорлигини ўрганиш;

синтез қилинган ионитга мис (II) ва никель (II) ионларининг сорбция жараёнининг кинетика ва термодинамикасини тадқиқ қилиш;

синтез қилинган ионитни лаборатория синовидан ўтказиш, металл ионларини аниқлаш ва ажратиш учун жорий қилиш бўйича тавсиялар ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** – сифатида полиакрилонитрил, малеин ангидрид, вермикулит минерали, гидроксилламин, металл тузлари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** – кимёвий ўзгаришлар, сорбция, десорбция, жараёнлар кинетикаси ва термодинамикасидан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқотлар жараёнида ИҚ- спектроскопия, сканирловчи электрон микроскоп, рентгенография, рентгенфлуоресцент анализи, дифференциал термик таҳлил, Мак-Бен вакуумли қурилмаси ва потенциометрия каби замонавий назарий ва экспериментал тадқиқот усуллари қўлланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк бор полиакрилонитрил ва вермикулит асосида полимер композицион материаллар олинган;

илк бор полимер-композицион материаллар асосида анионалмашувчи сорбент олишнинг мақбул шароитлари аниқланган;

модификацияланиш жараёни полиакрилонитрил-вермикулит композициясининг ғовакли структурасига боғлиқлиги ҳамда гетероген жараёнлар кинетикаси қонуниятларига бўйсунуши исботланган;

синтез қилинган ионитга мис (II) ва никель (II) ионларининг ютилишини физик-кимёвий усуллар билан тадқиқ қилиш натижасида ютилиш жараёни ион алмашиш билан бир қаторда хелатланиш ҳисобига ҳам бориши аниқланган;

рентгенофлуоресцент анализ натижалари асосида мис (II) ва никель (II) ионларининг полимер композицион ионитга ютилиши вермикулитга нисбатан юқори эканлиги исботланган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

маҳаллий минерал хомашё вермикулит асосида олинган полимер композицион материал эритмалардан рН нинг турли қийматларида мис (II) ва никель (II) ионларини ютиши аниқланган;

олинган ионит саноат сувларини тайёрлашда, шунингдек, атроф-муҳит объектлари ва технологик эритмаларда мис (II) ионларини ажратиб олиши аниқланган.

**Тадқиқот натижаларнинг ишончлилиги** ИҚ-спектроскопия, рентгенография, дифференциал термик анализ, сканирловчи электрон микроскоп, элемент сирт энергия-дисперсион анализ, потенциометрия, рентгенофлуоресцент анализ каби замонавий усуллар ёрдамида экспериментал натижалар олинганлиги билан асосланган. Ион мувозанат, молекуляр адсорбция жараёнлари кинетикаси (Ленгмюр, Фрейндлих) ва термодинамикаси ҳақидаги замонавий назарияларда ишлатиладиган тенгламаларни қўллаш орқали олинган натижаларни таҳлил қилиш билан хулосалар чиқарилган ҳамда математик-статистика усуллари билан қайта ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти полиакрилонитрил ва маҳаллий минерал хомашё вермикулити асосида ион алмашувчи ва комплекс ҳосил қилувчи полимер материаллар олишнинг физик-кимёвий жиҳатларини аниқлашдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти олинган ионит ёрдамида технологик сувлардан мис (II) ва никель (II) ионларини ажратиб олиши ҳамда саноат материаллари, шунингдек, атроф-муҳит объектларидан мис (II) ва никель (II) ионларини сорбцион-спектроскопик аниқлаш усуллари яратилгани билан изоҳланади.

**Тадқиқотларнинг жорий қилиниши.** Маҳаллий хомашё полиакрилонитрил ва вермикулит асосидаги янги ионитларнинг физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш бўйича олинган илмий натижалар асосида:

ишлаб чиқилган сорбцион-спектроскопик усул «Muborak gazni qayta ishlash zavodi» МЧЖ амалиётига жорий қилинган («Muborak gazni qayta ishlash zavodi» МЧЖнинг 2021 йил 27 апрелдаги 695/СК-04 маълумотномаси). Натижада атроф-муҳит объектлари ва технологик эритмалардан мис (II) ионларини тезкор аниқлаш имконини берган;

полимер композицион ионит «Фарғонаёғмой» АЖда амалиётга жорий этилган («Фарғонаёғмой» АЖнинг 2021 йил 27 январдаги 01/44-сон маълумотномаси). Натижада технологик сувлар таркибидаги мис (II) ионлари концентрлаш ва 99,75-99,95 %гача ажратиб олиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 15 та, жумладан, 7 та халқаро ва 8 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 18 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 3 та мақола республика, 2 та мақола хорижий журналларда нашр этилган.

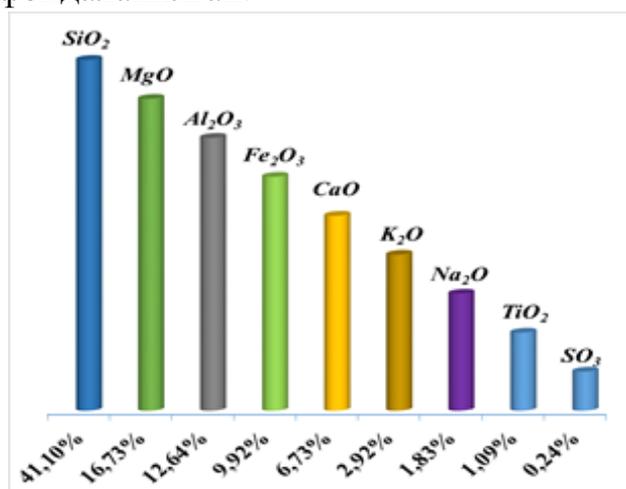
**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловадан иборат. Диссертациянинг ҳажми 114 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

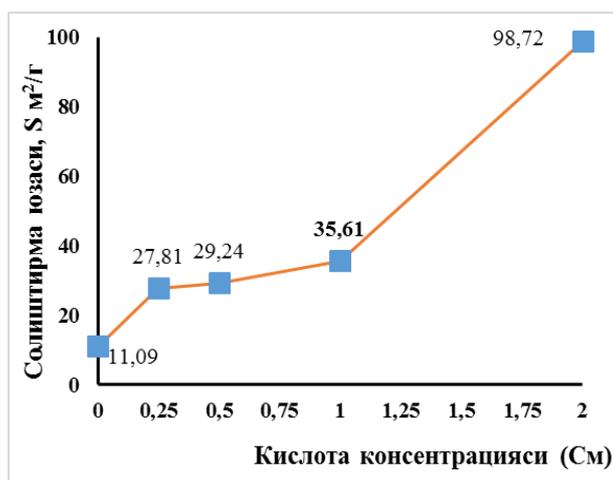
**Кириш** қисмида ўтказилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, мақсади ва вазифалари, объекти ва предметлари тавсифланган, Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти ёритилган, натижаларни амалиётга жорий қилиш, нашр этилган илмий ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Вермикулит асосида ионалмаштирувчи материаллар олиш ва уларнинг физик-кимёвий хоссалари**» номли биринчи бобида вермикулитнинг турли физик-кимёвий хоссалари, юқори бўкиш хусусияти, катта сирт майдони ва катион алмашиниш қобилияти уни оғир металллар учун адсорбент сифатида ишлатиш мумкинлиги унинг структурасида – қатламли алюминий силикат, алмашинадиган катионлар ва юзасида –ОН гуруҳлари мавжуд бўлиши билан изоҳланади. Вермикулитнинг полимер композицияларида турли шаклларда, жумладан, кенгайтирилган, интеркаляцияланган, органик модификацияланган ва ҳар хил ўлчамдаги микрондан нанометргача фойдаланиш мумкинлиги адабиётларда келтирилган. Уларни таҳлил қилиш асосида илмий хулоса қилинган, диссертация ишининг мақсади, вазифалари, долзарблиги ва аҳамияти белгилаб берилган.

Диссертациянинг «**Полиакрилонитрил/вермикулит композицион материални олиниши**» номли иккинчи бобида полиакрилонитрил малеинли вермикулит (ПМВ) композитини олиш учун акрилонитрил, малеин ангидрид ва маҳаллий минерал хомашё – «Тебинбулок» вермикулитидан фойдаланилган.



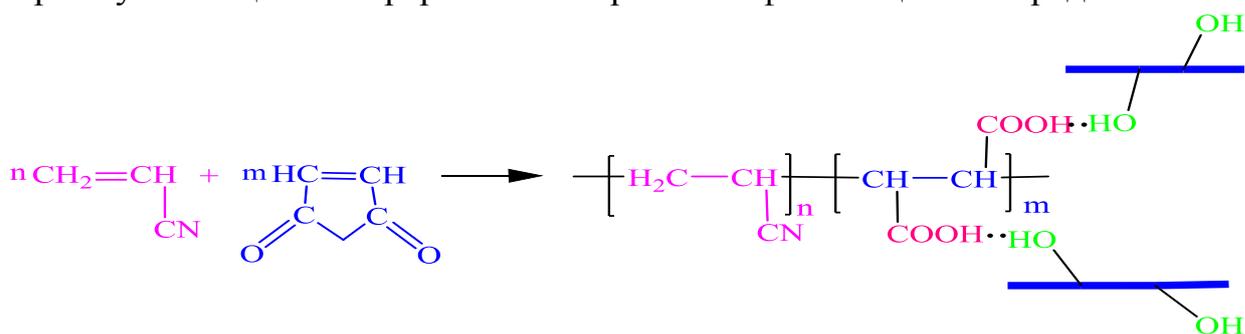
1-расм. Тебинбулок вермикулитининг таркиби.



2-расм. Вермикулитнинг солиштирма юзаси ўзгаришини хлорид кислота концентрациясига боғлиқлиги  $t=2$  соат.

Тебинбулок вермикулитининг таркиби 1-расмда келтирилган бўлиб, турли хил моддалар аралашмасидан иборат. ВМТнинг аниқ кристаллографик таркибини ҳисоблаш қийин бўлиб, ВМТ учун умумий формула:  $[Mg, Fe, Al)_3$

$[(Al, Si)_4O_{10}] (OH)_2 Mx nH_2O$ , бу ерда М– алмашинадиган катион ва х-мавжуд алмашинадиган катионларнинг эквивалентлари сони. 2-расмда вермикулитнинг каттароқ ўзига хос сирт майдони ва кўпроқ ғоваклилик даражасини ошириш мақсадида турли хил концентрациядаги хлорид кислота билан ишланди. Вермикулитга хлорид кислота билан ишлов бериш унинг сиртини ва ғовак ҳажмини сезиларли даражада оширди. Кислота концентрациясининг ошиб бориши, вермикулит структурасининг бузилишига олиб келди. Хлорид кислота билан ишлов берилган вермикулит қатламларини янада кенгайтириш ва уни полиакрилонитрил билан композицион материал олиш учун малеин ангидрид (МА)ни сирка кислота эритмаси билан механик усулда аралаштирилди. МА кислота билан ишланган вермикулит галереяларига осонликча кириши учун сирка кислота эритмасида олиб борилди. Сирка кислота МАни гидрофил вермикулитга етказиш учун ташувчи вазифасини бажаради. Малeин ангидрид-вермикулит (МВ) қатламли силикат ҳам вермикулит сингари тетраэдрал ва октаэдрал қаватларидан иборат бўлади. МА ёрдамида вермикулитни органик равишда ўзгартирилиши, унинг полимер билан янада барқарор боғланишларини таъминлайди. Бу ерда МА полимер билан вермикулитни боғлаш ва вермикулитни қатламлараро кенгайтириш вазифасини ҳам бажаради.

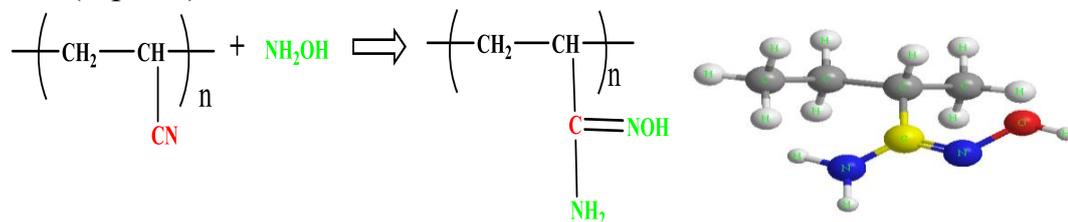


**3-расм. Вермикулит қатламларида П (АН-МА)нинг ҳосил бўлиши.**

Вермикулит қатламларида жойлашган малeин ангидридни акрилонитрил билан сополимеризацияси 3-расмда келтирилган. Сополимерланиш реакцияси инициатор иштирокида радикал механизмда боради. Сополимер таркибида акрилонитрилнинг миқдори кўп бўлиб тасодифий сополимер ҳисол бўлади. Вермикулитнинг – OH гуруҳи сополимер таркибидаги карбоксил гуруҳлари билан водород боғ ҳосил қилиши мумкин. Бунда АН, МА ва ВМТ ўзаро қуйидагича 4:1:2 масса нисбатда олинганда, энг юқори САС қийматига эга бўлган ионит олинди.

Синтез қилиб олинган полиакрилонитрилнинг малeин кислотали вермикулит билан боғланган сополимери (ПМВ) катионит хоссасига эга. Ишқор бўйича САС 2,3 мг-экв/г га тенг. Маҳаллий хомашё Тебинбулоқ вермикулит ҳам кучсиз катион алмашиниш хоссаси ишқор бўйича САС 1,0 мг-экв/г га тенг. ПМВ композитининг САС 2,3 мг-экв/г бўлиши малeин таркибидаги карбоксил гуруҳлари ҳисобига ошган дейишимиз мумкин. Шунга қарамадан композитнинг адсорбцион хоссаларини кўшимча модификациялаш йўли билан ҳам ошириш мумкин бўлади.

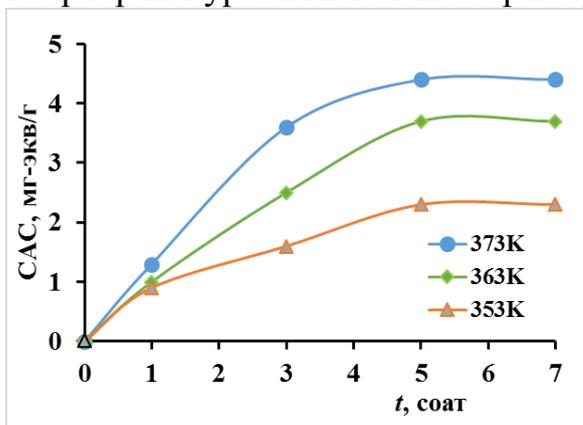
Бунинг учун синтез қилиб олинган полимер композицион материалнинг сорбцион хоссасини ошириш мақсадида композит таркибидаги  $-C\equiv N$  гуруҳини гидроксиламин билан модификациялаш реакцияси олиб борилди (4-расм).



4-расм. ПАН ни гидроксиламин билан модификациялаш реакцияси ва реакция маҳсулотнинг 3 D кўриниши.

Гидроксиламин билан ПАНнинг нитрил гуруҳи ўртасидаги реакцияси нуклеофиль бирикиш механизмида боради:

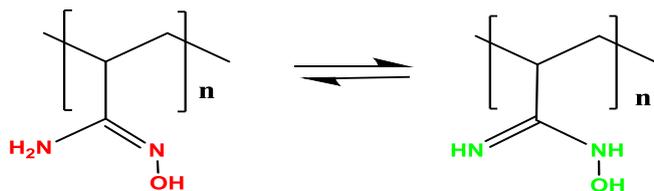
Модификацияланган ПМВ-ГА сорбентининг САСига реакция давомийлиги, ҳарорат ва модификацияловчи агент ГА концентрацияси таъсирларини ўрганиш натижалари 5-расмда келтирилган.



5-расм. Турли ҳароратларда ПМВ-ГА сорбентининг САСини реакция давомийлигига боғлиқлиги.  $[GA]=0,15 M$

5-расмдан кўришиб турибдики, реакция давомийлиги ва ҳарорат ортиши билан модификацияланган ПМВ-ГАнинг САС ошади, яъни ПАН таркибида нитрил гуруҳларни анион алмаштирувчи функционал гуруҳларга айланиши ортиб боради. ГАнинг концентрацияси 0,15 М бўлганда энг юқори САСига эришилган, яъни 4,4 мг-экв/г. Гидроксиламин концентрацияси 0,15 М ва вақт 5 соатда бўлганда нитрил гуруҳининг 38 %и амидоксим гуруҳига айланиб бўлади.

Модификацияланган амидоксимлар, асосан, молекула ичидаги водород боғи билан стабиллашадиган (амидоксим ва гидроксам) шаклида мавжуд бўлади.



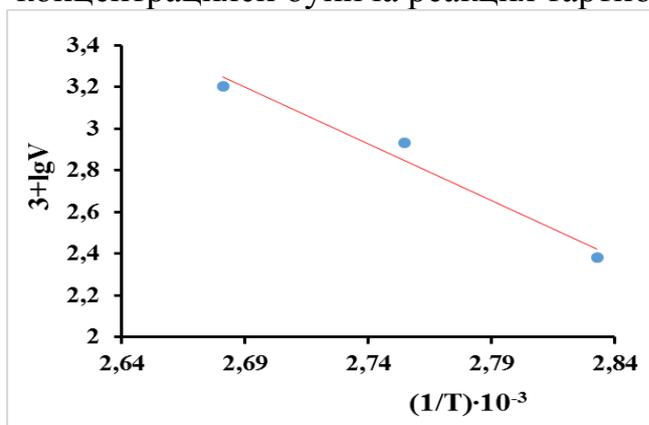
ПМВни гидроксиламин билан модификациялаш жараёнида олинган кинетик маълумотлардан фойдаланиб, ушбу реакция учун Аррениус тенгламаси бўйича фаолланиш энергияси ҳисобланди (6-расм).

$$E_a = -R \ln 10 \cdot t g \alpha = 105,36 \text{ кЖ/моль}$$

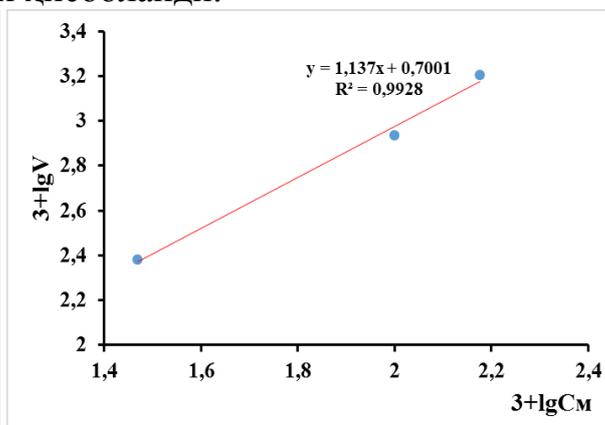
6 – расмда модификацияланиш реакция тезлигининг ҳароратга боғлиқлик логорифмик қийматлари келтирилган. Айни боғлиқликнинг бурчак тангенси асосида модификацияланиш реакциясининг фаолланиш энергияси ҳисоблаб чиқилди,  $E_a$  нинг қиймати 105,36 кЖ/моль эканлиги аниқланди.

Тажрибада ҳисоблаб чиқилган реакциянинг фаолланиш энергияси қиймати айни гетероген жараёнларга хосдир.

ПМВни ГА билан модификацияланиш реакцияси гетероген жараён бўлиб, бундай жараёнларда реакция тезлиги фақат суюқ фазадаги модда концентрациясига боғлиқ бўлади. 7-расмда ПМВни ГА билан кимёвий модификациялаш кинетикасидан олинган натижалар асосида ГА концентрацияси бўйича реакция тартиби ҳисобланди.



6-расм.  $\lg V$ нинг  $1/T$ га боғлиқлиги.  
[ГА]=0,15 М,  $t=5$  соат.



7-расм. Модификациялаш реакция тезлигининг ГА концентрациясига логарифмик боғлиқлиги ( $T=373K$ ).

ГА бўйича реакция тартиби юқорида келтирилган чизмадан тўғри чизиқнинг қиялик бурчак тангенсидан топилди ва унинг қиймати 1,1ни ташкил қилди. ПМВни ГА билан таъсирлашиш реакция тенгламасининг тезлиги жараён кинетикасини ўрганиш орқали топилди.

$$V = K [GA]^{1,1}$$

Ҳосил бўлган полимер таркибидаги ПМВни ГА билан модификациялаш кинетикасини тадқиқ этиш натижасида қулай реакция шароит аниқланди ва HCl бўйича 4,4 мг-экв/г, NaOH бўйича 2,3 мг-экв/г га тенг бўлган САС га эга бўлган полиамфолит синтез қилинди (1-жадвал).

1-жадвал

Синтез қилиб олинган полимер композицион материални таркибини САС га боғлиқлиги (ГА=0,15 М). Масса нисбат АН:МА:ВМТ)

АН:МА:ВМТ	САС мг-экв/г	
	HCl бўйича	NaOH бўйича
1:1:1	2,0	1,7
2:1:1	3,4	1,5
3:1:1	4,0	1,4
4:1:2	4,4	2,3
5:1:2	4,3	2,0

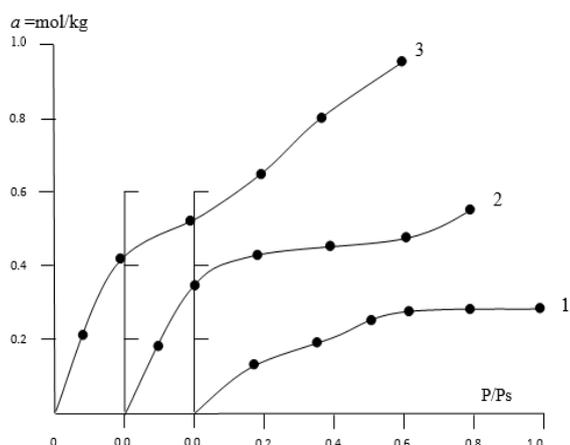
1-жадвалдан кўришимиз мумкинки, олинган композитнинг масса нисбати 4:1:2 бўлганда САС қийматлари юқори бўлиши аниқланди.

Диссертациянинг «Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида синтез қилиб олинган ионитнинг физик-кимёвий ва сорбцион хоссалари» номли учунчи бобида ВМТ ва синтез қилинган ПМВ-ГА сорбентнинг физик-кимёвий хоссалари ҳамда мис (II) ва никель (II) ионларининг сорбентга сорбцияланиши ўрганилган.

Тебинбулоқ вермикулити ва синтез қилиб олинган ПМВ-ГА маҳсулотининг ИҚ-спектрлари таҳлил қилинди. ВМТ учун  $3656\text{cm}^{-1}$  соҳада кузатилган чизикларининг ҳолати ва интенсивлиги мос равишда Si-OH ва Al-OH гуруҳларидаги (-OH) тўғри келади.  $954,12\text{cm}^{-1}$  гача бўлган соҳада тетраэдрал қисмидаги Si-O-Si гуруҳларини ифодалайди.  $720\text{cm}^{-1}$ ,  $650\text{cm}^{-1}$  соҳаларда эса Si-O- боғланишининг деформацион тебранишлари билан боғлиқ бўлади. ПМВ композити гидроксилламин билан модификацияланганда ПМВ-ГАнинг ИҚ-спектрларида баъзи (-CH<sub>2</sub>-) носимметрик ва ассиметрик чўзилган тебраниш ютилиш чўққиси  $2927\text{cm}^{-1}$  бўлиб, вермикулит қатламлари орасида органик модданинг кирганлиги ва органик вермикулит олинганлигини кўрсатади. Янги  $3200-3500\text{cm}^{-1}$  соҳаларидаги кенг ютилиш чизиклари (-NH<sub>2</sub>, -OH) гуруҳларининг валент ва деформацион тебранишларига тўғри келади. >C=N- боғларнинг валент тебранишлари  $1655\text{cm}^{-1}$  соҳада кузатилди.

Синтез қилинган ПМВ-ГА сорбентнинг кимёвий барқарорлиги ўрганилган бўлиб, сорбент намуналари ҳар хил кислоталар ва асосларнинг эритмасида турли ҳароратларда 10дан 48 соатгача қолдирилди. Уларни кимёвий реагентлардан тозалагандан сўнг САСнинг камайиши ўртача 5-10 %дан ошмаган, ПМВ-ГА сорбентнинг кучли оксидловчилар таъсирига чидамли эканлиги аниқланди.

Полиакрилонитрил ва вермикулит асосидаги сорбентларининг капилляр-ғовак тузилиши: солиштирма юзаси ва ғоваклар ўлчами қийматлари бензол буғларини сорбциялаш орқали ўрганилди. Ўрганилган системалардаги адсорбция изотермаларидан ПМВ-ГАда бензол адсорбцияси дастлабки вермикулитга нисбатан 3 маротаба юқори бўлиши аниқланди (8-расм).



8-расм. Вермикулит ВМТ(1), ПМВ (2), ПМВ-ГА (3)ларда бензол буғи адсорбция изотермалари.

Адсорбентларда адсорбция миқдори нисбий босим ноль қийматидан  $P/P_s \approx 0,2$  гача кескин кўтарилиши ва  $P/P_s \approx 0,8-1$  оралиғида тўйиниш ҳолатига яқинлашиб бориши кузатилди. Олинган изотермалар асосида БЕТ

тенгламаси ёрдамида адсорбентлар моноқават сифими ( $\alpha_m$ ), солиштирма юзалари (S) ва тўйиниш адсорбцияси ( $\alpha_s$ ) ҳисоблаб топилди (2-жадвал).

2-жадвал

**Вермикулит ва у асосида олинган сорбентларда бензол буғи адсорбцияси бўйича структура-сорбцион кўрсаткичлари**

№	Адсорбентлар	Моноқават сифими, $\alpha_m$ , моль/кг	Солиштирма юзаси, S м <sup>2</sup> /г	Тўйиниш адсорбцияси, $\alpha_s$ , моль/кг
1	ВМТ	0,148	35,61	0,22
2	ПМВ	0,248	59,63	0,53
3	ПМВ-ГА	0,323	77,67	0,92

ПМВ-ГАнинг солиштирма юзаси ва тўйиниш ҳажми дастлабки намунага нисбатан юқори бўлиши аниқланди.

Вермикулит кислота билан ишланганда адсорбентлар қаватлари оралиғида қўшимча ғовакларнинг очилиши юз беради. Адсорбентлардаги ғовакликларнинг тузилиши унинг адсорбциялаш хусусиятларини белгилайди (3-жадвал).

3-жадвал

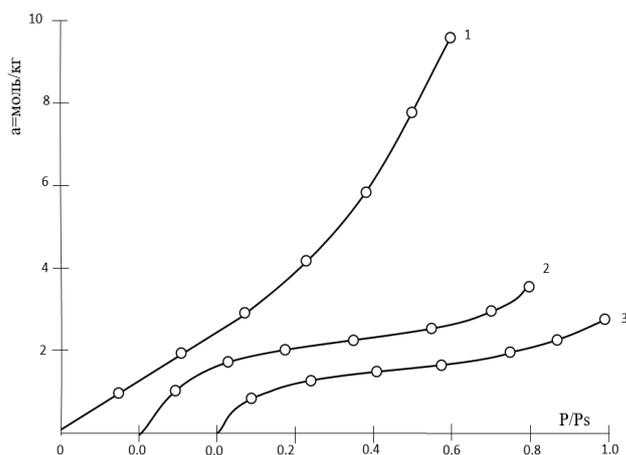
**Вермикулит ва синтез қилинган полимер композицияларида бензол буғи адсорбцияга кўра ғоваклари ҳажми**

№	Адсорбентлар	Микроғоваклар ҳажми $W_0 \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	Мезоғоваклар ҳажми $W_{me} \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	Тўйиниш ҳажми $V_s \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг
1	ВМТ	0,012	0,008	0,02
2	ПМВ	0,04	0,005	0,045
3	ПМВ-ГА	0,07	0,01	0,08

Микроғоваклар тўйиниш назарияси тенгламаси ёрдамида ҳисобланган ПМВ-ГА микроғовакларнинг ҳажми дастлабки вермикулитга нисбатан 7 марта юқори бўлиши аниқланди. Вермикулит асосида фаоллаб олинган сирт фаол модда ПМВ-ГАда бензол буғи адсорбцияси дастлабки вермикулитга нисбатан 3 мартагача ортганлигини кўришимиз мумкин.

Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида олинган композицион материалларни саноат оқава сувлари таркибидаги оғир металллардан тозалаш бўлганлиги сабабли унинг сорбция хоссаларини ошириш ва унинг гидрофиллик хусусиятини камайтириш зарур, чунки вермикулит сувда нисбатан тўйиниб қолиши унинг оғир металл ионларини ютиш хоссаси камайишига олиб келади. Гидрофиллигининг камайганлигини аниқлаш мақсадида вермикулит ва у асосида синтез қилиб олинган сорбентларда сув буғи адсорбцияси ўзгаришини ўрганиш муҳим аҳамият касб этади.

Сув буғлари адсорбция изотермаларидан вермикулитга нисбатан синтез қилиб олинган ПМВ ва ПМВ-ГАларда ~3 марта кам адсорбция бўлиши аниқланди. Вермикулитли полимер композит материал олиб (ПМВ), ГА билан модификацияланганда гидрофиллик хусусияти ~3 мартагача камайишига олиб келади дейишимизга асос бўлади (9-расм).



9-расм. ВМТ (1), ПМВ(2), ПМВ-ГА(3) сув буғи адсорбция изотермаси.

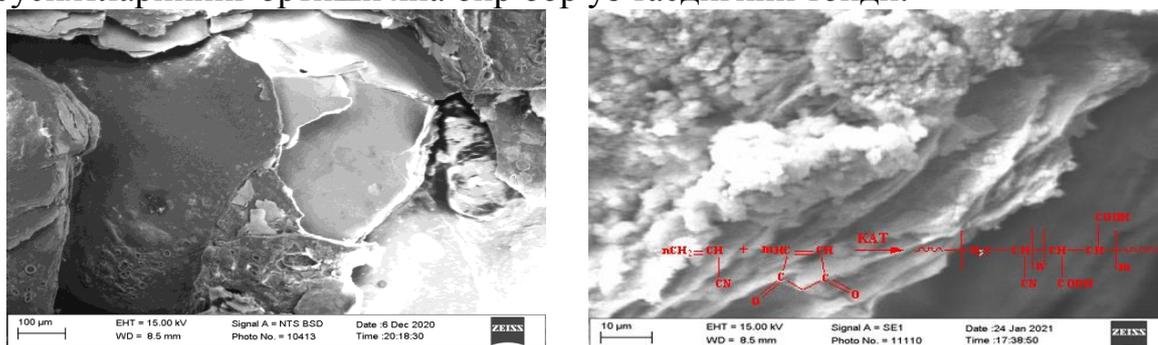
Вермикулитга нисбатан ПМВ ва ПМВ-ГАларда сув буғлари адсорбцияси изотермалари асосида адсорбентларнинг моноқават сиғими  $\alpha_m$ , тўйиниш ҳажми  $a_s$  ва уларнинг солиштирма юзалари  $S$  ҳисоблаб топилди (4-жадвал).

4-жадвал

Модификациялаб олинган сорбентларда сув буғи адсорбцияси бўйича структура-сорбцион кўрсаткичлари

Адсорбентлар	Моноқават сиғими, $\alpha_m$ , МОЛЬ/КГ	Солиштирма юзаси, $S$ м <sup>2</sup> /г	Тўйиниш адсорбцияси, $a_s$ , МОЛЬ/КГ
ВМТ	1,15	76,11	10,0
ПМВ	1,20	79,30	3,5
ПМВ-ГА	1,22	79,80	2,5

ВМТда  $\sim 3,5$  моль/кг гача сув буғлари ғовакликларга ютилиш орқали қолган қисми эса адсорбентга бўқиши натижасида ютилган. ПМВ ва ПМВ-ГАларнинг солиштирма юзалари ( $S$ ) деярли бир-бирига тенг. Бундан шуни хулоса қилиш мумкинки, вермикулит ва полиакрилонитридан ПКМ олинганда ВМТнинг гидрофиллик хусусиятининг камайиб гидрофоблик хусусиятларининг ортиши яна бир бор ўз тасдиғини топди.

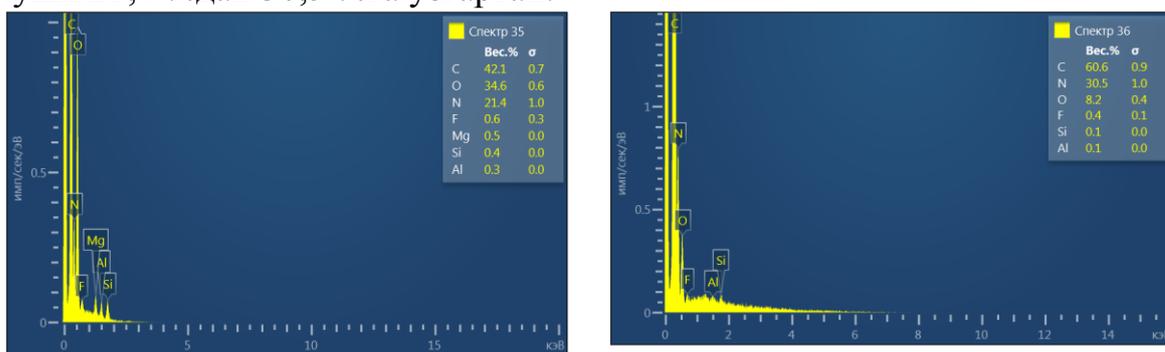


10- расм. ВМТ (а) ва ПМВ (б) композитининг СЭМ тасвири.

СЭМ таҳлили ВМТ ва ПМВ-ГАларнинг сирт юзаси ҳамда морфологик ўзгаришларни кузатиш мумкин бўлади. 10-(а) расмда кислотада ишлов берилган ВМТнинг қатламларини кўриш мумкин. Вермикулит зарралари орасидаги бўшлиқларни бир хилда кўрсатмайди. Вермикулитнинг айрим қисмида қаватлар бир-бирига жуда яқин, бошқа қисмларида бўшлиқлар жуда кенг. 10-(б) ВМТ қатламлар орасига полимер моддаларнинг кирганлигини ПМВ композит СЭМ тасвиридан ҳам кўришимиз мумкин.

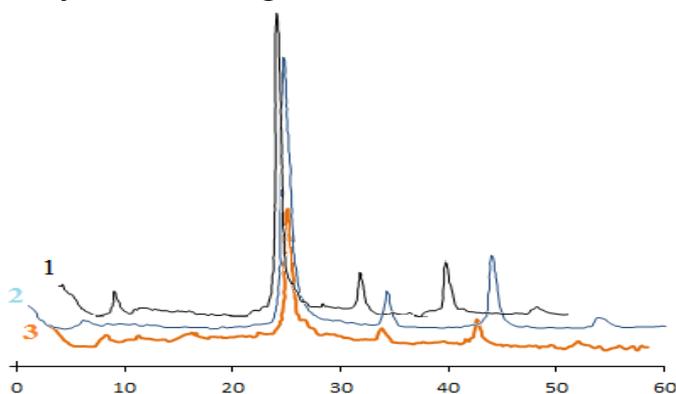
Элементар анализ композиция бўйича маълумотларни олишда маълум жойлар ажратилган электрон тасвирлар, график спектри келтирилган бўлиб, энергия-дисперсив элементар анализатори ёрдамида аниқланди.

Синтез қилиниб олинган ПМВ сиртининг энергия-дисперсион рентген спектри анализида углерод, кислород ва азотнинг мавжудлиги ва полимер ҳосил бўлганидан далолатдир. 11-расмда кўринадики, энергия-дисперсион рентген спектри ПМВ композитдаги азот спектрининг чўққисига нисбатан ПМВ-ГАдаги азотда ошган ва элементлар фоиз таркибида ҳам азотнинг улуши 21,4 %дан 30,5 %га ўзгарган.



11-расм. ПМВ композит ва ПМВ-ГА сиртининг энергия-дисперсион спектри.

Олинган намуналари (оддий ВМТ, кислотада ишланган (КВМТ) ва ПМВ-ГА)нинг рентген нурланиш дифракцион тузилишини таққослаш шуни кўрсатдики, кимёвий модификациядан сўнг олинган намуналарда полимернинг кристалл соҳаларига мос келадиган чўққининг сезиларли даражада пасайиши ва композит материалнинг аморф тузилиш ҳолатига ўтиш кузатилди 12-расм.

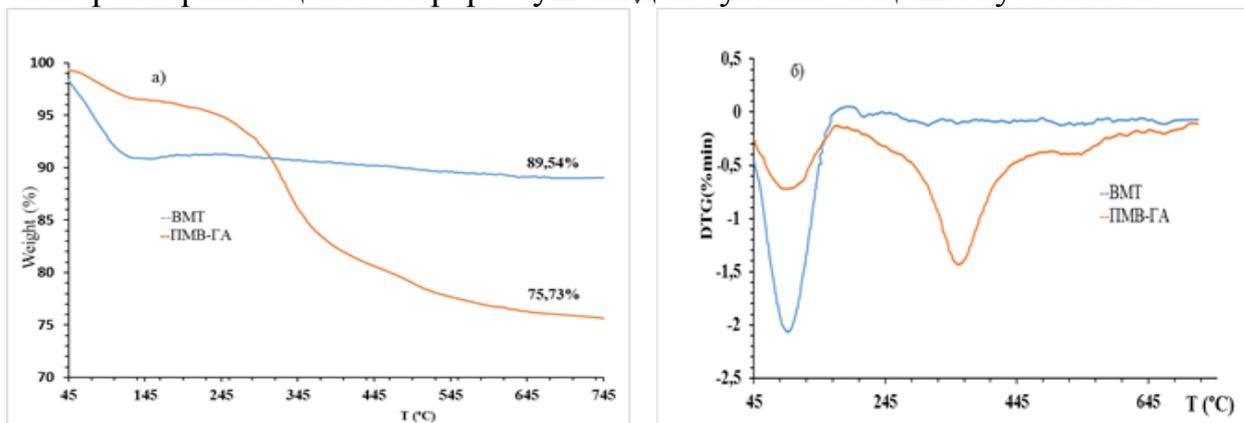


12-расм. ВМТ (1), КВМТ (2), ПМВ-ГА (3) нинг рентгенограммаси

ВМТ, КВМТ ва ПМВ-ГАнинг рентгенфазавий усулда кристалланиш даражасини ҳисоблаш натижаларига кўра, ВМТ 72,7 %, КВМТ 79,8 % ва ПМВ-ГА 33,5 %ни ташкил этди. КВМТда кристалланиш даражасининг ортганлиги вермикулитни хлорид кислота билан ишланганда вермикулит турли хил моддалардан нисбатан тозаланиш эвазига кристалланиш даражаси ортган. МАни ВМТ галерияларига киритиш ва МАни АН билан сополимерлаб олинган (ПМВ-ГА) сорбентларнинг кристалл ҳолатдан аморф ҳолатга ўтиб боришини кўриш мумкин.

Полимер композицион материал олиш учун олинган ВМТ ва ПМВ-ГА ионитларнинг термик барқарорлигини тавсифлаш учун (ТГ) ва (ДТГ) термогравиметрик анализдан фойдаланилди. Синтез қилиниб олинган

полимер композицион материалларнинг ҳарорат бардошлилиги термик ва термооксидланишнинг деструкцияси бошланадиган, куйи молекуляр бирикмалар ажралиб чиқадиган ҳарорат чегаралари аниқлади. Бунинг учун ВМТнинг сувсизланиш жараёнининг ҳароратга боғлиқлиги ТГ билан ҳарорат ошириш орқали таҳлил қилинди. Ҳарорат ошиши билан масса камайиши, иссиқлик эффекти ва қатлам оралиқ ўзгариши, яъни 2:1 турдаги вермикулит минералларнинг қатламлараро бўшлиқдан сувнинг чиқиши кузатилган.



**13-расм. ВМТ ва ПМВ-ГАларнинг термограммалари.**

ВМТ намуналарининг ДТГ эгри чизиқлари (13-брасм) намликнинг камайишини назарда тутувчи, тахминан 91,6 °C даражадаги эндотермик чўққини кўрсатади. ПМВ-ГАнинг ДТГ эгри чизиқлари 355<sup>0</sup>Сда, асосан, полиакрилонитнинг парчаланишидан келиб чиққан, эндотермик чўққини кўрсатади. Композитнинг кейинги парчаланишлари эса полимер занжирининг аста-секинлик билан деструкцияга учраши ҳисобига содир бўлади. Бундан ташқари ТГ эгри чизиқлари ВМТ ва ПМВ-ГАнинг 45-750 °Сда умумий масса камайиши мос равишда 8,46 %, ва 24,27 %ни ташкил қилди. Олинган намуналар массасининг камайиши шуни кўрсатадики, полимер композицион материал олиш ва уни модификациялаш реакцияларида –С–Н, =NOH va –NH<sub>2</sub> бўлган органик гуруҳлар сони кўпайган. Бошқача айтганда, ТГ ва ДТГ таҳлил натижалари вермикулитли полимер композицион материал олинган деб айтишимиз мумкин бўлади.

ПМВ-ГА сорбентининг қўллаш соҳаларини аниқлаш учун сорбцион хусусиятлари ўрганилди. Синтез қилинган ПМВ-ГА сорбентига Cu(II), Ni(II) ионлари сақлаган эритмалар таркибидан металл ионларини сорбциялаш жараёнининг физик-кимёвий қонуниятлари статик шароитда ўрганилди. Бунинг учун CuSO<sub>4</sub>\*6H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O тузларининг сувли эритмасидан фойдаланилди.

ПМВ-ГА сорбентига металл ионларининг сорбция натижалари асосида сорбция изотермаси тузилди. Бошланғич эритмадаги Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> ионлари концентрацияси ва ҳароратининг ортиши билан ионларнинг сорбциясини оширади. Сорбция изотермасини тавсифлаш учун Ленгмюр, Фрейндлих тенгламасидан фойдаланилди. Ленгмюр ва Фрейндлих сорбция изотерма моделларининг доимий параметрлари ва R<sup>2</sup> корреляцион коэффициентининг ҳисобланган натижалари келтирилган 5-жадвал.

Сорбциянинг мувозанат жараёнларини таҳлил қилиш учун сорбция изотермалари энг муҳим восита ҳисобланади. 5-жадвалда келтирилган маълумотдан кўриниб турибдики,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг турли ҳароратларда ПМВ-ГА сорбентига ютилиши адсорбция жараёни Ленгмюрнинг мономолекуляр сорбция назариясига бўйсинади.

5-жадвал

$\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионлари сорбциясида Ленгмюр ва Фрейндлих константа қийматлари

Ионлар	Ленгмюр константалари				Фрейндлих константалари		
	$q_{\text{max}}$ , мг/г	$K_L$	$R_L$	$R^2$	1/n	$K_F$	$R^2$
$\text{Cu}^{2+}$	163,09	0,0066	0,705	0,9952	8,496	128,5	0,835
$\text{Ni}^{2+}$	150,36	0,0061	0,713	0,9925	6,983	112,4	0,874

ПМВ-ГА асосидаги сорбентга  $\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг сорбция жараёни механизмини аниқлашда кинетик моделлардан (псевдо биринчи ва псевдо иккинчи тартибли усуллардан) фойдаланилди. Сорбциясининг кинетик кўрсаткичлари 6-жадвалда келтирилган.

6-жадвал

$\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  иони сорбциясининг кинетик кўрсаткичлари

псевдо-биринчи тартибли									
Ион	$C_0$ (моль/л)	$q_e$ (мг г <sup>-1</sup> )	$k_1$ (дақ <sup>-1</sup> )	$R^2$	Ион	$C_0$ (моль/л)	$q_e$ (мг г <sup>-1</sup> )	$k_1$ (дақ <sup>-1</sup> )	$R^2$
$\text{Cu}^{2+}$	0,025	110,02	0,057	0,8977	$\text{Ni}^{2+}$	0,025	104,10	0,061	0,8932
	0,05	131,43	0,055	0,8796		0,05	121,52	0,053	0,901
	0,075	144,76	0,043	0,8998		0,075	132,37	0,041	0,9267
	0,1	160,31	0,041	0,9186		0,1	148,95	0,039	0,9677
псевдо-иккинчи тартибли									
Ион	$C_0$ (моль/л)	$q_e$ (мг г <sup>-1</sup> )	$k_2$ (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	$R^2$	Ион	$C_0$ (моль/л)	$q_e$ (мг г <sup>-1</sup> )	$k_2$ (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	$R^2$
$\text{Cu}^{2+}$	0,025	114,92	0,0046	0,936	$\text{Ni}^{2+}$	0,025	106,17	0,00341	0,9273
	0,05	132,33	0,0043	0,9575		0,05	122,11	0,00319	0,9463
	0,075	147,56	0,0039	0,9459		0,075	136,89	0,00218	0,9763
	0,1	165,24	0,0024	0,9928		0,1	155,37	0,00124	0,9911

6-жадвалда иккинчи тартибли сорбция жараёнини графигида корреляция коэффициенти биринчи тартибли адсорбция корреляция коэффициенти ( $R^2$ ) нисбатан бирга яқин чиққан ва жадвалдаги кинетик параметрлар қийматлари  $\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг ПМВ-ГА сорбентга ютилишида металл ионлари билан бир қаторда сорбент таркибидаги гуруҳлар ҳам таъсир кўрсатганлигидан, бу эса иккинчи тартибли адсорбция кинетикасига бўйсинганлигидан далолат беради.

ПМВ-ГА сорбентига 293К, 303К ва 313К ҳароратларда эритмалардан  $\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг сорбция жараёнида термодинамик параметрларнинг ўзгариши ўрганилди. Бунинг учун эритмада борадиган сорбция жараёнидаги  $\ln K$  ва  $1/T$  боғлиқлик графигидан  $\Delta H$ ,  $\Delta S$ ,  $\Delta G$  қийматлари аниқланди. Олинган натижалар 7-жадвалда келтирилган.

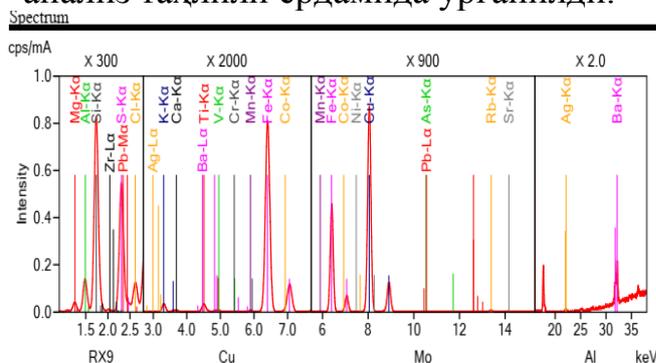
7-жадвалдан кўришиб турибдики, ПМВ-ГА сорбенти Cu(II) ва Ni(II) ионларини селектив юта олишидан далолат беради. Такдим этилган маълумотлар шуни кўрсатадики, ҳарорат ошиши билан сорбция кучаяди, сорбция жараёни эркин энергия, энталпиянинг камайиши ва энтропиясининг ортиши билан боради, бу сорбция жараёнининг ион алмашинув хусусиятидан далолат беради.  $\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг ПМВ-ГА сорбентига сорбцияси ўз-ўзича борганлигини кўрсатади.

7-жадвал

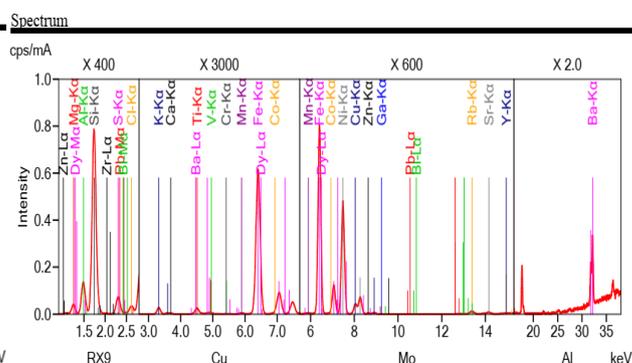
**ПМВ-ГА Cu(II) ва Ni(II) ионлари сорбциясида термодинамик функцияларнинг ўзгариши**

Металл ионлари	$\Delta H^0$ (Ж/моль)	$\Delta S^0$ (Ж/мольК)	$\Delta G^0$ (Ж/моль)		
			293 К	303 К	313 К
$\text{Cu}^{2+}$	24968,68	120,96	-6015,67	-6135,79	-6255,44
$\text{Ni}^{2+}$	22964,27	107,68	-5673,54	-5712,71	-59580,8

Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида олинган ионитга (ПМВ-ГА) мис (II) ва никель (II) ионининг сорбция натижалари рентгенофлуоресцент анализ таҳлили ёрдамида ўрганилди.



**14-расм. ПМВ-ГА сорбентига ютилган мис (II) нинг рентгенофлуоресцент анализ спектри.**



**15-расм. ПМВ-ГА сорбентига ютилган никель (II) нинг рентгенофлуоресцент анализ спектри.**

Сорбентга ютилган мис (II) ва никель (II) миқдорини рентгенофлуоресцент анализдан олинган натижаларини 14 ва 15-расмлардан кўришимиз мумкинки, мис (II) ва никель (II) ионларининг сорбентга ютилган миқдори мис (II) иони учун 1,92 %ни, никель (II) иони учун 1,67 %ни ташкил этган.

ПМВ-ГА сорбентининг десорбция хусусиятларини ўрганиш, сорбцион материаллардан амалда фойдаланиш учун сорбентнинг десорбция цикли жуда муҳимдир. ПМВ-ГА сорбентининг мис (II) ва никель (II) ионлари бўйича ДАСига десорбция циклининг таъсири 8-жадвалда келтирилган.

8-жадвал

**ПМВ-ГА сорбентининг десорбцияси**

ДАС, мг/г	Десорбциягача	Десорбциядан кейин				
		1	2	3	4	5
$\text{Cu}^{2+}$ бўйича	160	159	158,3	157,5	156,8	156
$\text{Ni}^{2+}$ бўйича	145	144,3	143,2	141,5	140,1	139,6

Ионитга сорбцияланган металл ионлари динамик шароитда водород хлорид кислотанинг сувли эритмаси билан десорбция қилинди. Мис ва

никель металлариининг беш мартаба десорбциясидан кейин сорбциялаш 2,5 % ва 3,7 % камайган. Шундай қилиб, ПМВ-ГА сорбентини мис ва никель ионларидан оқова сувларни тозалашда ва технологик эритмаларни концентрлаш жараёнларида қўллаш мумкин.

Диссертациянинг «Синтез қилинган композитнинг кимёвий ўзгаришларини олиб бориш ва физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш услублари» деб номланувчи тўртинчи бобида қўлланилган реактивларнинг тавсифи, сорбентларни синтез қилиш усуллари, олинган полимер сорбентларнинг физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилишда қўлланилган тадқиқот услублари келтирилган.

### Хулосалар

1. Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида вермикулитнинг полиакрилонитрил малеин кислотали сополимер композицион материаллари синтез қилиниб, ПМВни гидроксиламин билан кимёвий модификациялаш орқали ионит олиш кинетикасини тадқиқ қилиш натижасида аниқланган фаолланиш энергияси қиймати, реакция тезлигининг фақат модификацияловчи агент концентрациясига боғлиқ эканлиги, ўрганилаётган жараёнларни гетероген реакцияларга хос қонуниятларга бўйсиниши билан изоҳлаш мумкин.

2. Синтез қилинган ионитнинг тузилишини ва физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш натижасида улар полиамфолитик табиатга эга эканлиги, унинг таркибида карбоксил, амидоксим, вермикулитда манфий ион сақловчи гуруҳлари борлиги билан изоҳланди.

3. Полиакрилонитрил ва вермикулит асосида олинган сорбент (ПМВ-ГА)нинг физик-кимёвий хоссалари ўрганилди, кимёвий ва термик барқарорликларини аниқлаш, шунингдек, олинган ионитни сканерловчи электрон микрофотографиялари, сиртининг энергия-дисперсион спектри, структура-сорбцион кўрсаткичлари таҳлили унинг сорбциялаш жараёнини осонлаштирувчи ғовак тузилишга эгаллигини тасдиқлаш имконини берди.

4. Синтез қилинган полиамфолитга (ПМВ-ГА) мис (II) ва никель (II) ионларини сорбциялаш жараёнининг кинетикаси ва термодинамикасини тадқиқ қилиш орқали ўрганилаётган жараён Ленгмюрнинг мономолекуляр адсорбцияси назариясига бўйсунуши ҳамда сорбция жараёнининг термодинамик параметрлари – эркин энергия ( $\Delta G$ ), энтальпия ( $\Delta H$ ) ва энтропия ( $\Delta S$ ) қийматлари ўзгариши  $\text{Cu}^{2+}$  ва  $\text{Ni}^{2+}$  ионларининг сорбент билан ион алмашилиш жараёни орқали ютилишини кўрсатди.

5. Мис (II) ва никель (II) ионларининг синтез қилинган сорбентга динамик шароитда сорбция-десорбция жараёнлари ўтказилди ва олинган натижалар полиамфолитнинг сорбцион хоссаларини қайта ишлатиш даврида амалда ўзгармаганлигини кўрсатди ва уларни кўп мартаба қўллашга тавсия қилинди.

6. Синтез қилинган полиамфолитга (ПМВ-ГА) «Muborak gazni qayta ishlash zavodi» МЧЖ ва «Фарғонаёғмой» АЖда атроф-муҳит объектлари ва технологик материаллардан мис (II) ионларини аниқлаш ва ажратиб олиш учун тавсия этилди.

**РАЗОВЫЙ НАУЧНЫЙ СОВЕТ НА ОСНОВЕ НАУЧНОГО СОВЕТА  
DSc.03/30.12.2019.К.01.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ  
ПРИ НАЦИОНАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**ФЕРГАНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА**

**МАХКАМОВ БУНЁДЖОН ГАНИЖОНОВИЧ**

**ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ИОНИТОВ НА ОСНОВЕ  
ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛА И ВЕРМИКУЛИТА**

**02. 00. 06 - Высокмолекулярные соединения**

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

**Ташкент – 2021**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2021.1.PhD/К211.**

Диссертация выполнена в Ферганском политехническом институте и Национальном университете Узбекистана

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.cspi.uz.ilmiy-kengash](http://www.cspi.uz.ilmiy-kengash)) Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ZiyoNet.uz](http://www.ZiyoNet.uz)).

<b>Научный руководитель:</b>	<b>Гафурова Дилфуза Анваровна</b> доктор химических наук, доцент
<b>Официальные оппоненты</b>	<b>Бекназаров Хасан Сойибназарович</b> доктор технических наук, профессор <b>Рустамов Махаммасидик Куканбаевич</b> доктор философии по химическим наукам (PhD)
<b>Ведущая организация:</b>	Ташкентский химико-технологический институт

Защита диссертации состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г. в \_\_\_\_ часов на заседании разового Научного совета на основе Научного совета DSc.03/30.12.2019.К.01.03 при Национальном университете Узбекистана. (Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 227-12-24, факс: (+99824) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: chem0102@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Национального университета Узбекистана (зарегистрирован за № \_\_\_\_). Адрес: 100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4. Тел.: (+99871) 246-07-88, 277-12-24; факс: (+99871) 246-53-21; 246-02-24, e-mail: nauka@nuu.uz.

Автореферат диссертации разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 года.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 года).

**З. А. Сманова**  
Председатель разового научного  
Совета по присуждению учёных  
степеней, д.х.н., профессор

**М. А. Махаммов**  
Ученый секретарь разового  
научного совета по присуждению  
учёных степеней, д.х.н., доцент

**М. Г. Мухамедиев**  
Председатель разового научного  
семинара при научном совете по  
присуждению учёных степеней,  
д.х.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире с расширением и развитием многих промышленных предприятий загрязнение окружающей среды ионами тяжелых металлов является глобальной экологической проблемой. Выброс сточных вод, содержащей ионы тяжелых металлов в окружающую среду различными промышленными предприятиями оказывает негативное воздействие на нее и живые организмы, живущие в экосистемах. Известно, что тяжелые металлы вызывает множество заболеваний из-за отсутствия их разложения. Особое значение имеет применение ионообменных технологий с использованием ионитов для решения этих проблем.

На сегодняшний день мировое производство ионообменных синтетических ионитов увеличилось в несколько раз, но спрос на них увеличивается вместе с ростом и развитием производственных отраслей промышленности. В связи с этим одной из важных проблем является разработка методов синтеза термически и химически стабильных ионитов, заменяющих импортные, практическое изучение их физико-химических свойств и налаживание производства. Важно на основе местного сырья получить ионообменные материалы, содержащие как кислотные, так и основные группы, определить их селективность относительно сорбции ионов драгоценных, цветных и редких металлов, очистить сточные воды от ионов токсичных и тяжелых металлов, отрицательно влияющих на жизнь живых организмов.

В Республике проводится ряд мероприятий по расширению использования полимерных композиционных материалов, производимых на основе местного сырья, для определения оптимальных условий производства ионообменных материалов и их внедрения. Стратегия действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан ставит задачи, направленные на «выведение качества отрасли на новый уровень, предполагающий глубокую переработку местного сырья и производство на его основе новой импортозамещающей продукции»<sup>2</sup>. В связи с этим важно определить рентабельные пути синтеза перспективных сорбентов на основе местного сырья.

Данное диссертационное исследование в определённой степени служит исполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлений ПП-3983 от 25 октября 2018 года «О мерах по ускорению развития химической промышленности Республики Узбекистан», ПП-4265 от 3 апреля 2019 года «О мерах по дальнейшему реформированию химической отрасли и увеличению ее инвестиционной привлекательности», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми касательно данной сферы.

---

<sup>2</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 7 февраля 2017 года № ПФ-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии в республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике VII. Химия, химическая технология и нанотехнология.

**Степень изученности проблемы.** Иониты на основе модифицированного полиакрилонитрила (ПАН) являются одним из полимерных материалов, используемых для очистки воды от токсичных ионов, концентрирования и отделения ионов металлов. Учеными был проведен ряд исследований по повышению эффективности использования ПАН, включая коэффициент разделения сырья, качество продукта и уровень его обработки. Это дешевый коммерческий полимерный материал, обладающий механической, химической и термической стабильностью, а также устойчивостью к коррозии и растворителям. Поэтому много работ в научной литературе посвящено ионитам, полученным на основе данного полимера. Особое значение имеют работы ряда зарубежных ученых как Э.Н.Зильберман, М.П.Зверев, Л.А.Вольф, В.С.Солдатов, Э.Г.Косандрович, L.S.Wang, С.Е.Carraher, Б.Э.Геллер, Dr.Inamuddin, Mohammad Luqman, M.Rmahaman, A.Ismail, F. Mustafa, научные исследования известных ученых нашей страны К.С.Ахмедова, Н.У.Ризаева, М.А.Аскарова, Т.Джалилова, О.Н.Мусаева, Т.М.Бабаева Ш.А. Курбанова, М.Г.Мухамедиева, Д.А.Гафуровой, Н.Т.Каттаева в направлении химического модифицирования ПАН.

Получение и модификация полимерных композиционных материалов на основе ПАН и вермикулита сопровождается изучением физико-химических аспектов образующихся ионитов, их химической, термической стабильности и сорбционных свойств, созданием импортозамещающих ионообменных материалов.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного заведения.** Диссертационное исследование выполнено в рамках планов фундаментального и инновационного проектов Национального университета Узбекистана по государственному гранту: А-7-23 «Технология отделения ионов меди из сточных вод с использованием местных сорбентов» и ПЗ-20170925290+ПЗ-2017092965+ПЗ-20170927395 «Получение ионитов на основе местного сырья и их применение для сорбции цветных и редких металлов из отходов производства» (2018-2020 гг.).

**Целью исследования** является получение ионитов на основе композиционного материала ПАН и вермикулита, а также исследование их физико-химических свойств.

**Задачи исследования:**

получение полимерных композиционных материалов на основе ПАН и природного минерала вермикулита;

анализ кинетики химической модификации полученного полимерного композиционного материала гидроксиламином и исследование химической и термической стабильности полученных ионообменников;

изучение кинетики и термодинамики процесса сорбции ионов меди (II) и никеля (II) на синтезированном ионите;

разработка рекомендаций по лабораторным испытаниям синтезированного ионита, внедрение для обнаружения и разделения ионов металлов.

**Объектами исследования** были полиакрилонитрил, малеиновый ангидрид, минерал вермикулит, гидроксилламин, соли металлов.

**Предмет исследования** химические превращения, сорбция, десорбция, кинетика и термодинамика сорбционных процессов.

**Методы исследования.** В процессе исследования были использованы современные теоретические и экспериментальные методы исследования, такие как ИК-, УФ-спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия, рентген флуоресцентный анализ, дифференциальный термический анализ, вакуумный прибор Мак-Бена и потенциометрия.

**Научная новизна исследований** заключается в следующем:

впервые определены оптимальные условия получения анионообменного сорбента на основе ПАН и вермикулита;

впервые определены оптимальные условия получения анионообменного сорбента на основе полимерно-композиционного материала;

доказано, что модификация зависит от пористости структуры композиции ПАН-вермикулит и подчиняется закономерностям кинетики гетерогенных процессов;

обнаружено физико-химическими исследованиями поглощение ионов меди (II) и никеля (II), которое, наряду с ионным обменом, протекает также за счет хелатообразования;

доказано на основе результатов рентген флуоресцентного анализа, что сорбция ионов меди (II) и никеля (II) к полимерному композиционному иониту выше, чем у вермикулита.

**Практические результаты исследования:**

определена сорбция ионов меди (II) и никеля (II) из растворов при различных значениях pH полимерными композиционными материалами, полученными на основе местного минерального сырья вермикулита;

полученный ионит был использован при очистке промышленных вод, а также при очистке от ионов меди (II) объектов окружающей среды и технологических материалов.

**Достоверность результатов исследований** основана на том, что экспериментальные результаты были получены с использованием современных методов, таких как ИК-спектроскопия, рентгенография, дифференциальный термический анализ, сканирующая электронная микроскопия, энергодисперсионный анализ поверхности элементов, потенциометрия, рентген флуоресцентный анализ. Выводы были сделаны на основе анализа результатов, полученных с использованием уравнений, используемых в современных теориях ионного равновесия, кинетики

процессов молекулярной адсорбции (Ленгмюра, Фрейндлиха) и термодинамики.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в определении физико-химических аспектов получения ионообменных и комплексообразующих полимерных материалов на основе ПАН и вермикулита, являющегося местным минеральным сырьем.

Практическая значимость результатов исследования заключается в выделении ионов меди (II) и никеля (II) из технических вод с использованием полученного ионита, а также разработке сорбционно-спектроскопического метода обнаружения этих ионов в промышленных материалах, а также объектах окружающей среды.

**Внедрение исследования.** На основании научных результатов, полученных при изучении физико-химических свойств новых ионитов на основе местного сырья ПАН и вермикулита:

разработанный сорбционно-спектроскопический метод внедрен в практику ООО «Мубаракский газоперерабатывающий завод» (справка ООО «Мубаракский газоперерабатывающий завод» от 27 апреля 2021 г., 695/СК-04). Результаты дали возможность экспресс определения ионов меди (II) в объектах окружающей среды и технологических материалах;

полимерно-композиционный ионит внедрен в практику ОАО «Фаргонаёгмой» (справка № 01/44 ОАО «Фаргонаёгмой» от 27 января 2021 г.). В результате ионы меди (II) в технологических водах концентрировались и отделялись от 99,75 до 99,95%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования были представлены и обсуждены на 15, в том числе 7 международных и 8 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По материалам диссертационной работы опубликовано 18 научных работ, в том числе 3 статей в республиканских и 2 в международных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Объем диссертации 114 страниц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обосновываются актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи исследования, охарактеризованы объект и предмет исследования, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «Получение ионообменных материалов на основе вермикулита и их физико-химические свойства» говорится, что различные физико-химические свойства вермикулита, высокая набухаемость, большая площадь поверхности и катионообменная способность делают его отличным адсорбентом для тяжелых металлов. Вермикулит содержит слоистый силикат алюминия, обменные катионы и ОН-группы на поверхности. Вермикулит может использоваться в полимерных композициях в различных формах, включая расширенный, интеркалированный, органически модифицированный, и в различных размерах от микро- до нанометров. На основании анализа был сделан научный вывод, определены цель, задачи, актуальность и важность диссертации.

Вторая глава диссертации под названием «Производство композиционного материала полиакрилонитрил/вермикулит» посвящена получению композиционного полимера вермикулита на основе ПАН и вермикулита с добавлением малеинового ангидрида (ПМВ).

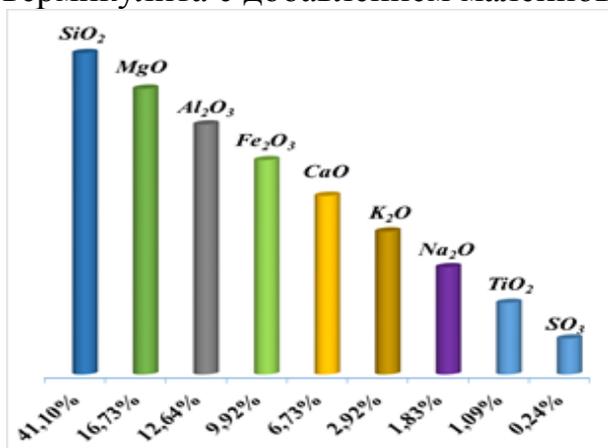


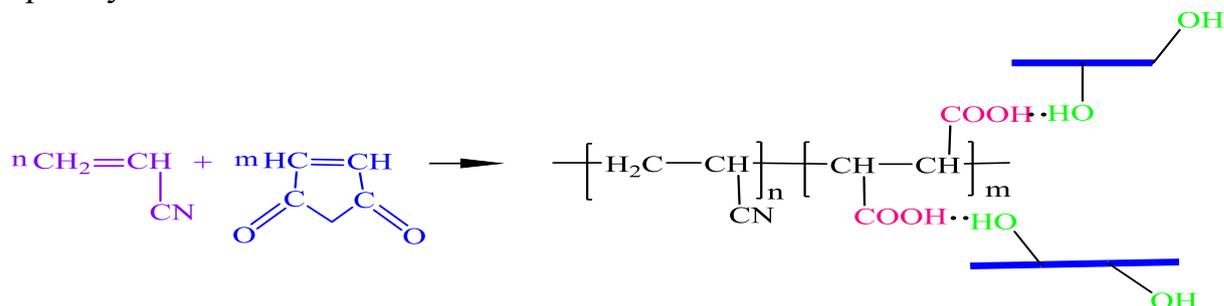
Рис 1. Состав вермикулита Тебинбулак.



Рис 2. Влияние концентрации соляной кислоты на изменения удельной поверхности вермикулита ( $\tau=2$  часа)

Состав вермикулита Тебинбулак показан на рисунке 1 и состоит в основном из смеси различных веществ. Трудно рассчитать точный кристаллографический состав ВМТ, и общая формула для него такова:  $[Mg,Fe,Al]_3 [(Al,Si)_4O_{10}].(OH)_2 Mx nH_2O$ , где М-количество обменных катионов, а х-количество эквивалентов доступных обменных катионов. Вермикулит был обработан HCl в различных концентрациях для увеличения удельной поверхности и количества дополнительных групп (рис 2). Обработка вермикулита различными концентрациями HCl значительно увеличила его площадь поверхности и пористость. Увеличение концентрации кислоты привело к частичному вымыванию ионов железа, алюминия и магния из октаэдрических слоев. Для дальнейшего расширения слоев вермикулита, обработанных соляной кислотой, и получения композиционного материала с ПАН малеиновый ангидрид (МА) механически смешивали с раствором уксусной кислоты. Уксусная кислота действует как переносчик МА к гидрофильному вермикулиту. Слоистый силикат малеинового ангидрида-вермикулита (МА) также состоит из тетраэдрических и октаэдрических слоев, как вермикулит. Органическая модификация

вермикулита с помощью МА обеспечивает более стабильные связи с полимером. Здесь МА действует как связывающий вермикулита с полимером, и как расширяющий агент межслойное пространство вермикулита.



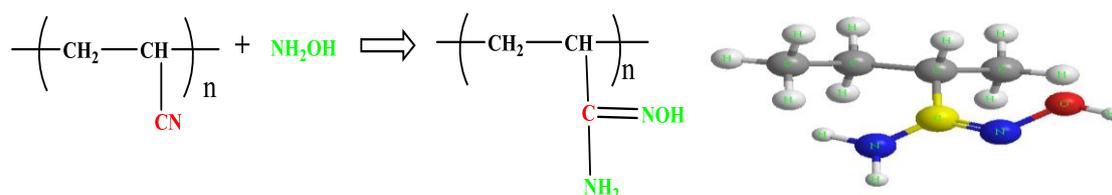
**Рис 3. Образование ПАН-МА в слоях вермикулита**

Сополимеризация малеинового ангидрида с акрилонитрилом, находящимся в слоях вермикулита, показана на рисунке 3. Реакция сополимеризации протекает по радикальному механизму в присутствии инициатора. Сополимер содержит большое количество акрилонитрила, который представляет собой статистический сополимер. Гидроксильная группа вермикулита может образовывать водородную связь с карбоксильными группами сополимера. В случае, когда АН, МА и ВМТ были получены в соотношении 4:1:2, был получен ионит с наибольшим значением СОЕ.

В реакции сополимеризации полученный продукт представляет собой статистический сополимер с высоким содержанием полиакрилонитрила. Между слоями вермикулита сополимеры акрилонитрил и малеиновой кислоты образуют водородную связь между гидроксильной группой вермикулита и карбоксильными группами малеиновой кислоты.

Сополимер (ПМВ) полиакрилонитрила, синтезированный с вермикулитом и малеиновой кислотой, обладает катионообменными свойствами. СОЕ по NaOH составляет 2,3 мг-экв/г. Использованный вермикулит также обладает катионообменными свойствами с СОЕ 1,0 мг-экв/г по NaOH.

В дальнейшем для повышения сорбционных свойств полимер композита была проведена дополнительная модификация азот содержащим основанием. Для этого была проведена химическая модификация  $-C\equiv N$  групп полимер композиционного материала с гидроксиламином (рис 4). Реакция между гидроксиламином и нитрильной группой ПАН протекает по механизму нуклеофильного присоединения:



**Рис 4. Реакция модификации ПАН гидроксиламином и трехмерный вид продукта реакции.**

Результаты исследования влияния продолжительности реакции, температуры и концентрации модифицирующего реагента ГА на СОЕ модифицированного сорбента ПМВ-ГА представлены на рис 5.

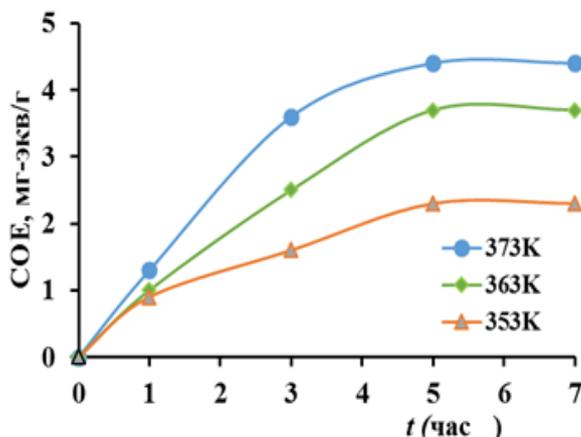
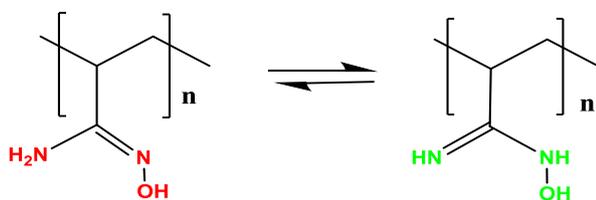


Рис 5. Зависимость ПАВ сорбента ПМВ-ГА от времени реакции при различных температурах. [ГА]=0,15 М

На рис 5 показано, что при модификации полимер композиционного материала ГА с увеличением продолжительности реакции и температуры, увеличивается СОЕ полученных сорбентов, то есть превращение нитрильных групп в анионообменные функциональные группы в ПАН увеличивается. При этом были получены полимер композиционные сорбенты со СОЕ 4,4 мг-экв/г по НСІ. Это была достигнута, при концентрации ГА 0,15 М. Показано, что при концентрации гидроксиламина 0,15 М цианогруппы превращались в амидоксимные группы за 5 часов с конверсией 38%

Модифицированные амидоксимы в основном присутствуют в форме стабилизированной внутримолекулярной водородной связью (амидоксим и гидроксам).



Используя кинетические данные, полученные при модификации ПМВ гидроксиламином, была рассчитана энергия активации этой реакции в соответствии с уравнением Аррениуса (рис. 6).

$$E_a = -R \ln 10 \cdot t g \alpha = 105,36 \text{ кЖ/моль}$$

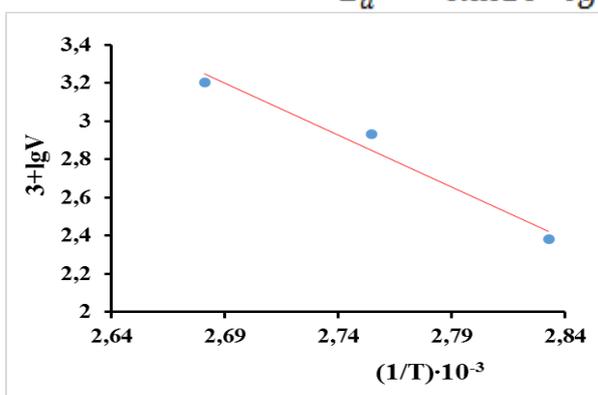


Рисунок 6. Зависимость lgV от 1/T. [ГА]=0,15 М, t =5 часов.

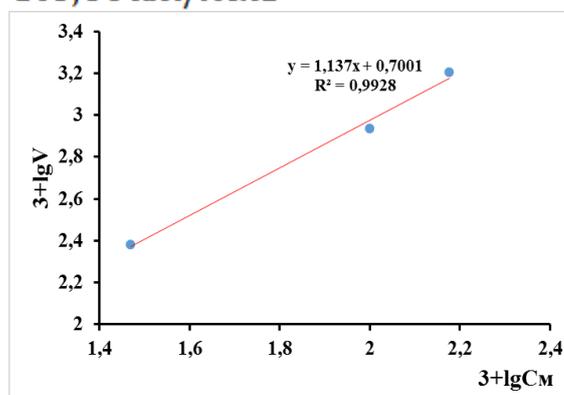


Рисунок 7. Логарифмическая зависимость скорости реакции модификации ПМВ от концентрации ГА (T=373K)

Модификация ПМВ-ГА происходит в гетерогенных условиях, в котором скорость зависит только от концентрации вещества в жидкой фазе. На основе кинетических результатов, полученных из рис. 7 был рассчитан порядок реакции химической модификации ПМВ с ГА по и его значение составило 1,1. Скорость уравнения реакции взаимодействия ПМВ с ГА:

$$V=K [ГА]^{1,1}$$

Изучение кинетики модификации ПМВ ГА выявлено благоприятные условия реакции модификации полиамфолит (табл 1).

Таблица 1

**Зависимость СОЕ синтезированного полимерного композиционного материала от ПАВ (ГА = 0,15 М) при различных массовых соотношении (АН: МА: ВМТ)**

АН:МА:ВМТ	СОЕ мг-экв/г	
	По HCl	По NaOH
1:1:1	2,0	1,7
2:1:1	3,4	1,5
3:1:1	4,0	1,4
4:1:2	4,4	2,3
5:1:2	4,2	2,0

Как видно из табл 1, значения СОЕ ПМВ-ГА оказались высокими, при массовом соотношении компонентов 4: 1: 2. Таким образом был получен полиамфолит с СОЕ 4,4 мг-экв / г по HCl и 2,3 мг-экв / г по NaOH.

В третьей главе «Физико-химические и сорбционные свойства ионитов, синтезированных на основе ПАН и вермикулита» изучались физико-химические свойства ВМТ и синтезированного сорбента ПМВ-ГА, а также сорбция ионов меди (II) и никеля (II).

Проведен анализ ИК-спектров вермикулита и синтезированного продукта ПМВ-ГА. Для ВМТ положение и интенсивность линий, наблюдаемых в области  $3656\text{ см}^{-1}$ , соответствуют группам Si-OH и Al-OH (-OH) соответственно. Группы Si-O-Si в тетраэдрической части дают сигнал в области до  $954,12\text{ см}^{-1}$ . В областях  $720\text{ см}^{-1}$ ,  $650\text{ см}^{-1}$  было наблюдено деформационные колебания Si-O групп. При модификации композита ПМВ гидроксиламином, в ИК-спектрах ПМВ-ГА появились некоторые (-CH<sub>2</sub>-) симметричные и асимметрично удлиненные пики поглощения в области  $2927\text{ см}^{-1}$ , что указывает на проникновение органического вещества между слоями вермикулита. Широкие линии поглощения в областях  $3200\text{-}3500\text{ см}^{-1}$  соответствуют валентным и деформационным колебаниям (-NH<sub>2</sub>, -OH) групп. Валентное колебания > C = N-связей наблюдались в области  $1655\text{ см}^{-1}$ .

Изучена хемостойкость синтезированного сорбента ПМВ-ГА, образцы сорбента хранились в растворах различных кислот и оснований при разных температурах от 10 до 48 часов. После очистки их от химических реагентов определяли значение СОЕ. В результате синтезированный сорбент ПМВ-ГА оказался устойчивым к действию сильных окислителей.

Капиллярно-пористая структура сорбентов на основе ПАН и вермикулита: значения удельной поверхности и пористости исследованы

методом сорбции паров бензола. По изотермам адсорбции в исследуемых системах адсорбция бензола в ПМВ-ГА оказалась в 3 раза выше по сравнению с исходным вермикулитом (рис. 8).

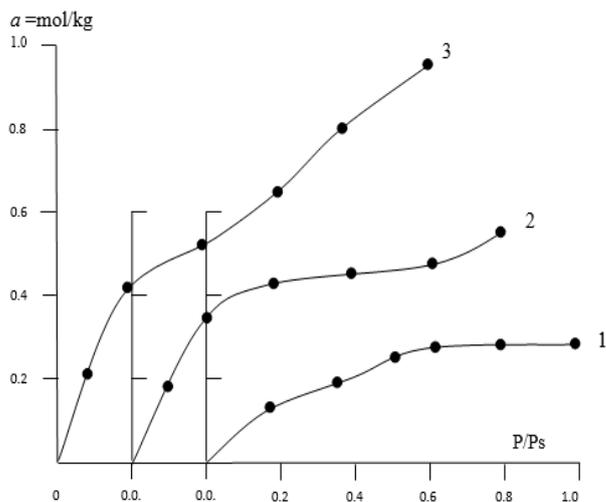


Рис 8. Изотермы адсорбции паров бензола вермикулитом ВМТ (1), ПМВ (2), ПМВ-ГА (3)

Показано, что степень адсорбции резко увеличивалась от нулевого относительного давления до  $P/P_s \approx 0,2$  и приближалась к состоянию насыщения в диапазоне  $P/P_s \approx 0,8-1$ . На основе полученных изотерм рассчитывали емкость монослоя ( $\alpha_m$ ), удельную поверхность ( $S$ ) и адсорбцию при насыщении ( $\alpha_s$ ) адсорбентов с использованием уравнения БЭТ. Удельная поверхность и объем насыщения ПМВ-ГА оказались выше, чем в исходном вермикулите (табл. 2).

Таблица 2

Структурно-сорбционные характеристики адсорбции паров бензола на вермикулите и сорбентах на его основе

№	Адсорбенты	Ёмкость монослоя, $\alpha_m$ , моль/кг	Относительная поверхность, $S$ м <sup>2</sup> /г	Адсорбция насыщения, $\alpha_s$ , моль/кг
1	ВМТ	0,148	35,61	0,22
2	ПМВ	0,248	59,63	0,53
3	ПМВ-ГА	0,323	77,67	0,92

При обработке вермикулита кислотой между слоями адсорбентов открываются дополнительные поры (табл. 3).

Таблица 3

Объем микропор и объем насыщения синтезированных полимерных композициях

№	Адсорбенты	Объем микропор $W_0 \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	Объем мезопор $W_{me} \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	Объем насыщения $V_s \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг
1	ВМТ	0,012	0,008	0,02
2	ПМВ	0,04	0,005	0,045
3	ПМВ-ГА	0,07	0,01	0,08

Объем микропор ПМВ-ГА, рассчитанный по уравнению теории насыщения микропор, оказался в 7 раз больше, чем у исходного

вермикулита. Видно, что адсорбция паров бензола на ПМВ-ГА увеличилась в 3 раза по сравнению с исходным вермикулитом.

Для очистки промышленных сточных вод с полимер композиционными материалами на основе ПАН и вермикулита от тяжелых металлов необходимо повысить их сорбционные свойства и снизить гидрофильные свойства, поскольку относительное насыщение вермикулита водой приводит к снижению абсорбции ионов тяжелых металлов. Для определения снижения гидрофильности важное значение имеет изучение адсорбции воды вермикулитом и сорбентами, синтезируемыми на его основе.

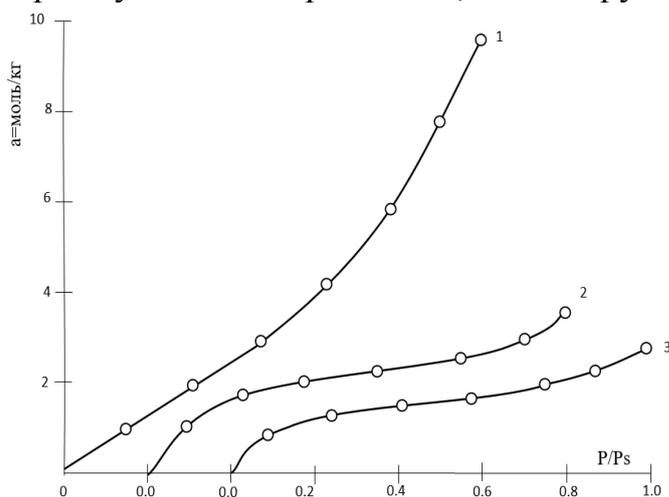


Рис 9. Изотерма адсорбции водяного пара ВМТ (1), ПМВ (2), ПМВ-ГА (3)

Из рис. 9 видно, что ПМВ и ПМВ-ГА, имеют адсорбцию в почти в 3 раза меньше, чем исходный вермикулит. Использование вермикулитового полимерного композиционного материала (ПМВ) и модификация его ГА приводит к снижению гидрофильности до 3 раз (рис. 9).

На основе изотерм адсорбции водяного пара в ПМВ и ПМВ-ГА относительно вермикулита была рассчитана монослойная емкость  $a_m$ , объем насыщения  $a_s$  и их удельная поверхность  $S$  (табл. 4).

Таблица 4

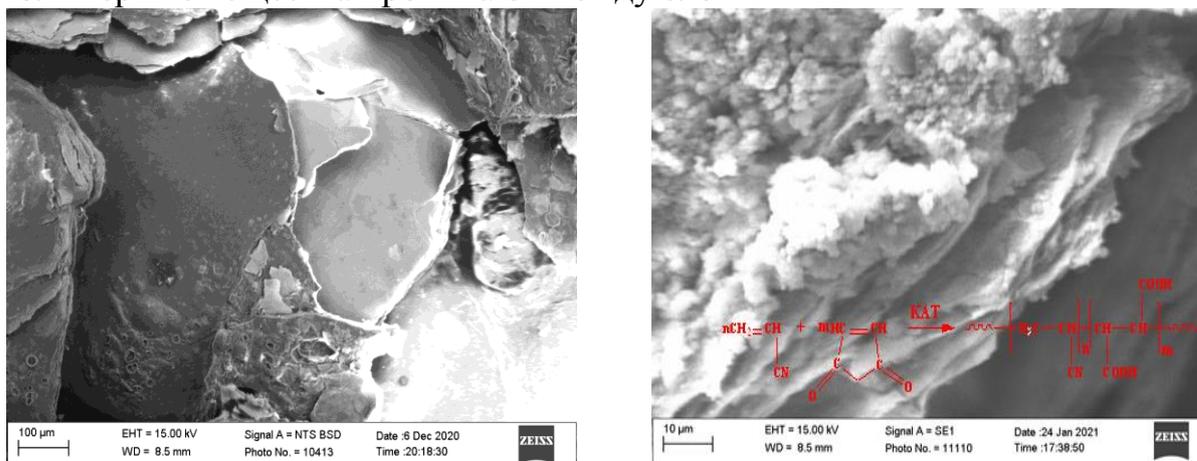
**Структурно-сорбционные характеристики адсорбции водяного пара на модифицированных сорбентах**

Адсорбенты	Вместимость монослоя, $a_m$ , моль/кг	удельная поверхность, $S$ м <sup>2</sup> /г	Адсорбция насыщения, $a_s$ , моль/кг
ВМТ	1,15	76,11	10
ПМВ	1,20	79,30	3,5
ПМВ-ГА	1,22	79,80	2,5

Примерно 3,5 моль/кг водяного пара поглощается порами ВМТ, а оставшаяся часть поглощается адсорбентом. Удельные поверхности ( $S$ ) ПМВ и ПМВ-ГА практически равны друг другу. Из этого следует сделать заключение, что при получении полимеркомпозиционных материалов из вермикулита и полиакрилонитрила, гидрофильных свойств вермикулита снижаются и повышается гидрофобных свойств.

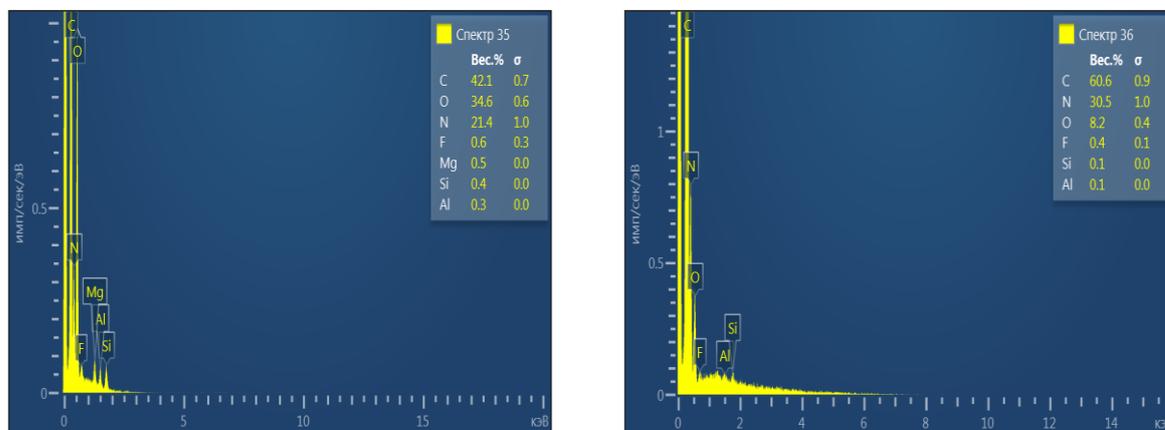
Анализ СЭМ обеспечивает прямое наблюдение изменений площади поверхности и морфологии ВМТ и ПМВ-ГА. На рис 10 показаны слои ВМТ, обработанные кислотой. Зазоры между частицами вермикулита

неравномерны. В некоторых частях вермикулита поры очень плотно прилегают друг к другу, в других - очень широкие зазоры. Также видно, что полимерные вещества проникают между слоями ВМТ.



**Рис-10. СЭМ-изображение композита ВМТ и ПМВ**

Элементарный анализ был выполнен с использованием энергодисперсионного элементарного анализатора, который предоставил графический спектр электронных изображений, разделенных конкретными областями при получении данных по композиции. На рис 11 показано, что энергодисперсный спектр рентгеновских лучей увеличился в азоте в ПМВ-ГА по сравнению с пиком спектра азота в композите ПМВ, а процентное содержание элементов также варьировалось от 21,4 до 30,5%.

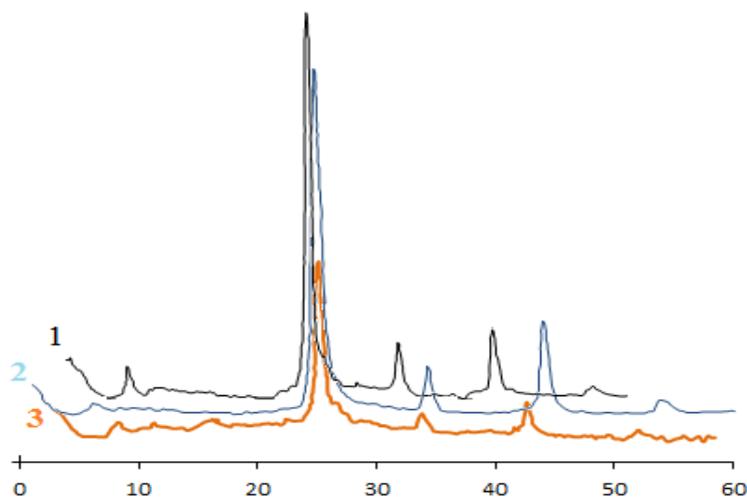


**Рис 11. Энергодисперсный спектр поверхности композита ПМВ и ионитного композита ПМВ-ГА.**

Сравнение рентгеновской дифракционной структуры полученных образцов (ВМТ, обработанный кислотой ВМТ (КВМТ) и ПМВ-ГА) показало, что после химической модификации образцов наблюдалось значительное уменьшение пика, соответствующего кристаллической структуры, и переход композиционного материала к более аморфной структуре.

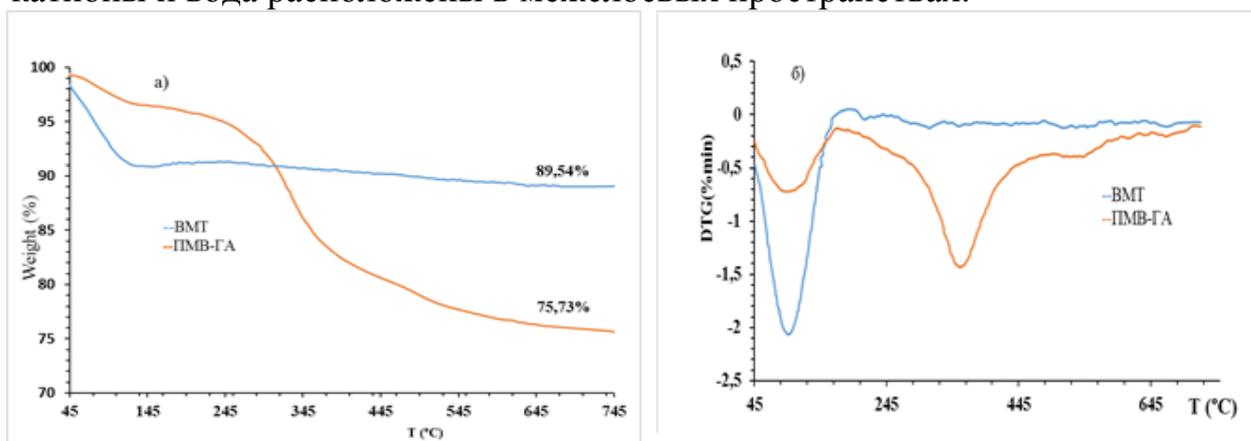
По результатам расчета степень кристаллизации ВМТ, КВМТ и ПМВ-ГА рентгенофазовым методом ВМТ 72,7, КВМТ 79,8 и ПМВ-ГА составила 33,5. Повышенная скорость кристаллизации в КВМТ при обработке вермикулита соляной кислотой степень кристаллизации вермикулита увеличивалась за счет относительной очистки от различных веществ.

Введение МА в галереи ВМТ и перенос МА на сорбенты, сополимеризованные с АН (ПМВ-ГА), прослеживается переход от кристаллического состояния к аморфному состоянию.



**Рис 12. Рентгенограммы ВМТ-1, КВМТ-2, ПМВ-ГА.**

Термогравиметрический анализ (ТГ и ДТГ) был использован для характеристики термической стабильности полученных ионитов ВМТ и ПМВ-ГА. Температурная устойчивость синтезированных полимерных композиционных материалов определялась температурными пределами, при которых начинается термическая и термоокислительная деструкция, а также выделением низкомолекулярных соединений. Для этого была проанализирована температурная зависимость процесса дегидратации ВМТ путем увеличения температуры через ТГ. При повышении температуры наблюдалось уменьшение массы, теплового эффекта и изменение расстояния между слоями, то есть минералы вермикулита типа 2:1 характеризовались утечкой воды из межслоевого пространства. В моногидратированном слое катионы и вода расположены в межслоевых пространствах.



**Рис 13. Термограммы ВМТ и ПМВ-ГА**

Кривые ДТГ образцов ВМТ (рис. 13б) показывают эндотермический пик примерно при 91,60 °С, что указывает на снижение влажности. Кривые ДТГ ПМВ-ГА показывают эндотермический пик при 355°С в основном из-за разложения полиакрилонитрила. Последующее разложение композита происходит из-за постепенного разрушения полимерных цепей. Кроме того,

кривые ТГ показали, что общее снижение массы ВМТ и ПМВ-ГА при 45–750°C составило 8,46 и 24,27% соответственно. Уменьшение массы полученных образцов свидетельствует об увеличении количества органических групп с –С-Н, =НОН и –NH<sub>2</sub> при и модификации полимерного композиционного материала. Другими словами, можно сказать, что результаты анализа

Изучены сорбционные свойства с целью выявления областей применения сорбента ПМВ-ГА построена изотерма сорбции. Изучены физико-химические закономерности процесса сорбции ионов Cu (II), Ni (II) из растворов на синтезированный сорбент ПМВ-ГА в статических условиях. Для этого использовали водные растворы солей CuSO<sub>4</sub>\*6H<sub>2</sub>O, Ni(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>\*6H<sub>2</sub>O.

По результатам сорбции ионов металлов сорбентом ПМВ-ГА построена изотерма сорбции. С увеличением температуры и концентрации ионов Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup> в исходном растворе, сорбция увеличивается. Изотермы сорбции - важнейший инструмент для анализа равновесных процессов сорбции. Для описания изотермы сорбции использованы уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха. В табл 5 приведены постоянные параметры моделей изотерм сорбции Ленгмюра и Фрейндлиха и результаты расчета коэффициента корреляции R<sup>2</sup>.

**Таблица 5**  
**Значения констант Ленгмюра и Фрейндлиха при сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup>**

Ионы	Константы Ленгмюра				Константы Фрейндлиха		
	q <sub>max</sub> , мг/г	K <sub>L</sub>	R <sub>L</sub>	R <sup>2</sup>	1/n	K <sub>F</sub>	R <sup>2</sup>
Cu <sup>2+</sup>	163,09	0,0066	0,705	0,9952	8,496	128,5	0,835
Ni <sup>2+</sup>	150,36	0,0061	0,713	0,9925	6,983	112,4	0,874

Из данных, представленных в табл 5, можно сделать вывод, что поглощение ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> сорбентом ПМВ-ГА при различных температурах подчиняется теории мономолекулярной сорбции Ленгмюра.

Кинетические модели (методы псевдо первого и псевдо второго порядка) были использованы для определения механизма сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> на сорбенте на основе ПМВ-ГА. Кинетические параметры сорбции приведены в табл 6.

**Таблица 6**  
**Кинетические параметры сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> псевдопервый порядок**

Ион	C <sub>0</sub>	q <sub>e</sub>	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	Ион	C <sub>0</sub>	q <sub>e</sub>	k <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>
	(моль/л)	(мг г <sup>-1</sup> )	(дак <sup>-1</sup> )			(моль/л)	(мг г <sup>-1</sup> )	(дак <sup>-1</sup> )	
Cu <sup>2+</sup>	0,025	110,02	0,057	0,8977	Ni <sup>2+</sup>	0,025	104,10	0,061	0,8932
	0,05	131,43	0,055	0,8796		0,05	121,52	0,053	0,901
	0,075	144,76	0,043	0,8998		0,075	132,37	0,041	0,9267
	0,1	160,31	0,041	0,9186		0,1	148,95	0,039	0,9677

псевдвторой порядок									
Ион	C <sub>0</sub> (моль/л)	q <sub>e</sub> (мг г <sup>-1</sup> )	k <sub>2</sub> (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	Ион	C <sub>0</sub> (моль/л)	q <sub>e</sub> (мг г <sup>-1</sup> )	k <sub>2</sub> (г мг <sup>-1</sup> мин <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
Cu <sup>2+</sup>	0,025	114,92	0,0046	0,936	Ni <sup>2+</sup>	0,025	106,17	0,00341	0,9273
	0,05	132,33	0,0043	0,9575		0,05	122,11	0,00319	0,9463
	0,075	147,56	0,0039	0,9459		0,075	136,89	0,00218	0,9763
	0,1	165,24	0,0024	0,9928		0,1	155,37	0,00124	0,9911

На графике процесса сорбции второго порядка в табл 6 коэффициент корреляции близок к таковому адсорбции первого порядка (R<sup>2</sup>), а значения кинетических параметров в таблице показаны с учетом упорядоченной кинетики адсорбции.

Исследовано изменение термодинамических параметров в процессах сорбции ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> из растворов при 293, 303 и 313К сорбентом ПМВ-ГА. Для этого значения ΔH, ΔS, ΔG определяли по графику зависимости LnK и 1/T в процессе сорбции в растворе. Полученные результаты представлены в табл 7, из которой видно, что сорбент ПМВ-ГА способен избирательно поглощать ионы Cu (II) и Ni (II). Приведенные данные показывают, что с повышением температуры сорбция увеличивается и протекает с уменьшением свободной энергии, энтальпии и энтропии, что свидетельствует об её ионообменном характере. Это показывает, что сорбция ионов Cu<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> сорбентом ПМВ-ГА происходит самопроизвольно.

Таблица 7

Изменение термодинамических функций при сорбции ионов Cu (II) и Ni (II) ПМВ-ГА

Ионы металлов	ΔH <sup>0</sup> (Дж/моль)	ΔS <sup>0</sup> (Дж/мольК)	ΔG <sup>0</sup> (Дж/моль)		
			293 К	303 К	313 К
Cu <sup>2+</sup>	24968,68	120,96	-6015,67	-6135,79	-6255,86
Ni <sup>2+</sup>	22964,27	107,68	-5673,54	-5712,71	-59580,8

Рентгенофлуоресцентным анализом изучена сорбция ионов меди (II) и никеля (II) на ионите (ПМВ-ГА), полученного на основе ПАН и вермикулита.

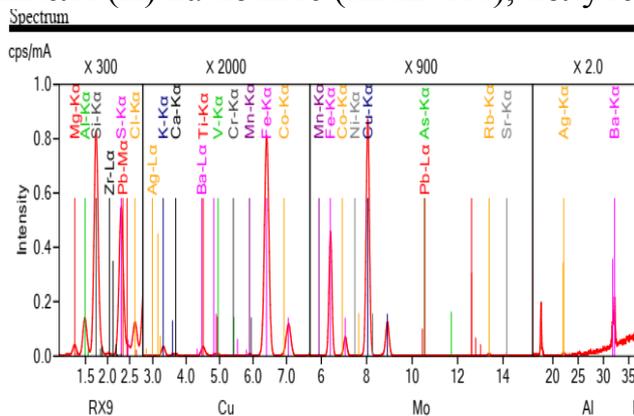


Рис 14. Спектр рентгенофлуоресцентного анализа ионов меди (II), поглощенных сорбентом ПМВ-ГА

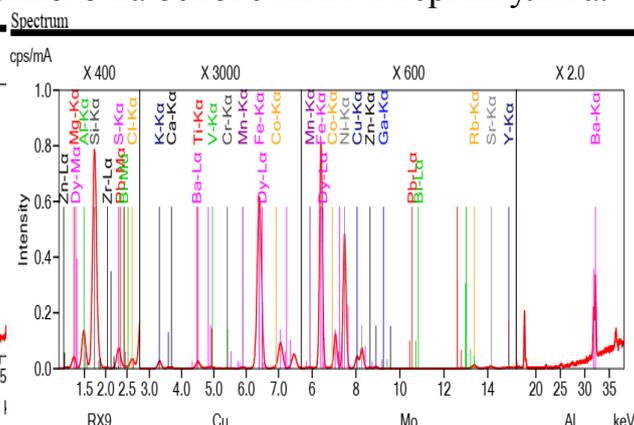


Рис 15. Спектр рентгенофлуоресцентного анализа никеля (II), поглощенных сорбентом ПМВ-ГА

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа показывают, что обмен ионов меди (II) и никеля (II) синтезированный ПМВ-ГА составил 1,92 для иона меди (II) и 1,67 % соответственно для ионов никеля (II).

Для изучения регенерационных свойств сорбента ПМВ-ГА очень важен его цикл десорбции. Влияние цикла регенерации сорбента ПМВ-ГА на динамическую обменную емкость (ДОЕ) на ионы меди (II) и никеля (II) представлено в табл 8.

**Таблица 8**

**Сорбция - десорбция сорбента ПМВ-ГА**

ДОЕ, мг/г	До десорбции	После десорбции				
		1	2	3	4	5
По Cu <sup>2+</sup>	160	159	158,3	157,5	156,8	156
По Ni <sup>2+</sup>	145	144,3	143,2	141,5	140,1	139,6

Сорбированные ионы металлов десорбировались водным раствором соляной кислоты в динамических условиях. Десорбция металлов меди и никеля составила 97,5 и 96,3 % соответственно.

Таким образом, сорбент ПМВ-ГА может быть использован при очистке сточных вод от ионов меди и никеля и концентрирования технологических растворов.

В четвертой главе диссертации «**Методы проведения химических изменений и изучения физико-химических свойств синтезированного композита**» описаны используемые реагенты, методы синтеза сорбентов, методы исследования, применяемые для изучения их физико-химических свойств.

**Выводы**

1. Величина энергии активации определена изучением кинетики ионного обмена химически модифицированного ПМВ гидроксиламином путем синтеза композиционных материалов полиакрилонитрил-малеиновой кислоты и вермикулита на основе полиакрилонитрила и вермикулита, скорость реакции зависит только от концентрации модифицирующего агента.

2. В результате изучения структуры и физико-химических свойств синтезированных ионитов выяснилось, что они имеют полиамфолитическую природу, содержат в своем составе карбоксильные, амидоксимные, отрицательные ионудерживающие группы.

3. Изучены физико-химические свойства сорбента на основе ПАН и вермикулита (ПМВ-ГА), определена его химическая и термическая стабильность, а также получены электронные микрофотографии, энергодисперсный спектр поверхности, и проведен анализ структурно-сорбционных параметров.

4. На основе изучения кинетики и термодинамики процесса сорбции ионов меди (II) и никеля (II) синтезированным полиамфолитом (ПМВ-ГА) показано, что она подчиняется теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра.

5. Сорбционно-десорбционные процессы ионов меди (II) и никеля (II) в динамических условиях проводились на синтезированном сорбенте и результаты показали, что сорбционные свойства полимафолита на практике не меняются при повторном использовании, что позволило рекомендовать его к повторному использованию.

6. Синтезированный полиамфолит (ПМВ-ГА) рекомендован для обнаружения и отделения ионов меди (II) в объектах окружающей среды и технологических материалах в ООО «Мубарекский газоперерабатывающий завод» и АО «Ферганаёмой».

**ONE-TIME SCIENTIFIC COUNCIL AT DSc.03/30.12.2019.K.01.03  
ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES NATIONAL UNIVERSITY  
OF UZBEKISTAN**

---

**FERGANA POLYTECHNIC INSTITUTE  
NATIONAL UNIVERSITY OF UZBEKISTAN**

**MAHKAMOV BUNYOD**

**OBTAINING AND PROPERTIES OF ION EXCHANGERS BASED ON  
POLYACRYLONITRILE AND VERMICULITE**

**02.00.06 - High molecular compounds**

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR  
OF PHILOSOPHY (PhD) ON CHEMICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2021**

**The title of the dissertation of Doctor of Philosophy (PhD) has been registered by the Supreme Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number of B2021.1.PhD/K211**

The dissertation has been carried out at the Fergana polytechnic institute and National university of Uzbekistan

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is available on the website at ik-kimyo.nuu.uz and on the website of «ZiyoNet» information-educational portal www.ziynet.uz.

**Scientific supervisors:** **Gafurova Dilfuza**  
Doctor of Chemical sciences, Dotsent

**Official opponents:** **Beknazarov Hasan**  
Doctor of Technical sciences, Professor

**Rustamov Makhammasidiq**  
Doctor of Philosophy in Chemistry, PhD

**Leading organization:** Tashkent Institute of Chemical Technology

Defense of the dissertation will on "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2021 at \_\_\_\_ at a meeting of the one-time Scientific Council at Scientific Council DSc.03/30.12.2019.K.01.03 at the National university of Uzbekistan. (Address: 100174, Tashkent, street Universitetical 4. Chemical faculty of the National University of Uzbekistan. Ph.: (99871)227-12-24, Fax: (99824) 246-53-21; 246-02-24. e-mail:chem0102@mail.ru)

The dissertation has been registered at the Informational Resource Centre of National University of Uzbekistan under № \_\_\_\_ (Address: 100174, 4 University street, Tashkent, National University of Uzbekistan, tel.: (99871) 246-67-71).

The abstract of the dissertation has been distributed on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 year  
Protocol at the register № \_\_\_\_\_ dated «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 year

**Z. Smanova**  
Chairman of the one-time Scientific council  
on awarding scientific degrees,  
doctor of chemical sciences, professor

**M. Makhkamov**  
Scientific secretary of the one-time Scientific  
council on awarding scientific degrees,  
doctor of chemical sciences

**M. Mukhamediev**  
Chairman of scientific seminar at  
one-time Scientific council at  
on awarding of scientific degrees,  
doctor of chemical sciences, professor

## **INTRODUCTION (abstract of doctor of philosophy (PhD) thesis)**

**The purpose of the research:** obtain ion-exchanger based on a composite material of polyacrylonitrile and vermiculite and determination of their physico-chemical properties.

**Objects of the research** are polyacrylonitrile, maleic anhydride, vermiculite mineral, hydroxylamine, metal salts.

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

for the first time the optimal conditions for obtaining an anion-exchange sorbent based on polyacrylonitrile and vermiculite have been determined;

for the first time, the optimal conditions for obtaining an anion-exchange sorbent have been determined;

it has been proved that modification has depended on the porous structure of the polyacrylonitrile-vermiculite composition and obeys the laws of the kinetics of heterogeneous processes;

as a result of physico-chemical investigations of absorption of ions copper (II) and nickel (II) in the synthesized ion-exchanger, it was found that the absorption process has carried out owing to ion exchange, and chelation;

based on the results of X-ray fluorescence analysis, it was proved that the absorption of copper (II) and nickel (II) ions by polymer composite ion exchanger is higher than that of vermiculite.

**Implementation of research results.**

Based on scientific results obtained at investigation of the physico-chemical properties of new ion-exchangers based on local raw materials of PAN and vermiculite:

the elaborated sorption-spectroscopic method was introduced into the practice of Mubarak Gas Processing Plant LLC (reference from Mubarak Gas Processing Plant LLC dated April 27, 2021, 695 / SK-04). Obtained allowed to carry out to express the determination of copper (II) ions in environmental objects and technological materials;

polymer-composite ion exchanger has been introduced into the practice of "Fergana yog moy" JSC (certificate No. 01/44 of JSC "Fergana yog moy" JSC dated January 27, 2021). As a result, copper (II) ions in technological waters were concentrated and separated from 99,75 to 99,95 %.

**The structure and volume of the thesis.**

The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, references, and an appendix. The volume of the thesis is 114 pages.

---

## ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ

### Список опубликованных работ

#### List of published works

#### I бўлим (I часть; I part)

1. Шахидова Д.Н., Орзикулов Б.Т., Махкамов Б.Г., Гафурова Д.А. Кинетика и термодинамика сорбции органических ионов полимерным сорбентом на основе полиакрилонитрила // *Universum: химия и биология*, 2019. – № 12 (67). – С. 45-50 (02.00.00. № 2).

2. Рохимбоева З.М., Махкамов Б.Г., Гафурова Д.А. Сорбция ионов тяжелых металлов из водных растворов с использованием полиакрилонитрил/вермикулита // *Universum: химия и биология*, 2021. – № 1 (79). – С. 61-65 (02.00.00. № 2).

3. Махкамов Б.Г., Шахидова Д.Н., Орзикулов Б.Т., Гафурова Д.А. Мис (II) ионларини сорбция учун комплекс ҳосил қилувчи полимер материаллар олиш // *FarDU. Ilmiy xabarlar – Научный вестник. – Фарғона*, 2019. – № 6. – Б. 25-29 (02.00.00. № 17).

4. Makhkamov B., Shaxidova D., Gafurova D. Synthesis of polyacrylonitril/vermiculite composite and its modification with hydroxyl amine // *Kompozitsion materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. – Тошкент*, 2020. – № 4. – Б. 206-208 (02.00.00. № 4).

5. Makhkamov B., Gafurov D. Synthesis ion exchange properties of new polyacrylonitrile/vermiculite composite // *FarDU. Ilmiy xabarlar – Научный вестник. – Фарғона*, 2020. – № 6. – Б. 16-20 (02.00.00. № 17).

#### II бўлим (II часть; II part)

6. Gafurova D., Makhkamov B. Removal of copper(II) in vermiculite and polyacrylonitrile/vermiculite composite // *Global and regional aspects of sustainable development Copenhagen. – Copenhagen*, 2021. – № 43. February. – P. 579-586.

7. Махкамов Б., Шахидова Д., Гафурова Д. Получение и изучение сорбционных свойств комплексообразующих ионообменных материалов на основе полиакрилонитрила / VI Международной научно-практической конференции «Наука и образование в современном мире: вызовы XXI века». Секция 2. Химические науки. – Нур-султан, 2020. – С. 81-84.

8. Makhkamov B.G., Gafurova D.A. Poliakrilonitril (PAN)/(VMT) vermiculit kompozitsion materiallarda benzol bug'i adsorbsiyasi / Международная научно-техническая конференция. Роль современной химии

и инноваций в развитии национальной экономики. – Фергана, 2021. 27-29 мая. – С. 110-111.

9. Махкамов Б.Ф., Гафурова Д.А. Махаллий хомашёлар (палиакрилонитрил/вермикулит) асосида олинган ионит / Сборник научных трудов Международной конференции «Наука и инновации» Центр передовых технологий при МИР РУз. – Ташкент, 2020. 26 ноября. 2-часть. – С. 70-71.

10. Makhkamov B., Rohimboyeva Z, Gafurova D. Receiving anionite based on poliacrylonitrile / Materials of the XVI International scientific and practical conference. Sheffield science and education ltd, 2020. April 30 – May 7. Volume 9. – P. 94-95.

11. Махкамов Б.Г., Гафурова Д.А. Полиакрилонитрил асосида ионалмаштирувчи сорбентлар олиш / Ферганский политехнический институт Международная научно-техническая конференция «Совершенствование и внедрения инновационных идей в области химии и химической технологии». – Фергана, 2020. – С. 64-67.

12. Шахидова Д.Н., Орзикулов Б.Т., Махкамов Б.Ф., Гафурова Д.А., Мухамедиев М.Г. Полиакрилонитрил анионитлар асосида мис (II) ионларига селектив бўлган поликомплексонлар олиш / «Биоорганик кимё фани муаммолари» мавзусидаги IX Республика ёш кимёгарлар конференцияси. – Наманган, 2019. 26-27 апрель. – Б. 168-170.

13. Махкамов Б.Ф., Роҳимбоева З.М., Жамолов М. Полиакрилонитрилни модификациялаб янги ион алмаштирувчи сорбентлар олиш / «Функционал полимерлар фанининг замонавий ҳолати ва истиқболлари» мавзусидаги профессор-ўқитувчилар ва ёш олимларнинг илмий-амалий анжумани материаллари. – Тошкент, 2020. – Б. 87.

14. Makhkamov B.G', Gafurova D.A. Modifikatsiyalangan poliakrilonitril / vermikulit kompozitining Cu(II) uchun adsorbsiyasi / «Кимёнинг долзарб муаммолари» номли Республика илмий-амалий анжумани материаллари тўплами. – Тошкент, 2021. 4-5 февраль. – Б. 105-106.

15. Makhkamov B.G. Poliakrilonitrilni modifikasiyalab vermikulitli ion almashinuvchi sorbent olish / Иқтидорли талабалар, магистрантлар, докторантлар ва мустақил изланувчилар илмий-амалий анжумани материаллари. – Фарғона, 2020. 24-25 апрель. – Б. 607-608.

16. Makhkamov B., Gafurova D. Vermiculite and PAO/vermiculite sorption properties of pH-dependence / «Ўзбекистонда табиий бирикмалар кимёсининг ривожига ва келажига» мавзусидаги конференция тўплами. – Тошкент, 2021. 27 май. – Б. 165-166.

17. Махкамов Б.Ғ., Махкамова Н.О., Гафурова Д.А. Полиакрилонитрилни полифункционал аминлар билан поликомплексонлар олиш / «Кимё фани ва таълимнинг долзарб муаммолари» мавзусидаги Республика илмий-амалий анжуман материаллари. – Фарғона, 2019. 29 октябрь. – Б. 31-32.

18. Махкамов В.Ғ., Махкамова Н.О. Pan/vermikulit tarkibli kompozitsion material / «Ўзбекистонда илмий-амалий тадқиқотлар» мавзусидаги Республика 15-кўп тармоқли илмий-масофавий онлайн конференция материаллари. – Тошкент, 2020. – Б. 131.