

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ФАЛСАФА  
ДОКТОРИ ИЛМИЙ ДАРАЖАСИНИ БЕРУВЧИ  
PhD.03/30.12.2019.К.02.05 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ**

**ТУРСУНОВА ГУЛНОЗА ХАМЗАЕВНА**

**ПОЛИМЕР ГЕЛЛАРНИНГ СУВЛИ ЭРИТМАЛАРДА БЎКИШ  
ЖАРАЁНИНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИ**

**02.00.04 – Физик кимё**

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

**Самарқанд-2020**

**Кимё фанлари бўйича фалсафа (PhD) доктори диссертацияси  
автореферати мундарижаси**  
**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD) по  
химическим наукам**  
**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD) on  
chemical sciences**

**Турсунова Гулноза Хамзаевна**

Полимер гелларнинг сувли эритмаларда бўқиш жараёнининг  
физик-кимёвий асослари..... 3

**Турсунова Гулноза Хамзаевна**

Физико-химические основы набухания полимерных гелей в водных  
растворах.....21

**Tursunova Gulnoza Hamzaevna**

Physical and chemical bases of polymer gels swelling in aqueous solutions... 39

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

**Список опубликованных работ**

List of published works.....42

**САМАРҚАНДДАВЛАТУНИВЕРСИТЕТИХУЗУРИДАГИФАЛСАФА  
ДОКТОРИИЛМИЙДАРАЖАСИНИБЕРУВЧИPhD.03/30.12.2019.К.02.05  
РАҚАМЛИИЛМИЙКЕНГАШ**

---

**САМАРҚАНДДАВЛАТУНИВЕРСИТЕТИ**

**ТУРСУНОВА ГУЛНОЗА ХАМЗАЕВНА**

**ПОЛИМЕР ГЕЛЛАРНИНГ СУВЛИ ЭРИТМАЛАРДА БЎКИШ  
ЖАРАЁНИНИНГ ФИЗИК-КИМЁВИЙ АСОСЛАРИ**

**02.00.04 – Физик кимё**

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

**Самарқанд-2020**

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2.PhD/K301 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд давлат университетидеда бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.samdu.uz](http://www.samdu.uz)) ва «Ziyonet» Ахборот таълим порталида ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Акбаров Хамдам Икромович**  
кимё фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Эшмаматова Нодира Бахрамовна**  
кимё фанлари доктори  
**Сидиков Абдужалол Сидикович**  
кимё фанлари доктори, профессор  
Умумий ва ноорганик кимё институти

**Етакчи ташкилот:**

Диссертация химояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги PhD.03/30.12.2019.K.02.05 рақамли Илмий кенгашнинг 2020 йил «6» 10 соат 13<sup>30</sup> даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15-уй, физика-кимё биноси, 3-қават, 305 хона. Тел.: (+99866) 239-11-40; факс: (+99866) 239-11-40; e-mail: [devonxona@samdu.uz](mailto:devonxona@samdu.uz)).

Диссертация билан Самарқанд давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (51 рақам билан рўйхатга олинган). Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 239-11-40; факс: (+99866) 239-11-40.

Диссертация автореферати 2020 йил «24» 09 да тарқатилди.

(2020 йил «24» 09 даги 7 - рақамли реестр баённомаси)



**А.М.Насимов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси т.ф.д., профессор

**Ш.М.Сайиткулов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш котиби, к.ф.н., доцент

**Р.Нормахматов**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д., доцент

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда илмий-техник тараққиётининг жадал суръатлар билан ривожланиши натижасида, саноат корхоналарида ишлаб чиқаришнинг ривожланиши ҳамда экологик муаммоларни ҳал қилишда рақобатбардош ва экологик тоза маҳсулотларни ишлаб чиқаришда замонавий технологияларни қўллаш муҳим ҳисобланади. Хусусан, сувни ишлатишда тайёрлашда, технологик эритмалар ва оқова сувларни тозалаш ва улардан қимматбаҳо ва рангли металлларни ажратиш олиш, ион алмашувчи материалларни қўллайдиган замонавий технологиялардан фойдаланишни талаб қилмоқда. Замонавий технологияларни яратишда гидрофил полимер материаллардан фойдаланиш муҳим аҳамият касб этади.

Дунёда гидрофил хусусиятли полимер материаллар метакрил кислота, винилспирт, стирол, винилхлорид каби мономерлар асосидаги ион алмашувчи полимер материалларни ишлаб чиқариш технологиялари йўлга қўйилган. Бугунги кунда турли гуруҳли полимер материалларнинг ион алмашиниш, бўқиш кинетикаси каби характеристикаларини аниқлаш, уларни физик-кимёвий хоссаларини таҳлил этиш, каталитик хоссага эга бўлган металл нанозаррачалари тутган полимер материаллар ва полимер композициялар яратиш ҳамда уларни иқтисодиётнинг истиқболли соҳаларида, жумладан, экологик мониторинг ва аралашма компонентларини ажратиш ҳамда уларни жорий қилиш бўйича илмий тадқиқотлар бажарилмоқда.

Республикамызда кимё саноати соҳасини ривожлантиришда замонавий талабларга жавоб бера оладиган янги турдаги полимер материаллар ишлаб чиқариш ва уларни амалиётга қўллашда алоҳида эътибор қаратилмоқда. Мазкур йўналишда амалга оширилган дастурий чора-тадбирлар асосида муайян натижаларга, жумладан, маҳаллий хомашёлар асосида саноат тармоқларини ривожлантириш мақсадида халқаро стандартларга жавоб бера оладиган янги турдаги полимер материаллар ишлаб чиқариш ва улардан фойдаланиш бўйича кенг қамровли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси<sup>1</sup>да «маҳаллий хомашёларни чуқур қайта ишлашни кўзда тутувчи саноатни янги сифат жиҳатдан юқорига кўтариш» ҳамда «ички ва ташқи бозорларда маҳаллий товарларнинг рақобатбардошлигини таъминлайдиган маҳсулотларнинг тубдан янги турларини ишлаб чиқаришни ўзлаштириш» га йўналтирилган муҳим вазифалар белгилаб берилган. Бу борада саноатни ион

---

Муаллиф илмий маслаҳатчиси к.ф.д., етакчи илмий ходим Н.Б.Ферапонтовга (М.В.Ломоносов номидаги МДУ, Россия) ҳар томонлама ишни ташкил этишга, олинган натижаларни муҳокамасига фаол иштирок этганлиги ва берган маслаҳатлари учун чуқур миннатдорчилик билдиришини ўз бурчи деб ҳисоблайди.

<sup>1</sup>2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича ҳаракатлар стратегияси/Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сонли Фармони.

алмашилиш жараёнига асосланган аналитик назорат ва ажратиш усуллари билан таъминлаш муҳим аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони, 2018 йил 25 октябрдаги «Ўзбекистон Республикасида кимё саноатини жадал ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги ПҚ-3983-сон, 2018 йил 17 январдаги «Мамлакат иқтисодиёти тармоқларини талаб юқори бўлган маҳсулот ва хомашё турлари билан барқарор таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида» ги ПҚ-3479-сон, 2019 йил 3 апрелдаги «Кимё саноатини янада ислоҳ қилиш ва унинг инвестициявий жозибadorлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида» ги ПҚ-4265-сон Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти натижалари муайян даражада хизмат қилади.

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

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Адабиётлар таҳлили шуни кўрсатадики, дунёнинг барча ривожланган мамлакатларида илгаридан полимер материалларнинг термодинамик ва кинетик хоссаларини ўрганишга, уларни ажратиш ва аниқлаш жараёнларида қўллашда йўналтирилган тизимли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Полимер материаллар ва қуйимолекуляр электролитлар орасидаги мувозанат ҳақидаги биринчи изланишлар Ф.Доннан, Х.Грегор, Ф.Гельферих, А.Качальский, А.Мелешко каби олимлар номи билан боғланган. Полимер материаллар эритмаларининг физик-кимёвий хоссаларини ўрганишга М.Нагасава, уларнинг бўқиш жараёнларини тадқиқ қилишда К.Танакалар катта ҳисса қўшганлар. Россияда полимер материалларни ион алмашилиш хроматографиясида қўллаш соҳасида В.Горшков, Н.Ферапонтов, Р.Хамизов, В.Иванов, В.Селеменовлар илмий изланишлар олиб борганлар. Улар полимер материаллар хоссаларини ўрганиш жараёнида ион алмашилиш термодинамикаси, ион алмашилишнинг мувозанат константасини, ионитларнинг турли валентли ионларга мойиллигини ўрганиш асосида турли табиатли полимер материалларнинг функционал гуруҳлари билан электролитлар эритмаларининг ўзаро таъсирини кўрсатиб берганлар.

Гидрофил полимер геллар, турли хил синтетик ва сунъий полимер материалларнинг физик-кимёвий хоссаларини тадқиқ қилиш бўйича ўзбек олимлари ҳам кўплаб илмий тадқиқотлар олиб борганлар. Буларга академиклардан С.Ш.Рашидова, Х.У.Усмонов, К.С.Ахмедов, А.Т.Джалилов, профессорлардан Б.Д.Кабулов, Т.М.Бабаев, М.Г.Мухамедиев, Д.А.Гафурова, А.М.Курбановларни таъкидлаш мумкин.

Шунингдек, бугунги кунгача турли аралашмалар таркибидан маъданли компонентларни мақсадли равишда ион алмашилишнинг қарши оқимли жараёнлардан фойдаланиб ажратиш ва уларни мониторингини таъминлаш

муаммолари чуқур ўрганилмаган. Биринчи ва иккинчи гуруҳ катионларининг турли хил тузларидан полимер материаллар бўқиш жараёнлари термодинамикаси ва кинетикаси тўлиқ тадқиқ қилинмаган.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Самарқанд давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг «ОТ-Ф7-84. Кимёвий сенсорларни янги авлоди учун газ сезгир материаллар синтези назарий асосларини тадқиқ этиш» мавзусидаги фундаментал (2016-2020 й) лойихаси; Самарқанд (Ўзбекистон) ва Москва (Россия) давлат университетлари ҳамкорлигида «Разработка методов получения высококачественных веществ ионным обменом, разработка технологических схем осуществления процессов очистки природных и сточных вод и испытание этих схем на установках высокой производительности» (2015-2020й.) мавзуларидаги илмий-тадқиқот дастурлари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади:** Полимер гелларнинг сувли эритмаларда бўқиш жараёнининг физик-кимёвий хоссаларини аниқлашдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

бўқиш жараёнининг баъзи термодинамик функциялари ва параметрларини ҳисоблашни кутбий гуруҳлари диссоциланадиган ва диссоциланмайдиган полимер гелларда тадқиқ этиш;

полимер материалларнинг гетерофазали физик-математикавий модели асосида бўқиш жараёнининг кинетик қонуниятларини изоҳлаш;

поливинил спирт асосида олинган полимер гелларнинг бўқиш жараёнига иккинчи гуруҳ металл хлоридлари концентрацияси ва табиатининг таъсирини аниқлаш;

гетерофазали физик-математик модели ёрдамида, тажриба натижаларини қайта ишлаш «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» ва «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастурларидан фойдаланиб, турли электролитларнинг ҳар хил концентрацияли эритмаларидан ПВС нинг бўқиш кинетикасини баҳолаш;

табiiй ичимлик сувларини тузсизлантириш, шунингдек, ион алмашилиш хроматографиясининг қарши оқим жараёнидан фойдаланиб, кўп компонентли системалар таркибидан аминокислоталарни ажратиш усулини тадқиқ этиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида поливинил спирт асосида олинган полимер гель, турли кўндаланг боғларга эга бўлган кучли, куйиасосли катионитлар ва анионитлар ҳамда баъзи кучли кислота, асос ва биринчи, иккинчи гуруҳ металл тузлари эритмалари олинган.

**Тадқиқотнинг предмети** гетерофазавий физик-математикавий модель, ион алмашилиш хроматографияси, сорбция, десорбция, бўқиш жараёнлари термодинамикаси ва кинетикаси билан изоҳланади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида оптик микрометрия, ион алмашилиш хроматографияси, аланга фотометрияси, потенциометрия, спектрофотометрия, комплексонометрия усулларидан ва тажриба

натижаларини қайта ишлаш «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1», «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастурларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

илк бор тажриба натижалари асосида кутбий гуруҳлари диссоциланадиган ва диссоциланмайдиган полимер гелларда бўкиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши ҳисобланган;

полимер материаллар бўкишининг кинетик қонуниятларини гетерофазавий физик-математикавий модель ёрдамида баҳоланган;

илк бора полимер материаллар бўкиш жараёнини иккинчи гуруҳ металл хлоридлари табиати ва концентрациясига боғлиқлиги оптик микрометрия усулида поливинил спирт асосида олинган полимер геллар учун аниқланган;

қарши оқимлион алмашиниш усулига асосланиб, табиий ва техник сувлар таркибидан ионлар ҳамда кўп компонентли системалар таркибидан аминокислоталар ажратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

ион алмашиниш хроматографиясининг қарши оқимли усули ёрдамида табиий сувларни тузсизлантиришни кучли асосли катионит ва қуйиасосли анионитларда қўллаш жараёни амалиётга тадқиқ этилган ва табиий ҳамда оқова сувларни тузсизлантириш, тозалаш, самарадорлигини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилган;

кўп компонентли системалар таркибидан лизинни ион алмашинишнинг қарши оқимли жараёнидан фойдаланиб, икки секцияли конуссимон ион алмашиниш колонкаларида тўлиқ ажратилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлиги.** Ион алмашиниш хроматографияси, оптик микрометрия, спектрофотометрия, потенциометрия, аланга фотометрияси, комплексометрия усуллари ёрдамида ва полимер гелларнинг бўкиш кинетикасининг «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1», «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастури каби тажриба натижалари олинганлиги билан асосланган. Ион алмашиниш мувозанати, полимер материалларнинг сувда ва сувли эритмаларда бўкиш кинетикаси ҳақидаги замонавий назарияларга қўлланаладиган формула ва тенгламаларни ишлатиш орқали олинган натижалар таҳлил қилинган, хулосалар чиқарилган ҳамда математик статистика усуллари билан қайта ишланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти полимер материаллар бўкишининг термодинамик ва кинетик қонуниятларини гетерофазавий, физик-математикавий модель ёрдамида баҳоланиши, бўкиш жараёнининг  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  кинетик коэффицентларини поливинил спирт асосида олинган полимер гелларга тадқиқ этилиши ва полимер материаллар бўкишининг иккинчи гуруҳ металл хлоридлари табиати ва концентрациясига боғлиқлиги оптик микрометрия усулида поливинил спирт асосида олинган полимер геллар учун аниқланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти ион алмашиниш хроматографиясининг қарши оқимли жараёнида табиий ва оқова сувларни

тузсизлантириш, тозалаш, самарадорлигини ҳисоблаш услуби ишлаб чиқилиши ва анорганик қўшимчалари бўлган аралашмалар таркибидан лизинни ион алмашилишнинг қарши оқимли жараёнидан фойдаланиб, икки секцияли конуссимон колонкаларда тўлиқ ажратилиши ва микдорий аниқланиши билан тадқиқ этилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Полимер гелларнинг сувли эритмаларда бўқиш жараёнининг физик-кимёвий хоссалари бўйича олинган илмий натижалар асосида:

табиий сувларни тузсизлантириш мақсадида ишлаб чиқилган ионалмашилишнинг қарши оқимли усули «БиоХимМак» корхонасида амалиётга жорий этилган («БиоХимМак» Россия, МДУ 2020 йил 21 майдаги 52/27-сон маълумотномаси). Натижада тузсизлантирган сув хроматографик усулда дигидрохлориднинг ажратиб олишда қўлланилган.

полимер гелларнинг сувли эритмаларда бўқишининг физик-кимёвий асосларидан А-7-23 рақамли «Маҳаллий сорбентлар ёрдамида мис ионларини оқова сувлардан ажратиб олиш технологияси» мавзусидаги амалий лойиҳада реагентсиз усулда оқова сувлар таркибидан ионларни ажратиб олишда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2020 йил 20 июлдаги №89-03-2620-сон маълумотномаси). Натижада оқова сувлардан мис ионларини ажратиб олиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари 11 та, жумладан 3 та халқаро ва 8 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 25 та илмий иш чоп этилган, шулардан, 1 та монография, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 5 таси республика ва 1 таси хорижий журналларда нашр этилган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертациянинг таркиби кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 114 бетни ташкил этган.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш қисмида** диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган, тадқиқот мақсади ва вазифалари ҳамда объект ва предметлари тавсифланган. Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари тараққиётининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Полимер сорбентлар бўқишини термодинамик ва кинетик тадқиқ этиш (адабиётлар таҳлили)**» деб номланган биринчи бобида полимер сорбентларнинг сув ёки сувли эритмаларда бўқиш жараёнини термодинамик ва кинетик жиҳатдан таҳлил қилинган. Хорижий ва

маҳаллий адабиётлар шарҳи билан бўқиш жараёнини ўрганишга бағишланган илмий-тадқиқотлар натижалари батафсил ёритилган. Назарий ва амалий натижаларнинг таҳлили асосида тадқиқотнинг мақсади, вазифалари, долзарблиги ва муҳимлиги аниқланган.

Диссертациянинг «Тадқиқот усуллари. Услубий қисм» деб номланган иккинчи бобида тажрибаларни бажариш учун керакли материаллар ва анализ усуллари кўрсатилган. Тажрибаларда қўлланилган кутбий гуруҳлари диссоциланадиган полистирол ва дивинилбензол асосида олинган кучли кислотали универсал катионит-КУ-2, полиметакрил кислотаси асосида олинган кучсиз кислотали буфер катионит-КБ-4, полистирол ва дивинилбензол асосида олинган кучли асосли анионит-АРА, қуйи асосли анионит-АН-22 лар ҳамда кутбий гуруҳлари диссоциланмайдиган поливинил спирт гели - ПВСларнинг тузилиши, уларнинг алмашилиш сиғимларини аниқлаш, сорбентлар томонидан бўқиш жараёнида сорбцияланган сув миқдорини топиш усуллари, қўлланилган ион алмашилиш колонкаларининг хусусиятлари ва ўлчамлари келтирилган.

Тикилган полиэлектродитлар гранулаларининг бўқиш жараёни кинетикасини ўрганишга доир тажрибаларни оптик микрометрия усулдан фойдаланиб олиб борилиши таъкидланган. Бу усулнинг афзалликлари кўрсатилган. Оптик микрометрик усул ёрдамида кутбий гуруҳлари диссоциланмайдиган поливинил спирт асосида олинган гелнинг сувли эритмалардан бўқиш даражасининг ўзгаришини аниқлашнинг замонавий дастурлари қайд этилган. Тажриба натижаларини қайта ишлаш «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» дастури ва тажрибавий графиклар чизиш, тенгламалар системасида полимер бўқиш кинетикасини тушунтирадиган коэффициентларни танлаш, номаълум эритма концентрациясини аниқлаш имконини берадиган «Polymer\_swelling\_kinetics5.1» дастури кўрсатилиб, бу дастурларнинг ишлаш механизми кенг ёритилган.

Диссертациянинг «Полимер сорбентларнинг сувли эритмаларда бўқиш термодинамикаси» деб номланган учинчи бобида полимер сорбентларнинг сув ёки сувли эритмалардан бўқиш жараёнининг ўзгармас босим ва ўзгармас температурада Гиббс эркин энергияси ўзгаришининг сорбцияланган сув миқдорига, полимерларнинг функционал гуруҳлари табиатига, ион кўринишига, таркибидаги ДВБ нинг миқдорига ва ташқи эритмадаги сувнинг активлигига боғлиқлиги тажрибалардан олинган натижалар асосида ҳисобланган.

Маълумки, полимер сорбентларнинг эритувчида ёки сувли эритмаларда бўқиш жараёнида Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши реал системаларда қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

$$\Delta G_{\bar{n}} = RT \ln \bar{a}_w(1)$$

бу ерда:  $\Delta G_{\bar{n}}$  - бўқиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши, R- газларнинг универсал доимийлиги, T- температура,  $\bar{a}_w$  – полимер сорбент фазасидаги сорбцияланган сув активлиги.

Агар сув учун полимер сорбентларда ва эритмада стандарт ҳолат бир хил бўлса, у ҳолда сувнинг активлиги ҳар иккала фазада бир хил бўлади

$\bar{a}_w = a_w$  ва бундай ҳолда бўкиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши куйидагича ифодаланади:

$$\Delta G_{\bar{n}} = RT \ln a_w = RT \phi \ln N_w = RT \phi \ln(1 - N_{AX}) = RT \phi \ln \left( 1 - \frac{vm}{\left(\frac{1000}{M_w}\right) + vm} \right) \approx RT \phi \ln \left( 1 - \frac{vmM_w}{1000} \right) (2)$$

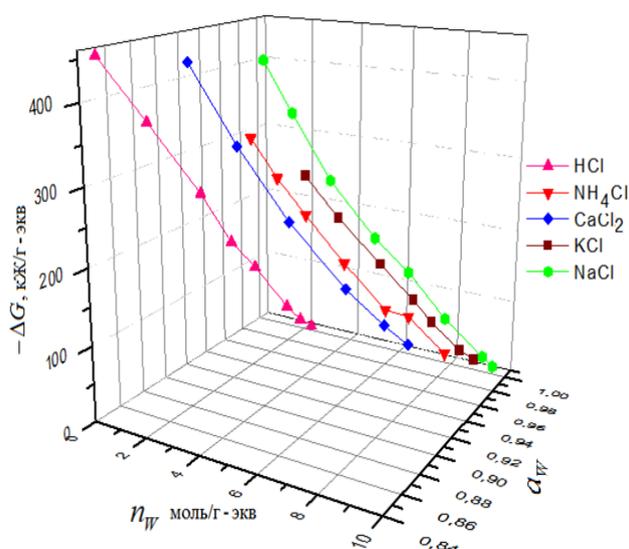
бу ерда:  $m$ -эритманинг моляль концентрацияси,  $\phi$ -эриган модданинг моляль осмотик коэффиценти,  $M_w$ -эритувчининг молекуляр массаси,  $v$ -эриган модда молекуласидаги ионлар сони.

Бўкиш жараёнида Гиббс эркин энергияси ўзгаришининг полимер сорбентнинг қарши ионига ва мувозанатда турган эритма концентрациясига ҳамда эритмадаги коионларга боғлиқлиги катионит КБ-4 мисолида ўрганилди. Бунинг учун дастлаб динамик равишда катионитнинг турли ион шаклларидаги алмашиниш сиғимлари аниқланди. Олинган натижалар 1-жадвалда келтирилган. Сўнгра тажрибаларда олинган натижалардан фойдаланиб 2-формула ёрдамида бўкиш жараёнининг Гиббс эркин энергияси ўзгариши ҳисобланди. Ҳисоблаш натижалари 1-расм ва 2-жадвалда келтирилган.

1-жадвал

### Катионит КБ-4 нинг солиштирма катталиклари

Ион шакли	E/m <sub>AR</sub> , мг-экв/г	E/V <sub>AR</sub> , мг-экв/л	ρ <sub>и</sub> , г/мл
H <sup>+</sup>	9,116	12,560	1,378
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7,846	12,458	1,588
Na <sup>+</sup>	7,583	16,528	2,180
K <sup>+</sup>	6,714	14,064	2,095
Ca <sup>2+</sup>	7,758	16,276	2,098



1-расм. Катионит КБ-4нинг турли концентрацияли хлорид кислота, натрий, калий, аммоний ва кальций тузлари эритмаларидан бўкиш жараёнида Гиббс эркин энергияси ўзгаришининг сорбцияланган сув миқдорига ва мувозанатдаги эритма таркибидаги сувнинг активлигига боғлиқлиги.

Сувнинг сорбцияси жараёнида Гиббс эркин энергиясининг қиймати катионитнинг қарши ионлари табиатига, сорбцияланган сув миқдорига ва мувозанатдаги эритма таркибидаги сувнинг активлигига боғлиқлиги 1-

расмда келтирилган. 1-расмдан кўринадики, мувозанатдаги эритма таркибидаги сувнинг активлиги қанчалик кичик бўлса, сувнинг сорбцияси жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши шунчалик кичик қийматга эга бўлади.

2-жадвал

Тажриба натижалари асосида ҳисобланган қийматлар

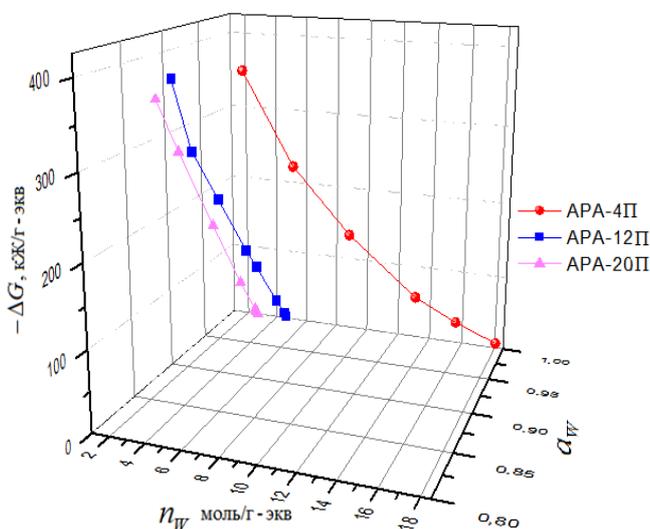
T/p	1	2	3	4	5	6	7	8
КБ-4-NaCl								
$a_w$	0,992	0,984	0,956	0,925	0,906	0,875	0,846	0,828
$n_{H_2O}$	9,7	9,5	8,8	8,3	7,7	7,2	7,0	6,8
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	19,81	39,62	111,44	193,16	245,16	329,36	416,03	475,15
КБ-4-NaOH								
$a_w$	0,988	0,974	0,952	0,925	0,908	0,888		
$n_{H_2O}$	9,8	8,7	8,0	7,7	7,4	7,1		
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	29,71	64,39	159,44	193,16	239,22	294,69		
КБ-4-KCl								
$a_w$	0,992	0,982	0,960	0,946	0,922	0,895	0,874	
$n_{H_2O}$	9,0	8,7	8,2	7,9	7,4	6,8	6,4	
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	26,18	44,57	99,06	138,68	200,59	272,40	331,83	
КБ-4-KNO <sub>3</sub>								
$a_w$	0,996	0,992	0,984	0,972	0,966	0,952	0,944	
$n_{H_2O}$	8,9	8,5	7,9	7,7	7,6	7,5	7,4	
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	17,12	19,87	39,62	69,34	86,67	121,34	141,15	
КБ-4-Ca <sup>2+</sup>								
$a_w$	0,990	0,975	0,952	0,904	0,865	0,834		
$n_{H_2O}$	6,6	6,1	5,3	4,8	4,3	4,2		
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	24,76	61,91	126,30	247,64	359,08	460,61		
КБ-4-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>								
$a_w$	0,990	0,975	0,962	0,934	0,904	0,882	0,864	
$n_{H_2O}$	8,0	7,0	6,5	5,8	5,4	5,2	5,0	
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	24,71	82,72	99,06	179,54	260,02	316,98	371,46	
КБ-4+H <sup>+</sup>								
$a_w$	0,995	0,990	0,982	0,954	0,932	0,908	0,866	0,832
$n_{H_2O}$	2,5	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1
$-\Delta G$ , кЖ/Г-ЭКВ	12,38	24,78	46,52	128,77	179,54	261,42	375,26	460,85

Бўкиш жараёнида Гиббс эркин энергияси ўзгариши полимер сорбентларнинг кўндаланг боғлар миқдорига боғлиқлигини ўрганишга доир тажрибалар колонкали усулда динамик равишда полистирол ва дивинилбензол асосида олинган кучли асосли анионит АРА ёрдамида олиб борилди. Тажрибаларда таркибида кўндаланг боғлар миқдори 4, 12 ва 20 % бўлган анионитлар ишлатилди. Олинган натижалардан фойдаланиб, 2-формула ёрдамида анионит томонидан сувнинг сорбцияси жараёнининг Гиббс эркин энергияси ўзгариши аниқланди. Ҳисобланган қийматлар 2-расмда ва 3-жадвалда келтирилган. Сувнинг сорбцияси жараёнининг Гиббс эркин энергияси қийматининг ўзгариши анионитнинг қарши ион кўришига ва сорбцияланган сув миқдорига боғлиқлигини 2-расм кўрсатиб турибди.

3-жадвал

### Тажриба натижаларидан ҳисобланган қийматлар

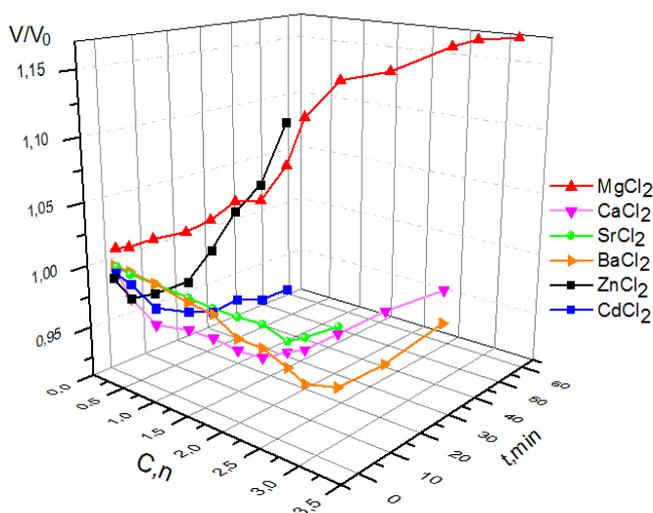
T/p	1	2	3	4	5	6	7
АРА-4П							
$C_{,H}$	0,01	0,12	0,51	1,03	2,05	4,00	
$n_{H_2O}$	18,9	18,1	15,9	13,8	10,8	7,6	
$-\Delta G, \text{кЖ/Г-ЭКВ}$	0	9,91	42,10	81,72	179,54	401,17	
$a_w$	1,000	0,996	0,983	0,967	0,930	0,850	
АРА-12П							
$C_{,H}$	0,09	0,22	0,60	1,50	2,00	3,02	4,10
$a_w$	0,998	0,995	0,985	0,960	0,948	0,917	0,890
$n_{H_2O}$	4,63	4,59	4,45	4,05	3,86	3,40	3,03
$-\Delta G, \text{кЖ/Г-ЭКВ}$	4,96	12,38	37,15	101,53	131,25	214,44	287,23
АРА-20П							
$C_{,H}$	0,05	0,10	0,26	0,77	1,68	2,60	3,10
$a_w$	1,000	0,998	0,996	0,974	0,934	0,891	0,866
$n_{H_2O}$	2,65	2,64	2,61	2,49	2,36	2,21	2,12
$-\Delta G, \text{кЖ/Г-ЭКВ}$	0	4,96	9,86	64,52	168,39	284,78	356,61



2-расм. Кўндаланг боғлар миқдори 4, 12 ва 20 % бўлган анионит АРА нинг нитрат шаклида турли концентрацияли  $NH_4NO_3$  эритмаларидан бўкиш жараёнида Гиббс энергияси ўзгаришининг сорбцияланган сув миқдорига ва мувозанатдаги эритма таркибидаги сувнинг активлигига боғлиқлиги.

Диссертациянинг «ПВС гелининг бўқиш кинетикасини физик-математикавий модель ёрдамида тадқиқ этиш» деб номланган тўртинчи бобида поливинил спирт гелининг бўқиш даражасига электролит концентрацияси ва табиати, шунингдек сув активлигининг боғлиқлигини ўрганиш қайд этилган. Поливинил спирт гелининг сувли эритмаларда бўқиши оптик микрометрия усулида ўрганилди.

Дастлаб ПВС нинг турли концентрацияли иккинчи гуруҳ металл хлоридлари эритмаларидан бўқишини ўрганишга доир тажрибалар олиб борилди. Тажрибаларда диаметрлари 0,35 дан 1,05 мм.гача бўлган сферик шаклдаги поливинил спирт гранулалар ишлатилиб, иккинчи гуруҳ металл хлоридларининг эритмалари эса 0,10 н.дан 3,0 н гача оралиқларда олинди. Полимер гранулалари берилган концентрацияли муайян электролитнинг эритмаларида ўтказилиб, 1-2 соат давомида ушланди. Полимер гранулалари ва берилган концентрацияли муайян электролитнинг эритмаси орасида мувозанат қарор топгандан сўнг, гранулаларнинг эритмадаги ҳажмий ўзгариши топилди. Тажриба натижаларидан фойдаланиб, ПВС гелининг иккинчи гуруҳ металл хлоридлари эритмаларида бўқишини мувозанатдаги эритма концентрациясига ва вақтга боғлиқлиги аниқланди. Олинган натижа 3-расмда келтирилган.



**3-расм. ПВС гелининг иккинчи гуруҳ металл хлоридларида бўқиш жараёни мувозанатдаги эритма концентрациясига ва вақтга боғлиқлиги.**

Иккинчи гуруҳ катионлари учун полимернинг бўқиш даражасига ҳар бир электролит эритмаси алоҳида таъсир этишини 3-расм кўрсатади. Бундай натижанинг сабаби ПВС гелининг қутбий гуруҳлари ўзига хос хусусиятга эгаки, натижада полимер гел ва мувозанатдаги электролит эритмаси орасида ҳеч қандай кимёвий таъсир бўлмайди, ПВС ҳажмининг ўзгариши полимер гел ва сув ёки полимер гел ва мувозанатдаги эритма таркибидаги эриган модда орасида турли хил координацион, водород боғлар ҳосил бўлиши орқали содир бўлади.

Олинган натижалардан қуйидагиларни таъкидлаш мумкин: биринчидан, магний катионининг барча концентрацияларида ва рух ионининг юқори концентрацияларида гелнинг эритмалардаги бўқиш даражаси сувдагига нисбатан юқори қийматга эга бўлади. Иккинчидан, магний катионидан ташқари барча асосий гуруҳча ва ёнаки гуруҳча

катионларида гелнинг нисбий ҳажмий бўкишининг мувозанатдаги эритманинг концентрациясига боғлиқлиги минимум орқали ўтади. Учинчидан, гелнинг бўкиш даражасига катионлар ион радиусларининг таъсири кучлироқ кўринади, яъни ион радиус қанчалик кичик бўлса, полимернинг бўкиш даражаси шунчалик юқори бўлади. Шунингдек олинган натижалардан кўринадики, ёнаки гуруҳ катионлари  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  лар учун ҳам боғлиқлик шундай бўлади. Ундан ташқари, тажрибаларда олинган натижалардан кўринадики, полимер гел ва мувозанатдаги эритма орасида ҳосил бўладиган турли хил координатсион боғлар, водород боғларнинг ҳосил бўлиши ПВС гели ҳажмининг ўзгаришига катта таъсир кўрсатади. Бу натижалар иккинчи гуруҳ катионларининг полимер гел билан ўзаро таъсири юқори эканлигини кўрсатади.

Қилинган хулосалар асосида гетерофазали физик-математик модели ёрдамида, тажриба натижаларини қайта ишлаш «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» ва «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастурларидан фойдаланиб, турли электролитларнинг ҳар хил концентрацияли эритмаларидан ПВС нинг бўкиш кинетикасини ўрганиш, ҳар бир алоҳида олинган модда эритмаси учун моделнинг характеристик коэффицентларини аниқлашга доир тажрибалар ўтказилди. Шу тажрибалардан олинган натижаларнинг баъзилари қуйида келтирилган.

ПВС томонидан  $NaHCO_3$  нинг 0,10, 0,25, 0,40 ва 0,50 моль/л эритмаларидан бўкиш жараёни кинетикасини ўрганишга доир тажрибалар оптик микрометрия усули ёрдамида бажарилди. Сорбент сифатида сувда бўккан сферик шаклдаги ПВС гранулалари ишлатилиб, уларнинг диаметри  $0,76 \pm 0,01$  мм.ни ташкил этди. Юқори аниқликка эга бўлиш учун тажрибалар тўрт мартадан такрорланди. Тажриба натижаларининг дастур ёрдамида ҳисобланган қийматлари 4–жадвалда келтирилган. Олинган натижаларнинг ўртача қийматларидан фойдаланиб, гетерофазали кинетик моделнинг  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  ва  $p$  кинетик коэффицентлари ҳисобланди. Худди шундай усулда натрий гидрокарбонатнинг бошқа концентрацияли эритмалари билан тажрибалар ўтказилди. Тажрибаларда олинган натижалар асосида ва ҳисоблаб аниқланган кинетик коэффицентлар ёрдамида ҳар бир концентрация учун назарий эгри чизиклар тузилди. Муайян концентрацияли эритмадан ҳисобланган қийматлар 5-жадвал ва бўкишнинг назарий эгри чизиклари 4-расмда келтирилган.

#### 4-жадвал

#### $NaHCO_3$ эритмалари учун аниқланган кинетик коэффицентлар

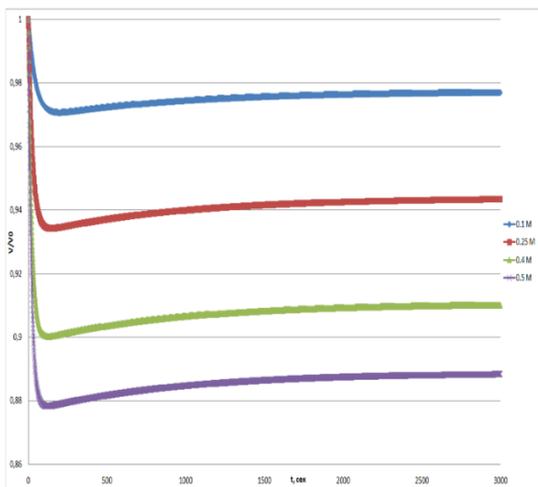
$k_1, 10^{-5} \text{ м/с} \cdot (\text{л/моль})^{1/3}$	6,34
$k_2, 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	0,11
$k_3, (\text{л/моль})^{1/2}$	6,05
$p, \text{ л/моль}$	0,210

**Тажриба натижаларини «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастури ёрдамида ҳисобланган қийматлари.**

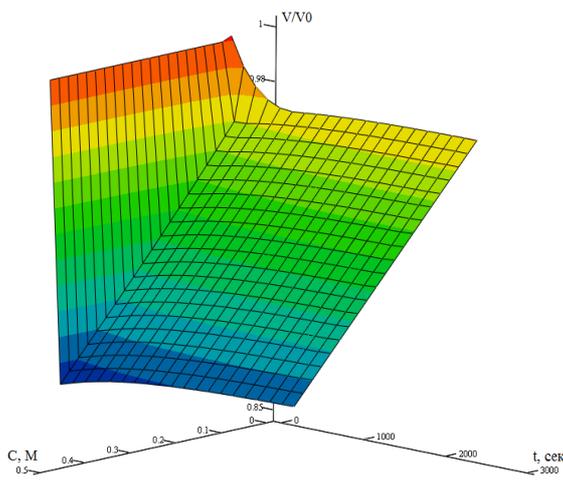
$C_{\text{тайёрланган}}$ МОЛЬ/Л	$C_{\text{аник}}$ МОЛЬ/Л	$T_{\text{ўлчанг}}$ сек	$\delta$ , %	$\max\Delta$ , %	$\sigma$ , %
0,50±0,01	0,50	120	0,00	0,35	0,18
	0,50	300	0,00	0,43	0,21
	0,51	600	2,00	0,65	0,20
	0,51	900	2,00	0,65	0,17
	0,51	1200	2,00	0,54	0,16
	0,50	1800	0,00	0,43	0,18
	0,50	3000	0,00	0,43	0,15
0,40±0,01	0,37	120	-7,50	1,62	0,41
	0,38	300	-5,00	1,38	0,35
	0,39	600	-2,50	1,22	0,37
	0,40	900	0,00	1,13	0,36
	0,40	1200	0,00	1,13	0,35
	0,40	1800	0,00	1,13	0,33
	0,40	3000	0,00	1,13	0,29
0,25±0,005	0,27	120	8,00	1,46	0,55
	0,26	300	4,00	1,65	0,39
	0,25	600	0,00	1,75	0,29
	0,25	900	0,00	1,75	0,25
	0,25	1200	0,00	1,83	0,22
	0,25	1800	0,00	1,83	0,18
	0,25	3000	0,00	1,83	0,15
0,10±0,002	0,13	120	30,00	0,88	0,41
	0,11	300	10,00	1,10	0,35
	0,11	600	10,00	1,17	0,28
	0,10	900	0,00	1,24	0,26
	0,10	1200	0,00	1,24	0,24
	0,10	1800	0,00	1,24	0,22
	0,10	3000	0,00	1,31	0,18

Натрий гидрокарбонатнинг турли концентрацияли эритмаларидан олинган кинетик эгри чизиклар ёрдамида уч ўлчамли сирт юза массиви график равишда тузилди (5-расм) ва бу сирт юза бўкиш жараёнининг кинетик эгри чизиғини билган ҳолда номаълум эритманинг концентрациясини аниқлаш имконини кўрсатади. Олинган натижалар таҳлилидан қуйидагиларни таъкидлаш мумкин: эритма концентрацияси ортиши билан полимер гель бўкиш жараёнининг мувозанатга келиш вақти ўзгармайди (3000 сек атрофида), шунингдек эритма концентрацияси ортиши билан мувозанатдаги нисбий ҳажмнинг қиймати камаяди. Ундан ташқари

бўкиш жараёнининг мувозанат ҳолатига яқин бўлган соҳаларида  $\delta$  нинг қиймати 0,5% дан ошмайди, бу натижа эса қўлланган усулнинг берилган электролитнинг кенг соҳадаги концентрацияларини аниқлашда сезгирлиги юқори эканлигини кўрсатади, ўртача квадратик четланиш ( $\sigma$ ) нинг қиймати эса 1% дан ошмайди, бу эса полимер гелларнинг бўкиш кинетикасини ўрганишда оптик микрометрия усулини қўллаш юқори натижа беришини кўрсатади.

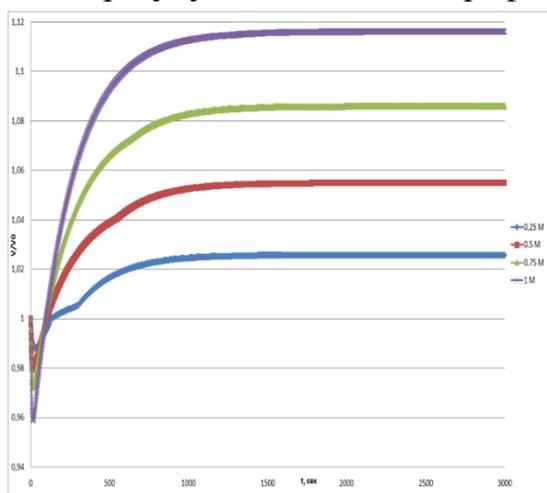


**4-расм. NaHCO<sub>3</sub> нинг турли концентрацияли эритмаларидан ҳисоблаб тузилган бўкиш жараёнининг назарий кинетик эгри чизиқлари.**

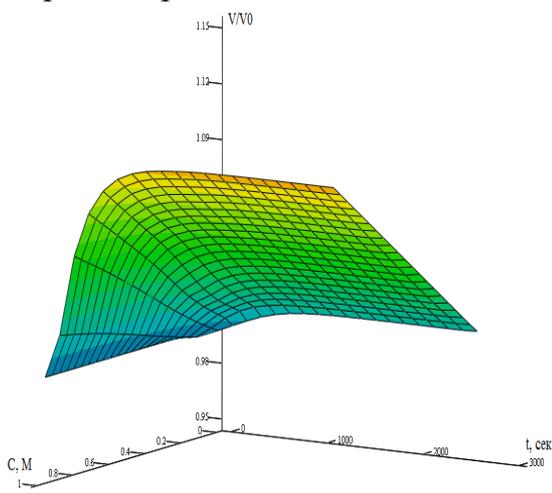


**5-расм. NaHCO<sub>3</sub> эритмаларидан ПВСни бўкиш жараёнининг 3D-юза кўриниши.**

Худди шундай тажриба ва ҳисоблашлар бошқа электролитларнинг турли концентрацияли эритмаларида ҳам ўтказилди. Олинган натижалар диссертацияда тўлиқ муҳокама этилган. Қуйидаги 6 ва 7-расмларда NaI эритмалари учун ҳисобланган графиклар келтирилган.



**6-расм. NaI нинг турли концентрацияли эритмаларидан ҳисобланган назарий кинетик эгри чизиқлар.**



**7-расм. Турли концентрацияли NaI эритмаларидан ПВСнинг бўкиш жараёнининг сирт юза кўринишлари.**

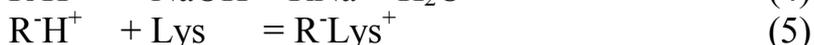
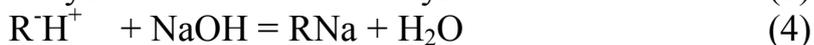
Повинил спирт асосида олинган полимер материалларнинг бўкиш жараёнида ўрганилган ҳар бир эриган модда табиати ва концентрацияси

билан ўзига хос равишда таъсир этиши 5 ва 7-расмлардаги сирт юзалардан кўриниб турибди. Шунинг учун турли моддалар эритмаларининг концентрацияларини аниқлашда ПВС асосида олинган материалларни сезгир сорбентлар сифатида қўллаш тавсия этилади, чунки ПВС полимери тикилган полиэлектродитлардан фарқ қилиб ион алмашилиш реакциясига кирмайди, шунингдек эритма таркибидаги компонентлар билан ўзаро таъсирлашмайди.

Диссертациянинг «**Полимер сорбентлар ёрдамида аралашмаларни ажратиш**» деб номланган бешинчи бобида ион алмашилишнинг қарши оқимли ҳаракат ва ионит-экстракцион усуллардан фойдаланиб табиий сувларни тузсизлантириш ва кучли электродитлар аралашмаларини ажратишга бағишланган тажрибалар тўлиқ ёритиб берилган.

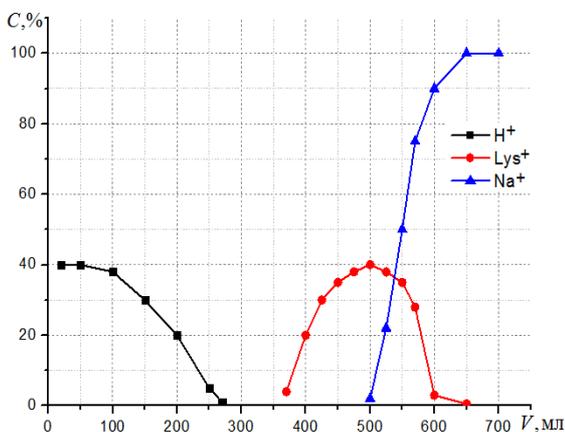
Ион алмашилишнинг қарши оқимли усулидан фойдаланиб Орол атрофи худудидаги (Ургенч, Хонқа, Хива, Нукус шаҳарлари ичимлик сувлари) табиий ичимлик сувларини тозалаш, тузсизлантиришга доир тажрибалар ўтказилди. Олинган натижалардан кўринадикки, иккита кетма-кет уланган конуссимон ион алмашилиш колонкаларидан фойдаланиб, ион алмашилишнинг қарши оқимли ҳаракат усулида КУ-2x8 ва АН-22 маркали ионитларни ишлатиб, табиий ичимлик сувларини тўлиқ деминерализация қилиш мумкин. Натижада табиий сув икки ва кўп зарядли ионлардан тўлиқ тозаланади. Шунингдек, сувни тозалаш ва юмшатиш жараёнларида қарши оқимли ускуналардан фойдаланиш регенерация учун сарфланадиган реагентлар миқдорини кескин камайтириш имконини беради.

Ундан ташқари кучсиз кислотали буфер катионит КБ-4дан фойдаланиб таркибида лизин ва аорганик моддалар бўлган аралашмадан қарши оқимли усулидан фойдаланиб лизин ажратиб олинди. Бунинг учун ион алмашилиш колонкасидаги катионит КБ-4нинг суспензияси аралаш  $\text{Na}^+ - \text{H}^+$  кўринишига келтирилди ва колонка орқали 5мл/мин тезлик билан лизиннинг 40 г/л концентрацияли эритмаси ўтказилди. Эритманинг рН кўрсаткичи 3,5 га келтирилди. Колонкага лизин эритмаси юборилгандан сўнг, катионит орқали натрий гидроксиднинг концентранган эритмаси ўтказилиб, лизин десорбцияланди. Бундай ишлов берилгандан сўнг катионит натрий-лизин-водород кўринишидаги аралаш ҳолатга келади. Натрий гидроксид эритмаси билан таъсирлашганда колонка ичида қуйидаги реакциялар содир бўлади:



Бу реакциялар натижасида натрий гидроксид эритмасининг тўлиқ деминерализацияланиши содир бўлади. Реакциялар натижасида ҳосил бўлаётган сув колонка бўйлаб десорбцияланаётган лизин соҳасидан олдинда бўлади ва ўз оқимида катионитни аралашмадан тозалаб боради. Бу жараён эса колонкада ҳосил бўлаётган лизин соҳасини барқарор бўлишига олиб келади, чунки реакция асосида катионитдан десорбцияланаётган лизин қайта зарядланиб, катионитнинг водород кўриниши орқали 5-реакция асосида яна сорбцияланади. Бу ҳодиса колонна бўйлаб сувнинг ва лизиннинг турли тезликда ҳаракатланишига олиб келади. Натижада катионитнинг ювиш

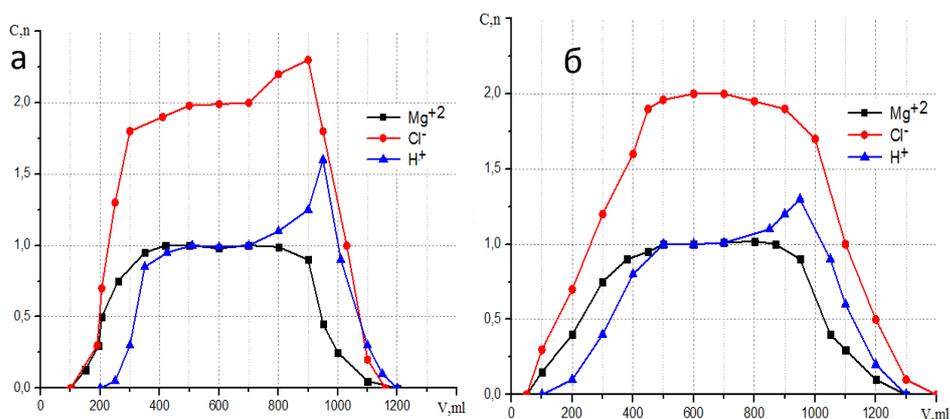
босқичининг сифатли ўтишини ва десорбцияланиш соҳасида лизин концентрациясининг ошишига имкон яратади. Бу эса лизиннинг тўйинган эритмасини маҳсулот сифатида олишга келтиради. Келтирилган ҳар учала реакцияларда мувозанат ўнг томонга силжиган бўлади. Шунинг учун колонка бўйлаб ион алмашилиш жараёнларида стационар соҳалар ҳосил бўлади. Олинган натижалардан бири 8-расмда келтирилган.



**Расм-8. Катионит КБ-4 нинг аралаш натрий-лизин-водород кўринишидан натрий гидроксид эритмаси билан лизинни десорбцияланиш жараёнининг чиқиш эгри чизиқлари.**

Олинган эритма таркибидаги лизин концентрацияси 16-18 марта ошди ва катионит лизин бўйича максимал солиштирма сиғимга эга бўлди. Шунингдек, катионит КБ-4 матричасига органик бирикмалар деярли сорбцияланмайди, бу эса катионитни ювиш босқичида сувни кам сарфланишига олиб келди. Ундан ташқари лизинни десорбцияси жараёнида ажралиб чиқаётган сув катионитни аралашмадан ювиш жараёнига етарли бўлди.

Шунингдек, ионит-экстракцион усулдан фойдаланиб аралашмалар таркибидан электролитларни ажратишда колонка орқали аралашма оқимининг ўтиш ҳажмий тезлиги ажратиш самарадорлигига боғлиқлигини ўрганиш учун тажрибалар ўтказилди. Тажрибалар 800 мл бўлган кучли асосли анионит АРА-12 суспензияси ва бир хил таркибга ҳамда концентрацияга эга бўлган  $MgCl_2$  ва  $HCl$  эритмалари аралашмаси билан ҳажмий тезликлари 4 дан 16 мл/мин.гача оралиғида олиб борилди. Натижалар 9-расмда келтирилган.



**Расм-9. Кучли асосли анионит АРА-12нинг  $Cl^-$  кўринишида  $MgCl_2-HCl$  эритмалари аралашмаларини ажратиш эгри чизиқлари, аралашманинг колонкадан ўтиш тезлиги (а) 4 мл/мин; (б) 10 мл/мин.**

Олинган натижаларнинг таҳлили сорбцияланиш жараёни турғун ва турғун бўлмаган соҳалар орқали боришини кўрсатди. Ажратиладиган аралашма унумини ошириш ва элюент вазифасини бажарувчи сувни тежаш учун келтирилган анионитнинг муайян ҳажмдаги суспензиясида ажратишни 4 мл/мин ҳажмий тезлик билан ўтказиш мақбул шароит ҳисобланди.

Кучли электролитлар аралашмасини ионит-экстракцион усулда ажратиш ва табиий, оқова сувларни қарши оқимли усулда тозалашдан олинган натижалар амалда «БиоХимМак» (Россия) корхонасида қўлланилган.

## ХУЛОСАЛАР

1. Полимер сорбентларнинг ҳар хил концентрацияли турли электролитлар эритмаларида бўқиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши кутбий гуруҳлари диссоциланадиган (КБ-4, АРА) ва диссоциланмайдиган (ПВС) геллар учун ҳисобланди.

2. Бўқиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши полимер сорбентларнинг қарши ионларига ва мувозанатда турган эритма концентрациясига тўғри пропорционал равишда боғлиқлиги ва эритмадаги коионларга боғлиқ эмаслиги тажриба натижаларида қайд этилди.

3. Анионит АРА томонидан сорбцияланган сув миқдори ва бўқиш жараёни Гиббс эркин энергиясининг ўзгариши полимер сорбентнинг кўндаланг боғлар миқдорига тўғри пропорционал равишда боғлиқлиги кўрсатилди.

4. Иккинчи гуруҳ катионлари хлоридлари учун ПВС гелининг бўқиш даражасига ҳар бир электролит эритмаси алоҳида таъсир этиши тажрибаларда кўрсатилди. Натижада ПВС ҳажмининг ўзгариши полимер гел ва сув ёки полимер гел ва мувозанатдаги эритматаркибидаги эриган моддалар орасида водород ва турли хил координацион боғлар ҳосил бўлиши орқали содир бўлиши қайд этилди.

5. Полимер сорбент тузилишининг гетерофазали физик-математик модели ёрдамида, тажриба натижаларини қайта ишлаш «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» ва «Polymer\_swelling\_kinetics 5.1» дастурларидан фойдаланиб,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{LiCl}$  ва  $\text{NaI}$  тузларининг турли концентрацияли эритмаларидан ПВСнинг бўқиш жараёни кинетикаси ўрганилди. Натижалар асосида алоҳида олинган электролит эритмаси учун моделнинг кинетик коэффицентлари ҳисобланади ва бўқишнинг кинетик эгри чизиклари ёрдамида уч ўлчамли сирт юзалар тузилади.

6. Кетма-кет уланган иккита колонкалардан фойдаланиб, ион алмашилиш хроматографиясининг қарши оқимли усулида кучли кислотали катионит КУ-2х8 ва кучсиз асосли анионит АН-22 лар ёрдамида табиий ичимлик сувларини тўлиқ деминерализация қилишга эришилди ва олинган натижалар «БиоХимМак» корхонасида жорий этилди. Натижада тузсизлантирган сув хроматографик усулда дигидроқверцетинни ажратиш олишда қўлланилади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/30.12.2019.K.02.05 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ ПРИ  
САМАРКАНДСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**  

---

**САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ТУРСУНОВА ГУЛНОЗА ХАМЗАЕВНА**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАБУХАНИЯ  
ПОЛИМЕРНЫХ ГЕЛЕЙ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ**

**02.00.04 – Физическая химия**

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

**Самарканд – 2020**

**Тема диссертации доктора философии (PhD) по химическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2020.2.PhD/К301.**

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

Автореферат диссертации на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице по адресу [www.samdu.uz](http://www.samdu.uz). и информационно-образовательном портале «Ziyonet» по адресу [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Научный руководитель:**

**Акбаров Хамдам Икрамович**  
доктор химических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Эшмаматова Нодира Бахрамовна**  
доктор химических наук  
**Сидиков Абдужалол Сидикович**  
доктор химических наук, профессор

**Ведущая организация:**

Институт общей и неорганической химии

Защита диссертации состоится « 6 » 10 2020 г. в 13<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.12.2019.K.02.05 при Самаркандском государственном университете. (адрес: 140104, г.Самарканд, ул.Университетский бульвар 15, физико-химический корпус, 3-этаж, 305- аудитория. Тел.: (+99866)239-11-40, факс:(+99866) 239-11-40; E-mail: [devonxona@samdu.uz](mailto:devonxona@samdu.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (зарегистрирован за № 51). Адрес 140104, г. Самарканд, ул. Университетский бульвар, Тел.: (+99866) 239-11-51.

Автореферат диссертации разослан « 24 » 09 2020 года.  
(реестр протокола рассылки № 7 от « 24 » 09 2020 года).



**А. М. Насимов**  
Председатель научного совета по  
присуждению учёных степеней,  
д.т.н., проф.

**Ш.М. Сайиткулов**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению учёных степеней, к.х.н., доц.

**Р.Нормахматов**  
Председатель научного семинара при научном  
совете по присуждению учёных степеней,  
д.т.н., доцент

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире в результате развития научно-технического процесса, развития производства на промышленных предприятиях, а также решения экологических проблем разработка конкурентоспособной и экологически чистой продукции с применением современных технологий является актуальной задачей. В частности, использование ионообменных и гидрофильных полимерных материалов при создании современных технологий извлечения драгоценных и цветных металлов из техногенных растворов, очистке сточных вод имеют важное значения.

Во всём мире наложена технология производства ионообменных гидрофильных полимерных материалов на основе таких мономеров, как метакриловая кислота, виниловый спирт, стирол, винилхлорид. На сегодняшний день проводятся исследования по изучению ионообменных свойств и кинетике набухания полимерных материалов, детальный анализ физико-химических свойств, получению полимерных материалов с каталитическими свойствами, содержащих металлические наночастицы, и создание полимерных композиций с последующим внедрением их в перспективные области промышленности, в частности, экологическом мониторинге и по разделению компонентов смесей.

В Республике придаётся особое значение для развития химической промышленности, разработки новых видов полимерных материалов и их применения на практике. В этом направлении в результате проведенных исследований достигнуты определенные успехи, а именно в разработке технологий получения новых полимерных материалов на основе местного сырья и внедрению их в практику в качестве замены импортируемых материалов. В Стратегии действия по дальнейшему развитию Республики Узбекистан<sup>1</sup> намечены задачи по «производству готовой продукции с высокой добавленной стоимостью на базе глубокой переработки местных сырьевых ресурсов, освоению выпуска принципиально новых видов продукции и технологий, обеспечению на этой основе конкурентоспособности отечественных товаров на внешнем и внутреннем рынках». В связи с этим огромное значение придаётся обеспечению промышленности методами разделения ионообменных процессов и аналитическим контролем.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указом Президента Республики Узбекистан УП-49-47 от 7 февраля 2017 года «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», Постановлениями Президента Республики Узбекистан от 25 октября 2018

---

Автор считает своим долгом выразить искреннюю признательность научному консультанту д.х.н., вед. науч. сотр. Феропонтову Н.Б. (Россия МГУ им.М.В.Ломоносова) за ценные консультации и активное участие в обсуждении результатов, всестороннюю помощь в организации работы.

<sup>1</sup>Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан»

года №3983 «О мерах по ускоренному развитию химической промышленности Республики Узбекистан», от 17 января 2018 г. №3479 «О мерах по стабильному обеспечению отраслей экономики страны востребованными видами продукции и сырья», от 3 апреля 2019 года №ПП-4265 «О мерах по дальнейшему реформированию и повышению инвестиционной привлекательности химической промышленности», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Анализ литературных данных показывает, что в мире учеными развитых стран проводятся научные исследования по изучению термодинамических и кинетических свойств полимерных материалов и их применению в процессах разделения и извлечения. Первые исследования о равновесии между полимерными материалами и растворами низкомолекулярных электролитов связаны с именами таких ученых как Ф.Доннан, Х.Грегор, Ф.Гельферих, А.Качальский, А.Мелешко. Неоценимый вклад в изучении физико-химических свойств растворов полимерных материалов и их набухания внесли М.Нагасава и К.Танака (Япония). В России по применению полимерных материалов в ионообменной хроматографии были проведены исследования такими выдающимися исследователями как В.Горшков, Н.Ферапонтов, Р.Хамизов, В.Иванов, А.Мельников. При исследовании свойств полимерных материалов они изучали термодинамику ионного обмена, константу ионообменного равновесия, селективности ионитов к разно валентным ионам. Ими получена информация о взаимодействии растворов электролитов с функциональными группами полимерных материалов.

Узбекскими учеными также были проведены многочисленные исследования по изучению физико-химических свойств гидрофильных полимерных гелей, синтетических и искусственных полимерных материалов. К ним можно отнести академиков С.Ш.Рашидову, Х.У.Усмонова, К.С.Ахмедова, А.Т.Джалилова, профессоров Б.Д.Кабулова, Т.М.Бабаева, М.Г.Мухамедиева, Д.А.Гафурову, А.М.Курбанова и других ученых.

Однако на сегодняшний день целенаправленное извлечение ценных компонентов из состава смесей с применением противоточного метода ионообменной хроматографии и проблемы мониторинга детально не изучены. Кроме того, термодинамика и кинетика процессов набухания полимерных материалов из растворов различных солей катионов первой и второй группы полностью не исследованы.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного учреждения.** Диссертационное исследование выполнено в рамках плана научно-исследовательских работ Самаркандского государственного университета по

теме фундаментального проекта «ОТ-Ф7-84. Кимёвий сенсорларни янги авлоди учун газ сезгир материаллар синтези назарий асосларини тадқиқ этиш» (2016-2020 й); и совместно с Московским государственным университетом (Россия) по теме «Разработка методов получения высокочистых веществ ионным обменом, разработка технологических схем осуществления процессов очистки природных и сточных вод и испытание этих схем на установках высокой производительности» (2015-2020 гг.).

**Целью исследования** является определение физико-химических свойств набухания полимерных гелей в водных растворах.

**Задачи исследования:**

исследование некоторых термодинамических функций и параметров процесса набухания полимерных гелей с диссоциирующими и с недиссоциирующими полярными группами;

выявление закономерностей кинетики набухания полимерных материалов на основе гетерофазной физико-математической модели;

исследование влияния концентрации и природы хлоридов металлов второй группы на набухание полимерной гели, полученной на основе поливинилового спирта;

оценить кинетику набухания ПВС из различных концентраций растворов электролитов, используя программы «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» и «Polymer\_swelling\_kinetics5.1» для обработки экспериментальных данных с помощью гетерофазной физико-математической модели;

разработку технологии обессоливания природных питьевых вод, а также исследование способа извлечения аминокислот из состава многокомпонентных систем с использованием противоточного ионообменного метода.

**Объектами исследования** являются полимерный гель, полученный на основе поливинилового спирта, сильно- и слабо- основных катионитов и анионитов с различными количествами поперечных связей, а также некоторых растворов сильных оснований, кислот и солей металлов первой и второй групп.

**Предметом исследования** являются гетерофазная физико-математическая модель, ионообменная хроматография, сорбция, десорбция, термодинамика и кинетика процессов набухания.

**Методы исследования.** Метод оптической микрометрии, ионообменная хроматография, пламенная фотометрия, потенциометрия, спектрофотометрия, комплексометрия и программы «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1», «Polymer\_swelling\_kinetics5.1» для обработки экспериментальных данных кинетики набухания.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые рассчитаны изменения свободной энергии Гиббса процесса набухания полимерных гелей с диссоциирующими и с недиссоциирующими полярными группами;

с помощью гетерофазной физико-математической модели оценены кинетические закономерности набухания полимерных материалов;

впервые определено влияние концентрации и природы хлоридов металлов второй группы на набухание полимерных гелей, полученных на основе поливинилового спирта, методом оптической микрометрии;

на основе противоточного ионообменного метода извлечены ионы из природных и техногенных вод, а также аминокислоты из состава многокомпонентных систем.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

Процесс обессоливания природных вод методом противоточной ионообменной хроматографии с использованием сильнокислотного катионита и слабоосновного анионита внедрен в практику и разработан способ очистки, обессоливания и расчет производительности природных и сточных вод;

лизин полностью извлечен из состава многокомпонентных систем в двухсекционных конических колоннах с использованием противоточного ионообменного метода.

**Достоверность полученных результатов исследований** обосновывается применением методов ионообменной хроматографии, оптической микрометрии, спектрофотометрии, потенциометрии, пламенной фотометрии, комплексометрии и программой «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1», «Polymer\_swelling\_kinetics5.1» для кинетики набухания полимерных гелей.

Полученные результаты проанализированы с использованием современных теорий и уравнений по равновесию ионного обмена и кинетике набухания полимерных материалов в воде и в водных растворах. Сделанные выводы проверены методом математической статистики.

**Научная и практическая значимость результатов исследований.**

Научная значимость результатов исследований заключается в том, что термодинамические и кинетические закономерности набухания полимерных материалов оценены с помощью гетерофазной физико-математической модели с применением кинетических коэффициентов  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  процесса набухания в полимерных гелях, полученных на основе поливинилового спирта, и исследованием влияния концентрации и природы хлоридов металлов второй группы на набухание полимерной гели, полученной на основе поливинилового спирта, методом оптической микрометрии;

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что разработаны методы расчета производительности процесса, обессоливания природных и сточных вод с использованием противоточного ионообменного метода, а также метод извлечения лизина из состава многокомпонентных систем, содержащих неорганические примеси, в двухсекционных конических колоннах с использованием противоточного ионообменного метода.

**Внедрение результатов исследований.** На основании полученных результатов по физико-химическим свойствам набухания полимерных гелей в водных растворах:

разработанный противоточный ионообменный методобессоливания природных вод внедрен в предприятии «БиоХимМак» (справка «БиоХимМак» Россия, МГУ № 52/27 от 21 мая 2020 года). Полученная в результате обессоливания вода применяется для извлечения дигидрохверцетина хроматографическим методом;

физико-химические основы набухания полимерных гелей в водных растворах для извлечения ионов из состава сточных вод безрегентным методом использованы в научном проекте А-7-23 по теме «Технология получения ионов меди из сточных вод с помощью местных сорбентов» (справка №89-03-2620 Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан от 20 июля 2020 года). Результаты дали возможность извлечь ионы меди из сточных вод.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований доложены и обсуждены на 11, в том числе 3 международных и 8 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 25 научных работ, в том числе 1 монография, 6 научных статей, в том числе 5 в республиканских и одна в зарубежном журнале, рекомендованные Высшей Аттестационной Комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций.

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

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи, выявлены объекты, предмет и методы исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, приведен обзор международных научных исследований по теме диссертации, степень изученности проблемы, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены краткие сведения о внедрении результатов, представлены результаты апробации работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

**В первой главе** диссертации «Термодинамическое и кинетическое обоснование набухания полимерных сорбентов (литературный обзор)» приводится термодинамический и кинетический анализ набухания полимерных сорбентов в воде и водных растворах на основе обзора международных и отечественных научных исследований о процессе набухания. На основе анализа теоретических и экспериментальных данных сформулированы цели, задачи, актуальность и важность проведенного исследования.

**Во второй главе** диссертации «**Методы исследования. Методическая часть**» показаны материалы и методы анализа для проведения экспериментов. Приведены характеристики полимерных сорбентов с диссоциирующими полярными группами, таких как сильнокислотный универсальный катионит-КУ-2, полученный на основе полистирола и дивинилбензола, слабокислотный буферный катионит-КБ-4, полученный на основе полиметакриловой кислоты, сильноосновный анионит-АРА, полученный на основе полистирола и дивинилбензола, слабоосновной анионит-АН-22 и с недиссоциирующими полярными группами-гель поливинилового спирта-ПВС. Показаны способы определения обменных емкостей, методы определения количества сорбированной воды полимерными сорбентами в процессе набухания, а также параметры и характеристики ионообменных колонок, применяемых в работе. Показано, что опыты по изучению кинетики набухания гранул сшитых полиэлектролитов проведены методом оптической микрометрии. Показано достоинство этого метода.

Приведены с использованием метода оптической микрометрии современные программы определения степени набухания из водных растворов геля, полученного из поливинилового спирта с недиссоциирующими полярными группами. Подробно изложены принципы работ программ «Grain Size Treatment 10\_1» и «Polymer swelling kinetics 5.1», применяемых для обработки экспериментальных данных и на основании их построение кинетических кривых набухания полимера, а также определение концентрации исследованного раствора.

В третьей главе «**Термодинамика набухания полимерных сорбентов в водных растворах**» на основании экспериментальных данных показаны, зависимости изменения свободной энергии Гиббса процесса набухания полимерных сорбентов в воде или в водных растворах от количества сорбированной воды полимером, от природы функциональных групп полимеров, от ионной формы, от количества дивинилбензола и активности воды во внешнем растворе при постоянной температуре и постоянном давлении системы.

Известно, что для реальных систем изменение свободной энергии Гиббса процесса набухания полимерных сорбентов в воде или в водных растворах описывается ниже следующей формулой:

$$\Delta G_{\bar{n}} = RT \ln \bar{a}_w \quad (1)$$

где:  $\Delta G_{\bar{n}}$  -изменение свободной энергии Гиббса набухания, R-газовая универсальная постоянная, T-температура,  $\bar{a}_w$  –активность сорбированной воды в фазе полимерного сорбента.

Если в полимерных сорбентах и в растворах стандартное состояние воды одинаковы, тогда активность воды в обеих фазах будет одинакова  $\bar{a}_w = a_w$  и изменение свободной энергии Гиббса набухания в этом случае описывается ниже следующей формулой:

$$\Delta G_{\bar{n}} = RT \ln a_w = RT \varphi \ln N_w = RT \varphi \ln(1 - N_{AX}) = RT \varphi \ln \left( 1 - \frac{vm}{\left(\frac{1000}{M_w}\right) + vm} \right) \approx RT \varphi \ln \left( 1 - \frac{vmM_w}{1000} \right) \quad (2)$$

где:  $m$ -моляльная концентрация раствора,  $\varphi$  –моляльный осмотический коэффициент растворенного вещества,  $M_w$ -молекулярная масса растворителя,  $v$ –число ионов в молекуле растворенного вещества.

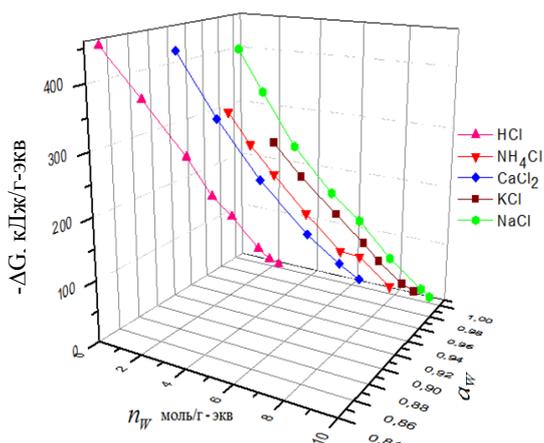
Зависимости изменения энергии Гиббса набухания от природы противоионов полимерных сорбентов, от концентрации равновесного раствора, а также от коионов раствора изучены на примере катионита КБ-4. Для этого динамическим методом сначала были определены обменные емкости катионита в различных ионных формах. Полученные результаты приведены в таблице-1.

**Таблица-1**

**Удельные величины катионита КБ-4**

Ионная форма	Е/М <sub>AR</sub> , МГ-ЭКВ/Г	Е/V <sub>AR</sub> , МГ-ЭКВ/Л	Р <sub>и</sub> , Г/МЛ
H <sup>+</sup>	9,116	12,560	1,378
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7,846	12,458	1,588
NA <sup>+</sup>	7,583	16,528	2,180
K <sup>+</sup>	6,714	14,064	2,095
CA <sup>2+</sup>	7,758	16,276	2,098

Затем, используя формулу-2, на основе экспериментальных данных были рассчитаны изменения энергии Гиббса набухания. Результаты расчетов приведены в таблице-2 и на рисунке-1.



**Рис.-1. Зависимости изменения энергии Гиббса набухания катионита КБ-4 от количества сорбированной воды и от активности воды равновесного раствора, из разных растворов солей натрия, калия, аммония и кальция, а также соляной кислоты с различными концентрациями.**

Рис.1. показывает зависимость изменений энергий Гиббса сорбции воды от природы противоионов катионита, от количества сорбированной воды и от активности воды равновесного раствора. Видно, что чем меньше активность воды в составе равновесного раствора, тем меньше изменение свободной энергии Гиббса сорбции воды катионитом.

Опыты по изучения зависимости изменения свободной энергии Гиббса набухания от количества поперечных связей полимерных сорбентов были

проведены динамическим способом колоночным методом на сильноосновном анионите АРА, полученным сополимеризацией полистирола и дивинилбензола.

**Таблица-2**

**Рассчитанные значения на основе экспериментальных данных**

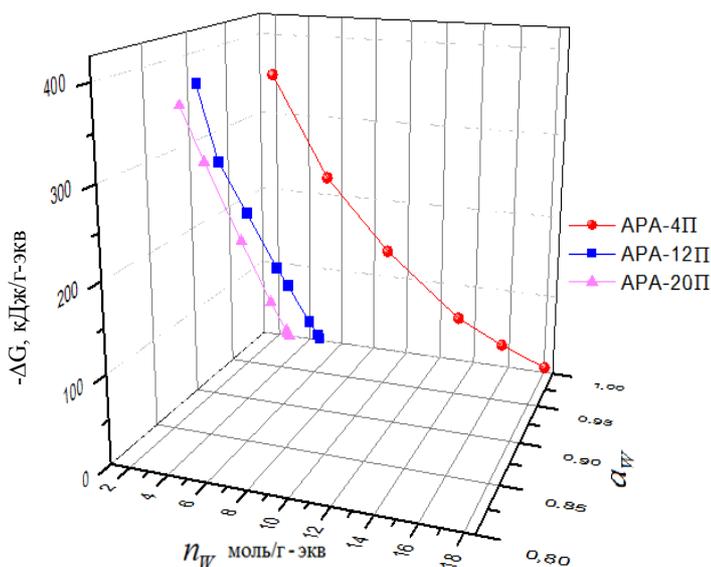
T/p	1	2	3	4	5	6	7	8
КБ-4-NaCl								
$a_w$	0,992	0,984	0,956	0,925	0,906	0,875	0,846	0,828
$n_{H_2O}$	9,7	9,5	8,8	8,3	7,7	7,2	7,0	6,8
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	19,81	39,62	111,44	193,16	245,16	329,36	416,03	475,15
КБ-4-NaOH								
$a_w$	0,988	0,974	0,952	0,925	0,908	0,888		
$n_{H_2O}$	9,8	8,7	8,0	7,7	7,4	7,1		
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	29,71	64,39	159,44	193,16	239,22	294,69		
КБ-4-KCl								
$a_w$	0,992	0,982	0,960	0,946	0,922	0,895	0,874	
$n_{H_2O}$	9,0	8,7	8,2	7,9	7,4	6,8	6,4	
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	26,18	44,57	99,06	138,68	200,59	272,40	331,83	
КБ-4-KNO <sub>3</sub>								
$a_w$	0,996	0,992	0,984	0,972	0,966	0,952	0,944	
$n_{H_2O}$	8,9	8,5	7,9	7,7	7,6	7,5	7,4	
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	17,12	19,87	39,62	69,34	86,67	121,34	141,15	
КБ-4-Ca <sup>2+</sup>								
$a_w$	0,990	0,975	0,952	0,904	0,865	0,834		
$n_{H_2O}$	6,6	6,1	5,3	4,8	4,3	4,2		
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	24,76	61,91	126,30	247,64	359,08	460,61		
КБ-4-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>								
$a_w$	0,990	0,975	0,962	0,934	0,904	0,882	0,864	
$n_{H_2O}$	8,0	7,0	6,5	5,8	5,4	5,2	5,0	
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	24,71	82,72	99,06	179,54	260,02	316,98	371,46	
КБ-4+H <sup>+</sup>								
$a_w$	0,995	0,990	0,982	0,954	0,932	0,908	0,866	0,832
$n_{H_2O}$	2,5	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1
$-\Delta G$ , кДж/г-экв	12,38	24,78	46,52	128,77	179,54	261,42	375,26	460,85

В экспериментах использовали аниониты, содержащие 4, 12 и 20 % поперечных связей. С помощью полученных данных, используя формулу -2, были рассчитаны изменения свободной энергии Гиббса сорбции воды анионитом. Рассчитанные значения приведены в таблице-3 и на рис.-2. Рис.2. показывает зависимости изменения величины свободной энергии Гиббса сорбции воды от природы противоионов и от количества сорбированной воды анионитом в процессе набухания.

**Таблица-3**

**Рассчитанные значения на основе экспериментальных данны**

T/p	1	2	3	4	5	6	7
<b>АРА-4П</b>							
$C_{н}$	0,01	0,12	0,51	1,03	2,05	4,00	
$n_{H_2O}$	18,9	18,1	15,9	13,8	10,8	7,6	
$-\Delta G, кДж/Г-экв$	0	9,91	42,10	81,72	179,54	401,17	
$a_w$	1,000	0,996	0,983	0,967	0,930	0,850	
<b>АРА-12П</b>							
$C_{н}$	0,09	0,22	0,60	1,50	2,00	3,02	4,10
$a_w$	0,998	0,995	0,985	0,960	0,948	0,917	0,890
$n_{H_2O}$	4,63	4,59	4,45	4,05	3,86	3,40	3,03
$-\Delta G, кДж/Г-экв$	4,96	12,38	37,15	101,53	131,25	214,44	287,23
<b>АРА-20П</b>							
$C_{н}$	0,05	0,10	0,26	0,77	1,68	2,60	3,10
$a_w$	1,000	0,998	0,996	0,974	0,934	0,891	0,866
$n_{H_2O}$	2,65	2,64	2,61	2,49	2,36	2,21	2,12
$-\Delta G, кДж/Г-экв$	0	4,96	9,86	64,52	168,39	284,78	356,61



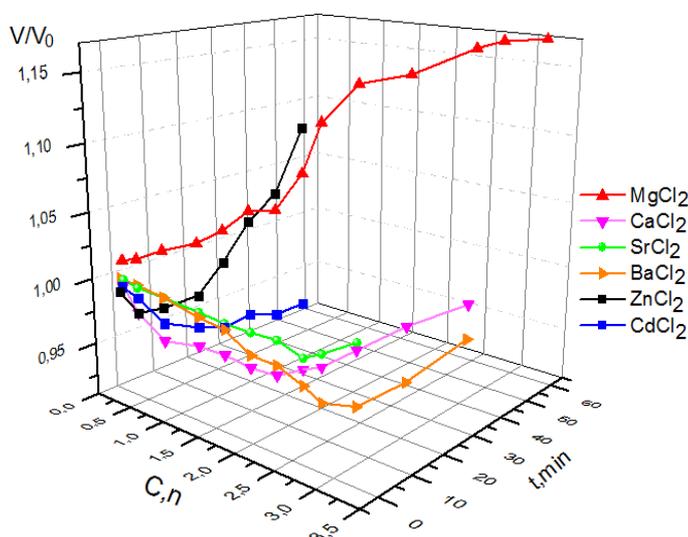
**Рис.2.** Зависимости изменения свободной энергии Гиббса набухания от количества сорбированной воды и от активности воды равновесного раствора из различных концентрацией раствора  $NH_4NO_3$  на нитратной формы анионита АРА ,содержащий 4, 12 и 20 % поперечных связей.

В четвертой главе «Исследование кинетики набухания ПВС с помощью физико-математической модели» речь идет о влиянии природы и концентрации электролита, а также активности воды на степень набухания

геля поливинилового спирта. Набухание геля поливинилового спирта из водных растворов изучалось методом оптической микрометрии.

Сначала были проведены опыты по набуханию ПВС из растворов хлоридов металлов второй группы с различными концентрациями. В опытах применялись сферические гранулы поливинилового спирта с диаметрами от 0,35 до 1,05 мм, концентрации растворов хлоридов металлов второй группы варьировали от 0,10н. до 3,0н. Процесс набухания полимера проводили в течении 1-2 часов, перенося гранулы полимера в раствор электролита с заданной концентрацией. После достижение равновесия между гранулой и раствором исследуемого электролита были определены степени изменения объема гранулы в растворе.

С помощью экспериментальных данных рассчитаны зависимости степени набухания геля ПВС от равновесной концентрации раствора и от времени из растворов хлоридов металлов второй группы. Полученные результаты приведены на рисунке-3.



**Рис.3. Зависимости степени набухания геля ПВС от равновесной концентрации раствора и от времени из растворов хлоридов металлов второй группы.**

Рисунок-3 показывает индивидуальное влияние катионов второй группы из растворов соответствующих электролитов на степень набухания полимерного геля. Природа полярных групп геля ПВС такова, что исключает какие-либо химические взаимодействия между полимерной гели и равновесном раствором электролита, поэтому изменение объема ПВС связано с образованием водородной и разного типа координационных связей как между полимерной гелию и водой, а так полимерной гели- растворенным веществом.

Из полученных результатов можно выделить нижеследующих: во первых, для всех концентраций ионов магния и в области больших концентраций ионов цинка степень набухания геля в растворе больше, чем в воде. Во-вторых, для всех катионов основных и побочных групп, кроме катионов магния, зависимость относительного объема набухания геля от концентрации равновесного раствора проходит через минимум. В третьи, на степень набухания геля оказывают сильное влияние ионные радиусы катионов, чем меньше ионный радиус, тем больше степень набухания

полимера. Так же, из полученных данных видно, что для катионов побочных групп ( $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ) тоже наблюдаются такие закономерности. Кроме того, из полученных экспериментальных результатов видно, что на изменение объема геля ПВС огромные влияния оказывают различные водородные, координационные связи, образующиеся между полимерной гелю и равновесным раствором. Эти выводы показывают большое взаимодействие между катионами второй группы и полимерной гели.

На основе полученных экспериментальных данных с помощью гетерофазной физико-математической модели, используя программы «Grain\_Size\_Treatment\_10\_1» и «Polymer\_swelling\_kinetics5.1», были проведены исследования по изучению влияния концентрации растворов электролитов на кинетику и рассчитаны характеристические коэффициенты модели, для раствора отдельно взятого электролита. Некоторые результаты полученные из экспериментальных данных приведены ниже.

Эксперименты по изучению кинетики набухания ПВС в растворах  $NaHCO_3$  с концентрациями 0,10, 0,25, 0,40 и 0,50 моль/л были проведены методом оптической микрометрии. В качестве сорбентов применялись сферические гранулы сшитого ПВС, набухшие в дистиллированной воде, диаметр которых составлял  $0,76 \pm 0,01$  мм. Контроль за точностью осуществляли путем проведения четырех повторных экспериментов. Рассчитанные значения из результатов эксперимента с помощью программы приведены в таблице-4. После проведения экспериментов, по усредненным полученным результатам, находили кинетические коэффициенты  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  и  $p$  гетерофазной модели. По аналогичной методике проводили эксперименты с растворами гидрокарбоната натрия других концентраций. Используя полученные экспериментальные данные и рассчитанные кинетические коэффициенты, строили теоретическую кривую для каждой концентрации. Найденные значения из раствора известной концентрации и теоретические кривые набухания, представлены на рис.4 и в таблице-5.

**Таблица-4**

**Найденные кинетические коэффициенты для растворов  $NaHCO_3$**

$k_1, 10^{-5} \text{ м/с} \cdot (\text{л/моль})^{1/3}$	6,34
$k_2, 10^{-2} \text{ с}^{-1}$	0,11
$k_3, (\text{л/моль})^{1/2}$	6,05
$p, \text{ л/моль}$	0,210

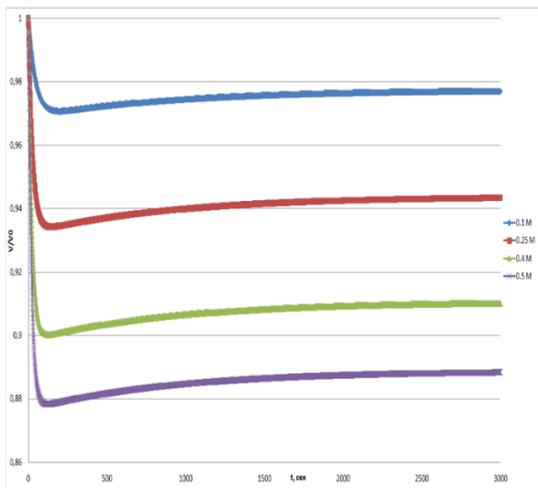
Таблица-5

**Результаты обработки экспериментальных данных с помощью программы «Polymer swelling kinetics 5.1»**

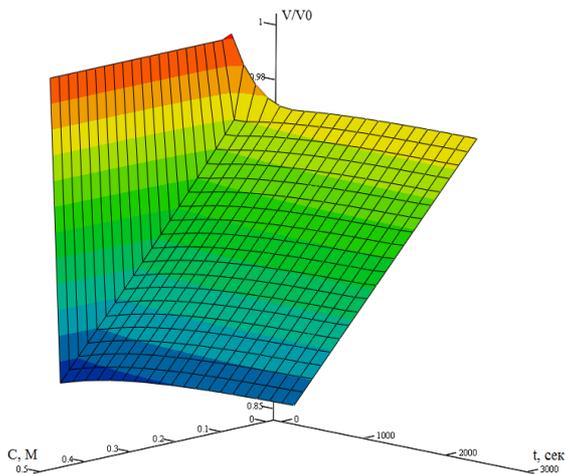
$C_{\text{приготовл}}$ , МОЛЬ/Л	$C_{\text{найд}}$ , МОЛЬ/Л	$t_{\text{измер}}$ , сек	$\delta$ , %	$\max\Delta$ , %	$\sigma$ , %
0,50±0,01	0,50	120	0,00	0,35	0,18
	0,50	300	0,00	0,43	0,21
	0,51	600	2,00	0,65	0,20
	0,51	900	2,00	0,65	0,17
	0,51	1200	2,00	0,54	0,16
	0,50	1800	0,00	0,43	0,18
	0,50	3000	0,00	0,43	0,15
0,40±0,01	0,37	120	-7,50	1,62	0,41
	0,38	300	-5,00	1,38	0,35
	0,39	600	-2,50	1,22	0,37
	0,40	900	0,00	1,13	0,36
	0,40	1200	0,00	1,13	0,35
	0,40	1800	0,00	1,13	0,33
	0,40	3000	0,00	1,13	0,29
0,25±0,005	0,27	120	8,00	1,46	0,55
	0,26	300	4,00	1,65	0,39
	0,25	600	0,00	1,75	0,29
	0,25	900	0,00	1,75	0,25
	0,25	1200	0,00	1,83	0,22
	0,25	1800	0,00	1,83	0,18
	0,25	3000	0,00	1,83	0,15
0,10±0,002	0,13	120	30,00	0,88	0,41
	0,11	300	10,00	1,10	0,35
	0,11	600	10,00	1,17	0,28
	0,10	900	0,00	1,24	0,26
	0,10	1200	0,00	1,24	0,24
	0,10	1800	0,00	1,24	0,22
	0,10	3000	0,00	1,31	0,18

С помощью кинетических кривых полученные для растворов  $\text{NaHCO}_3$  разных концентраций, были построены 3D-поверхности (рис.5), которые является массивом данных, описывающих кинетику набухания ПВС в растворах данного соединения. Эта поверхность позволяет, зная о кинетических кривых набухания, найти концентрацию неизвестного раствора. Анализ полученных данных показывает следующее: при увеличении концентрации раствора время выхода на равновесие набухания полимерной гели не изменяется (около 3000 сек), так же при увеличении

концентрации раствора происходит уменьшение значения равновесного относительного объёма. Кроме того, значения  $\delta$  на участках кривых, близких к равновесным, не превышает 0,5%, что показывает преимущество данного метода при определении концентрации растворов известного электролита в исследованном диапазоне, при этом значения  $\sigma$  во всех случаях не превышает 1%, что свидетельствует о надежности данного метода для изучения набухания полимерных гелей.

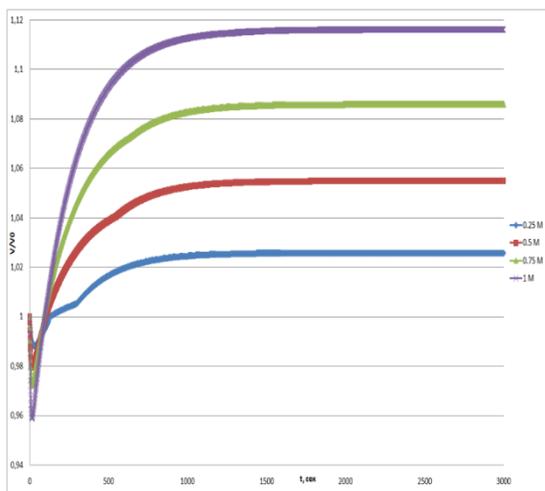


**Рис.4.** Теоретические кинетические кривые для растворов  $\text{NaHCO}_3$  разных концентраций.

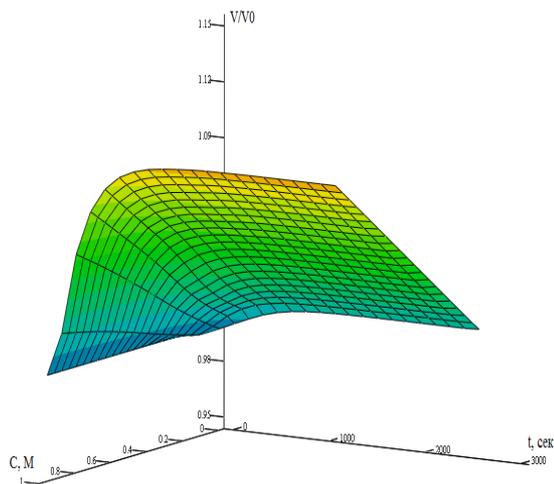


**Рис.5.** 3D-поверхность кинетических кривых набухания ПВС в растворах  $\text{NaHCO}_3$ .

Так же такие эксперименты и расчеты были проведены с другими электролитами разных концентраций. Полученные результаты подробно обсуждены в диссертации. На рис.6 и 7 приведены кинетические кривые для растворов иодида натрия.



**Рис.6.** Теоретические кинетические кривые для растворов  $\text{NaI}$  разных концентраций.



**Рис.7.** 3D-поверхность кинетических кривых набухания ПВС в растворах  $\text{NaI}$

Из 3D-поверхностей, приведенных на рис.5 и 7 видно, особенное влияние природы и концентрации каждого исследованного соединения на кинетику

набухания ПВС. Поэтому можно ПВС в качестве чувствительных сорбентов для определения концентраций растворов различных веществ, так как в отличие от сшитых полиэлектролитов (ионитов) гель ПВС не вступает на ионообменную реакцию, кроме того не взаимодействует с компонентами раствора.

**В пятой главе, называемой «Разделение смесей полимерными сорбентами»** полностью представлены результаты опытов проведенных противоточным методом ионного обмена и ионитно-экстракционным способом по обессоливанию природных вод и по разделению сильных электролитов.

Проведены эксперименты по очистке и обессоливанию природной питьевой воды приаралья (питьевые воды города Ургенча, Хонки, Хивы, Нукуса) противоточным методом ионообменной хроматографии. Полученные данные показывают, что на ионитах КУ-2х8 и АН-22, используя двух конические колонны, с применением противоточного метода ионообменной хроматографии можно полностью деминерализовать природную воду. При этом природная вода полностью очищается от двух и многозарядных ионов. Так же при очистке и обессоливании воды с применением противоточных аппаратов возможно значительно уменьшить расход реагентов на регенерацию.

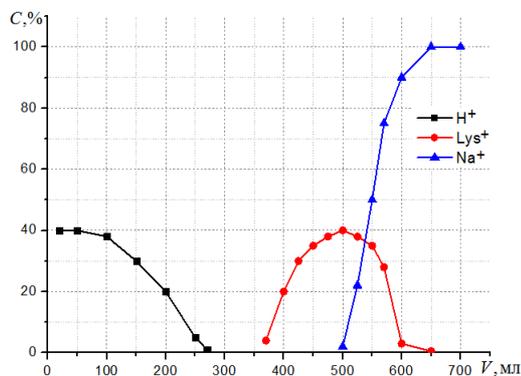
Кроме того, с помощью слабокислотного буферного катионита-КБ-4, используя противоточный метод, был извлечен лизин из состава многокомпонентной смеси, содержащей неорганические вещества. Для этого ионообменную колонку заполняли суспензией катионита КБ-4 в смешанной  $\text{Na}^+$ - $\text{H}^+$ ной форме. Затем через колонку со скоростью 5 мл/мин пропускали раствор лизина с концентрацией 40 г/л, поддерживая рН раствора 3,5. Десорбция лизина осуществляется раствором гидроксида натрия, который пропускают через колонку. В результате этой обработки катионит находится в смешанной натрий-лизин-водородной форме. При контакте с раствором гидроксида натрия в колонке протекают следующие реакции:



Результатом приведенных реакций является полная деминерализация раствора гидроксида натрия.

Полученная в этих реакциях вода продвигается по колонне перед зоной десорбированного лизина, отмывая на своем пути катионит от смесей. Существенно, что этот процесс не приводит к размыванию образующейся в колонне зоны лизина, так как последний, будучи десорбированным, с катионита, благодаря своей способности к перезарядке и наличию в слое водородной формы ионита, вновь сорбируется им по реакции-5. Это обеспечивает разную скорость движения по колонке воды и лизина, что приводит, во-первых, к качественной отмывке, а, во-вторых, к концентрированию лизина в зоне десорбции. Последний результат позволяет

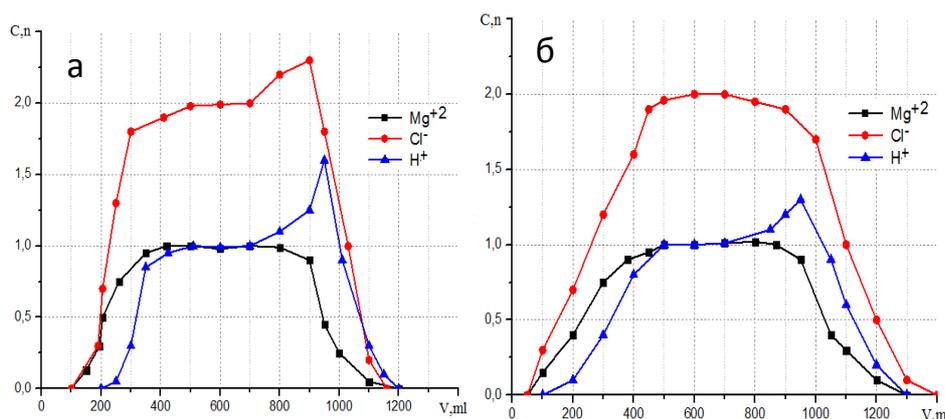
получать продуктовый раствор лизина с концентрацией, близкой к концентрации насыщенного раствора. Равновесия всех трех приведенных реакций сильно смещена вправо, поэтому участки высоты колонны, где они протекают, имеют постоянные размеры - стационарные фронты. Один из полученных результатов приведен на рисунке-8.



**Рис.8. Выходные кривые при десорбции лизина раствором гидроксида натрия из смешанной натрий-лизин-водородной формы катионита КБ-4.**

На основании полученных данных установлено, что катионит обладает максимальной удельной емкостью по лизину. При этом концентрация лизина в полученном растворе повысилась 16-18 раз. Так же, матрица катионита КБ-4 практически не сорбирует органические соединения, что значительно снижает количества воды, требующейся для отмывки. Кроме того, десорбция лизина организована таким образом, что в результате этого процесса выделяется вода, количество которой достаточно для отмывки катионита от смеси.

А также, были проведены эксперименты ионитно-экстракционным методом по изучению зависимости производительности процесса разделения от скорости прохождения растворов смеси через колонки. В опытах использовали 800 мл суспензии анионита АРА-12 и смеси электролитов  $MgCl_2$  и  $HCl$  в одинаковых концентрациях. Скорости подачи растворов составляли от 4 до 16 мл/мин. Полученные результаты приведены на рис.-9.



**Рис.9. Зависимость разделения смеси  $MgCl_2-HCl$  на сильноосновном анионите АРА-12П в СТ-форме от скорости потока растворов через колонки: (а) 4 мл/мин; (б) 10 мл/мин.**

Анализ полученных данных показывает, что процессы сорбции протекают в режиме стационарных и нестационарных фронтов. Кроме того, выявлено что, оптимальные условия разделения смесей электролитов с

использованием определенного объема данного ионита составляет 4 мл/мин объемной скорости подачи раствора.

Результаты, полученные по очистке промышленных сточных вод противоточным методом и разделению сильных электролитов безреагентным способом, внедрены в практику в предприятие «БиоХимМак» (Россия).

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Установлены зависимости изменения свободной энергии Гиббса процесса набухания полимерных гелей с диссоциирующими (КБ-4, АРА) и с недиссоциирующими (ПВС) полярными группами от природы и концентрации электролитов.

2. Из экспериментальных данных выявлено, что изменение свободной энергии Гиббса процесса набухания обусловлено природой противоионов полимерных сорбентов, концентрации равновесного раствора и не зависит от его коионов.

3. Показано, что количество сорбированной воды анионитом АРА и изменение свободной энергии Гиббса процесса набухания прямо пропорционально количеству поперечных связей полимерного сорбента.

4. Показано, что катионы хлоридов второй группы из соответствующих растворов индивидуально влияют на степень набухаемости геля ПВС. Установлено, что изменение объема ПВС связано с образованием водородной или разного типа координационных связей как между полимером и водой, так и между полимером и растворенными веществами равновесного раствора.

5. Используя программы «Grain Size Treatment 10\_1», «Polymer swelling kinetics 5.1» для обработки экспериментальных данных с помощью гетерофазной физико-математической модели строения полимерного сорбента, изучена кинетика набухания ПВС из растворов солей  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{LiCl}$  и  $\text{NaI}$  с различными концентрациями. На основе полученных результатов могут быть рассчитаны кинетические коэффициенты модели для раствора отдельно взятого электролита и с помощью кинетических кривых набухания появляется возможность построения 3D-поверхностей.

6. Проведена деминерализация природной питьевой воды на сильнокислотном катионите-КУ-2х8 и слабоосновном анионите-АН-22 с использованием двух последовательно соединенных колонн противоточным методом ионообменной хроматографии. Полученные результаты внедрены в практику предприятия «БиоХимМак». В результате обессоленная вода может применяться для извлечения дигидрокверцетина хроматографическим методом.

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD. 03/30. 12. 2019.K. 02.05 ON AWARDING  
THE ACADEMIC DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY AT  
SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

---

**SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

**TURSUNOVA GULNOZA**

**PHYSICAL AND CHEMICAL BASES OF SWELLING OF POLYMER  
GELS IN AQUEOUS SOLUTIONS**

**02.00.04-Physical chemistry**

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

**Samarkand – 2020**

**The title of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in chemical sciences has been registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan with registration number of B2020.2.PhD/K301.**

The dissertation work has been carried out at the Samarkand State University  
The abstract of dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the Scientific council website [www.samdu.uz](http://www.samdu.uz) and information-educational portal "ZiyoNET" [www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific supervisor:** **Akbarov Khamdam**  
Doctor of Chemical Sciences, Professor

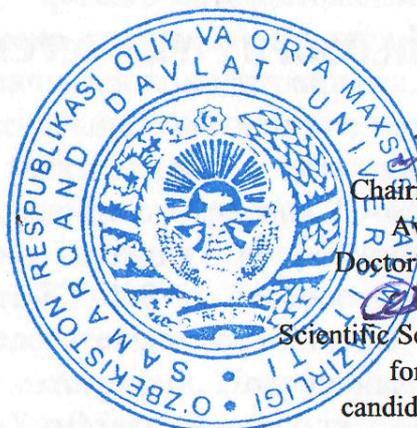
**Official opponents:** **Eshmamatova Nodira**  
Doctor of Chemical Sciences  
**Sidiqov Abdulol**  
Doctor of Chemical Sciences, Professor

**Leading organization:** Institute of General and inorganic chemistry

The defense of the dissertation will take place on «6» 10 2020 at «13<sup>00</sup>» at the meeting of the Scientific Council PhD.03/30.12.2019.K.02.05 at the Samarkand State University. Address: 140104, Samarkand city, University Blvd., 15, Department of Chemistry, 3<sup>rd</sup> floor, room 305. Tel: (99866)239-11-40, Fax: (99866) 239-11-40, e-mail: [devonxona@samdu.uz](mailto:devonxona@samdu.uz).

The dissertation can be reviewed at the Informational Resource Centre of the Samarkand State University under № 51 Address: 140104, Samarkand city, University Blvd., 15. IRC, Ph.: (+99866) 239-11-51.

The abstract of the dissertation has been distributed on «24» 09 2020 y.  
Protocol at the register № 7 dated «24» 09 2020 y.



**A. Nasimov**  
Chairman of the Scientific Council for  
Awarding of the scientific degrees,  
Doctor of Chemical Sciences, Professor

**Sh. Sayitkulov**  
Scientific Secretary of the Scientific Council  
for awarding the scientific degrees,  
candidate of chemical sciences, Docent

**R. Normakhmatov**  
Chairman of the Scientific Seminar under Scientific  
Council for awarding the scientific degrees,  
Doctor of technical Sciences, Docent

## **INTRODUCTION (abstract of doctoral of philosophy PhD dissertation)**

**The aim of the research work is** determination of physical and chemical bases of swelling of polymer gels in aqueous solutions.

**The objects of the research work** are polymer gel based on polyvinyl alcohol, strong and weak basic cation and anion exchangers with different number of cross-links, as well as some solutions of strong bases, acids and metal salts of the first and second groups.

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

it was calculated Gibbs free energy change of the swelling process of polymer gels with dissociating and non-dissociating polar groupson the basis of experimental results;

the kinetic laws of the swelling of polymer materials were estimated using a heterophase physic-mathematical model;

it was determined for the first time the effect of the concentration and nature of metal chlorides of the second group on the swelling of polymer materials obtained on the basis of polyvinyl alcohol by optical micrometry;

ions from natural and technical waters, as well as aminoacids were extracted frommulticomponent systems based on counter-current ion exchange method.

**Implementation of research results.** Based on the results obtained on the physical and chemical bases of swelling of polymer gels in aqueous solutions:

the counter-current ion exchange method of desalination of natural water have been put into practice in "Biokhimmak" (reference "Biokhimmak" Russia, MSU No. 52/27.dated may 21, 2020). As a result, the desalinated water is used to extract dihydroquercetin by chromatographic method

physical and chemical bases of swelling of polymer gels in aqueous solutions were used in the scientific project A-7-23 on the topic "Technology for obtaining copper ions from wastewater using local sorbents" to extract ions from wastewater with non-reagent method (reference no. 89-03-2620 of the Ministry of higher and secondary special education of the Republic of Uzbekistan dated July 20, 2020). The results made it possible to extract copper ions from wastewater.

**The structure and volume of the dissertation.**The structure of the dissertation consists of an introduction, five chapters, conclusions, a list of references and application. The dissertation consists of 114 pages.

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

**I бўлим (I часть; part 1)**

1.Турсунова Г.Х., Акбаров Х.И., Тробов Х.Т. Катионит КБ-4 нинг турли эритмалардан бўқишида сувнинг сорбцияланиш Гиббс энергиясини ҳисоблаш. ЎзМУ хабарлари.-2020. -№3/1. 260-265б. (02.00.00, №12);

2.Турсунова Г.Х., Акбаров Х.И, Тробов Х.Т. Полимер сорбентларнинг бўқишида сувнинг сорбцияланиш Гиббс энергиясини ҳисоблаш. “Фан ва технологиялар тараққиёти.” -Бухоро, 2020, -№3. 84-89 б. (02.00.00 №14);

3.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х., Ферапонтов Н.Б., Акбаров Х.И. Противоточный метод очистки вод приаралья.Universum:Технические науки. – 2020. – №.6 (75). (02.00.00, №1);

4.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х., Токмачев М.Г., Ферапонтов Н.Б. Эффекты влияния природы и концентрации электролитов на конформационные свойства полимерных гелей//Научный вестник СамГУ.-2020.-№1(119)–С.18-22 (02.00.00; №9).

5.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х., Токмачев М.Г.,Ферапонтов Н.Б. Применение геля на основе поливинилового спирта в химическом анализе водных растворов. Вестник НУУз.-2019. -№3/2. С.327-332 (02.00.00, №12).

6.Тробов Х.Т., Ферапонтов Н.Б, Токмачев М.Г., Турсунова Г.Х. Кинетика набухания катионита КУ-2х4 в растворах HCl разной концентрации //Научный вестник СамГУ.-2019.-№3 С.127-31 (02.00.00; №9).

7.Тробов Х.Т., Ферапонтов Н.Б., Турсунова Г.Х.Полимер гелларнинг сорбцион хусусиятлари//Монография,Самарканд,СамДУ нашри, 2020, 168б

**II бўлим (II часть; partII)**

8.X.T.Trobov, G.Kh.Tursunova, X.I.Akbarov.Ion exchange method for water purification Proceedings of the icecrs generating knowladge through research,JL.Monorahit 666B, Sidoarjo, Jawa Timur Indonesia, 2019, P.277-281.

9.Тробов Х.Т., Ферапонтов Н.Б., Турсунова Г.Х., Акбаров Х.И. Сорбционный метод разделение электролитов на полимерных сорбентах.Науч-практическая конференция “Современное состояние химической науки и использование её достижений в народном хозяйстве Республики”. Таджикистан. Душанбе-2019, С.133-134.

10. Ферапонтов Н.Б.. Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х., Акбаров Х.И. Противоточныйметодвыделенияминокислотизкультуральнойжидкости// International conference on the topic of “Food safety, resources, energy-efficiency andinnovative technologies”Namangan – 2019, С.7-9.

11.ТробовХ.Т.,ТурсуноваГ.Х., АкбаровХ.И.  
Ионообменныйпротивоточныйметодочисткивод.  
Биоорганиккимёфанимуаммолари. III-  
Республикаёшкимёгарларконф.мат.Наманган, 2019, 18-20 б.

12.Турсунова Г.Х., Атавуллаева Ш., Тробов Х.Т.Перспективы метода оптической микрометрии в химическом анализе.Материалы научно-

практической конференции “Современное состояние и перспективы науки о функциональных полимерах» Тошкент-2020. С.444.

13.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х., Токмачев М.Г., Ферапонтов Н.Б.Влияния природы и концентрации электролитов на конформационные свойства полимерных гелей. Материалы научно-практ.конф.“Современное состояние и перспективы науки о функциональных полимерах» Тошкент-2020. С.84.

14.Турсунова Г.Х., Ферапонтов Н.Б., Атавуллаева Ш., Тробов Х.Т.Возможности метода оптической микрометрии в аналитической химии.“Аналитик кимё фанининг долзарб муаммолари”.VI-Республика илмий-амалий анжумани материаллари. Термиз.2020. 240б.

15.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х. Поливинилспирт гели бўқишида сувнинг сорбцияланиш Гиббс энергиясини ҳисоблаш. “Аналитик кимё фанининг долзарб муаммолари”.VI-Республика илмий-амалий анжумани материаллари. Термиз.2020. 242-244 б.

16.Тробов Х.Т. Турсунова Г.Х. Реагентсиз усулда аралашмаларни ажратиш. Кимё фани ва таълимининг долзарб муаммолари. Респ. Илмий-амалий анж. матер. тўплами. Фарғона 2019, 58-60 б.

17.Тробов Х.Т. Турсунова Г.Х.,Ферапонтов Н,Б. Полиэлектролитларда кучли электролитлар эритмалари аралашмасини ажратишнинг термодинамикаси. Современные проблемы полимерной науки. Тошкент-2011, 165-167 б.

18.Тробов Х.Т., Турсунова Г.Х. Расчет термодинамических параметров химических систем. Кимёнинг долзарб муаммолари. Самарқанд -2009, 151-152 б.

19.Тробов Х.Т., Э.Абдурахмонов, Ф.Турсунов, Г.Турсунова Изучение равновесия ионит-раствор на примере катионита КБ-4, Илмий ахборотнома, СамДУ. 2014, 3-сон,80-83 б.

20.Х.Т.Тробов, Н.Б.Ферапонтов, А.М.Курбанов, Г.Турсунова Извлечение бромида калия на полимерном сорбенте КУ-2\*8 в условиях необменного поглощения Илмий ахборотнома, СамДУ 2018, 1-сон, 80-84б.

21.Тробов Х.Т., Бердимуродова Ф.П., Турсунова Г.Х. Полиэлектролитларда кучли электролитлар эритмалари аралашмасини ажратишнинг айрим термодинамик қонуниятлари Биоорганик кимё фани муаммолари. Наманган-2011, 72-73 б.

22.Тробов Х.Т., Бердимуродова Ф.П., Турсунова Г.Х. Исследование межфазового равновесия между сшитым полиэлектролитом и растворами смеси электролитов. Совр. пробл. полимерной науки. Тошкент-2011. С.46.

23.Тробов Х.Т., Г.Турсунова, А.Курбанов, Г.Нармаева, С.Калонова Анионит АРА-4П ёрдамида кальций ва водород ионларини ажратиш технологияси Кимё фанини долзарб муаммолари ва уни ўқитишда инновацион технологиялар. Илм-амал.анжуман мақол.тўпл. Тошкент -2016, 48 б.

24.Х.Тробов, А.Курбанов, Г.Турсунова, Г.Нармаева, С.Калонова  
Тикилган полиэлектроитлар ёрдамида оқава сувлар таркибидан керакли  
компонентларни ажратишнинг янги технологияси Кимёвий технология ва  
озик-овқат саноати корхоналарида ишлаб чиқариш технологияларини  
такомиллаштиришда инновацион ғоялар республика илмий-амалий анжуман  
маколалар туплами. Наманган-2016.144 б.

25.Тробов Х.Т., Г.Турсунова, Э.Абдурахмонов. Кучли электроитлар  
эритмалари аралашмаларини ионитлар ёрдамида ажратиш технологияси.  
Республика илмий-амалий анжуман макол. тўпл. Наманган-2016.236 б.

Автореферат «Самарқанд давлат университети Илмий ахборотномаси»  
таҳририятида таҳрир қилинди.

**Бош муҳаррир  
ўринбосари:**



**проф. А.М. Насимов**

СамДУ таҳририй-нашриёт бўлимида чоп этилди.  
140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15.