

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.08.2018. FM/T.02.09 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

МУСТОҒОҚУЛОВ ЖАББОР АХМАТҚУЛОВИЧ

ЁРИҚ-ҒОВАК МУҲИТЛАРДА НОМУВОЗАНАТ АДСОРБЦИЯ
ҲИСОБГА ОЛИНИБ МОДДА КЎЧИШИ МАСАЛАЛАРИНИ ЕЧИШ

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ
(PhD) ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Самарқанд – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси автореферати мундарижаси

Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)

Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD)

Мустофокулов Жаббор Ахматкулович

Ёриқ-говак муҳитларда номувозанат адсорбция ҳисобга олиниб
модда кўчиши масалаларини ечиш 3

Мустофокулов Жаббор Ахматкулович

Решение задач переноса вещества в трещиновато-пористых средах
с учетом неравновесной адсорбции 21

Mustofoqulov Zhabbor Akhmatqulovich

The solution of solute transport problems in fractured-porous media with
nonequilibrium adsorption..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works 43

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.30.08.2018. FM/T.02.09 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

МУСТОФОҚУЛОВ ЖАББОР АХМАТҚУЛОВИЧ

ЁРИҚ-ҒОВАК МУҲИТЛАРДА НОМУВОЗАНАТ АДСОРБЦИЯ
ҲИСОБГА ОЛИНИБ МОДДА КЎЧИШИ МАСАЛАЛАРИНИ ЕЧИШ

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Самарқанд – 2019

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.2.PhD/FM354 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд Давлат университетида бажарилган.
Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.samdu.uz) ва "Ziyounet" ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: Хўжаёров Бахтиёр Хўжаёрович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар: Арифжанов Ойбек Мухамеджанович
техника фанлари доктори, профессор
Жабборов Мамасоли Содикович
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етақчи ташкилот: Механика ва ишпоотлар сейсмик мустаҳкамлиги
институтини

Диссертация ҳимояси Самарқанд давлат университети ҳузуридаги DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 рақамли Илмий кенгашнинг «17» январь 2020 йил соат 11⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 140104, Самарқанд бн., Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 231-06-32, факс: (+99866) 235-19-38, 239-12-47, e-mail: patent@samdu.uz).

Диссертация билан Самарқанд давлат университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (125 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 140104, Самарқанд ш., Университет хиёбони, 15-уй. Тел.: (+99866) 231-06-32.

Диссертация автореферати 2019 йил «30» декабрь кунин тарқатилди.
(2019 йил «28» декабрь даги 8 рақамли реестр баённомаси).



Р.И.Халмуратов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор

А.Абдирашидов
Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби,
физика-математика фанлари бўйича
фан доктори (DSc), доцент

Ж.Акилов
Илмий даражалар берувчи Илмий
кенгаш қошидаги илмий семинар раиси
Ўринбосари, физика-математика
фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда радионуклидларнинг ғовак қатламлар орқали ҳаракатига доир экологик муаммолар билан боғлиқ бўлган моддаларнинг ёриқ-ғовак муҳитларда кўчиши масаласини ўрганишга катта эътибор қаратилмоқда. Бундан ташқари, актив, радиоактив чиқиндиларни ер ости геологик сақлаш учун яроқлилик даражасини баҳолаш муаммолари ҳам ёриқ-ғовак муҳитларда моддалар ва радионуклидларнинг кўчишини тадқиқ қилишни тақозо этади. Бундай тадқиқотлар ва тажрибаларни амалга ошириш диффузион кўчиш жараёнларини, ёриқ ва матрицанинг ўзаро таъсирлашувини чуқур англашни талаб қилади. Шунинг учун кўпгина хорижий мамлакатларда, жумладан АҚШ, Англия, Франция, Германия, Япония, Хитой, Россия Федерацияси ва бошқа ривожланган давлатларда ёриқ-ғовак муҳитларда суюқликда эритилган моддаларни ҳайдаш орқали нефтни қазиб олишни интенсификация қилиш ва турли хил чиқиндиларни ер ости резервуарларига утилизация қилишда модда кўчиши жараёнларини гидродинамик моделлаштириш, уларни тадқиқ этишнинг ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ҳамда замонавий ҳисоблашнинг дастурий воситаларини яратишга алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда турли хил саноат чиқиндилари ҳажмининг тобора ошиб бораётганлиги ва натижада атроф муҳит экологияси бузилиши нормаларининг ошиб бориш тенденцияси, уларни утилизация қилиш ва қайта ишлашнинг замонавий усулларини ҳамда технологияларини янада такомиллаштиришга йўналтирилган илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан моддаларнинг ғовак ва ёриқ-ғовак муҳитларда кўчиш жараёнларини математик моделлаштириш, қулай ва афзал усулларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга гидродинамик моделлар фундаментал физик ва кимёвий қонунларга асосланиб, жараённи ўрганишда юзага келувчи феноменологик характерли ёндашувларни эътиборга олиш билан бир қаторда гидродинамик модел, ҳисоблаш алгоритми ва дастурларини ишлаб чиқариш зарур ҳисобланади.

Республикамизда амалиётга жорий этилаётган модда кўчишини моделлаштириш масалалари экологик муаммоларни ҳал қилишда муҳим аҳамият касб этмоқда, хусусан пестицидлар ва актив моддаларнинг ёриқ-ғовак муҳитларда ҳаракатини тавсифлашда, атроф муҳит химояси, нефт ва газни қазиб олиш ҳамда техниканинг бошқа соҳаларида кенг қўлланилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...ишлаб чиқаришни жадал ривожлантиришга қаратилган сифат жиҳатидан янги босқичга ўтказиш..., ирригация объектлари тармоқларини ривожлантириш...»¹ вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга ошириш, жумладан ёриқ-ғовак муҳитларда

¹ Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги ПФ-4947-сон Фармони.

моддалар кўчиши ва оқими жараёнларини ифодаловчи такомиллаштирилган математик моделларни яратиш муҳим вазифалардан бири ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 30 июндаги ПҚ-3107-сон «Нефть ва газ саноатини бошқариш тизимини мукаммаллаштириш тўғрисида», 2018 йил 2 июлдаги ПҚ-3823-сон «Сув ресурсларидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2018 йил 18 майдаги ПҚ-3730-сон «Маиший чиқиндилар билан боғлиқ ишларни амалга ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида», 2018 йил 6 августдаги ПҚ-3899-сон «Илмий ва инновацион фаолиятни интеграция қилиш тизими самарадорлигини оширишга доир чора-тадбирлар тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Юқоридагиларга асосланиб шуни айтиш мумкинки, модданинг ёриқ-ғовак муҳитларда кўчиш жараёнларини адсорбция, диффузия ва радиоактив (химик-биологик) емирилиш ҳодисаларини ҳисобга олган ҳолда ўрганиш долзарб масаладир.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Математика, механика ва информатика» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Нефть-газ, грунт қатламларида сизишнинг гидродинамик моделларини яратиш, ёриқ-ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнларини математик моделлаштириш ва такомиллаштириш ҳамда уларни тадқиқ қилишда хорижлик олимлар М.Е.Thompson, G.E.Grisak, J.F.Pickens, J.A.Cherry, E.O.Frind, E.A.Sudicky, N.Watanabe, N.Hirano, A.Okamoto, D.Reynolds, B.Kueper, B.Berkowitz, S.K.Matthai, A.Mezentsev, E.Unsal, S.K.Matthaii, M.J.Blunt, Y.W.Tsang, C.F.Tsang, I.Neretnieks, M.Selim ва бошқаларнинг ишлари аҳамиятга молик.

Ўзбекистонда ёриқ-ғовак муҳитларда суюқлик ҳаракати ва модда кўчиши жараёнларини тадқиқ қилиш учун математик моделлар ва ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқишда Ф.Б.Абуталиев, Э.Б.Абуталиев, Н.М.Мухитдинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Ж.Акилов, Н.Равшанов, Ш.Каюмов, И.К.Хўжаев, К.Н.Наврұзов, Б.Х.Хўжаёров ва бошқалар муҳим ҳисса қўшган ва қўшмоқда.

Бугунги кунда ёриқ-ғовак муҳитларда модда кўчишининг қатор мавжуд моделлари жараённинг асосий хусусиятларини ифодалаб, модданинг адсорбцияланиши, химик-биологик (радиоактив) емирилиши ҳисобга олиниб, кўчиш билан боғлиқ масалаларни ечиш усули ва алгоритмларни ишлаб чиқишдаги муаммолар етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.

Диссертация иши ЎзР ФА Самарқанд бўлими Минтақавий муаммолар комплекс илмий тадқиқот институти (ММКИТИ)нинг фундаментал тадқиқотларини қўллаб қувватлаш фондининг №100-06 рақамли гранти "Ёриқ-

ғовак мухитларда адсорбцияни ҳисобга олиб инерт ва актив моддалар кўчишининг гидродинамик масалалари" (2006-2007) ва ЎзР ФА Самарқанд бўлими ММКИТИнинг ФА-Ф1-Ф042 рақамли "Ғовак мухитларда биржинслимас суюқликлар сизиши гидродинамик моделларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш" (2007-2008) мавзусидаги илмий-тадқиқот лойиҳалари доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади: ёриқ-ғовак мухитларда номувозанат адсорбция ҳамда диффузияни ҳисобга олган ҳолда модда кўчиши ва суюқликлар ҳаракати масалаларининг гидродинамик моделларини такомиллаштириш ва сонли ечиш усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

ёриқ-ғовак мухитларда модда кўчиши моделларини таҳлил қилиш ва масалани ечиш усулларини ишлаб чиқиш;

ёриқ-ғовак мухитларда модда кўчиши жараёнларини модданинг ёриқдан ғовак блокка диффузион узатилиши, гидродинамик дисперсия ва мухитлараро конвектив кўчишни ҳисобга олган ҳолда ечиш;

номувозанат адсорбцияни ҳисобга олиб кўчишнинг асосий хусусиятларини аниқлаш (концентрация майдони, мухитлараро модда алмашинуви ва бошқалар);

иккита ёриқдан ва улар орасида жойлашган ғовак блоклардан ташкил топган ёриқ-ғовак мухит элементида адсорбцияланувчи моддаларнинг кўчиши масалаларини ечиш;

ёриқ-ғовак мухит элементида адсорбцияланган моддаларнинг кўчиши жараёнларини кўндаланг ва бўйлама диффузияни ҳисобга олган ҳолда моделлаштириш ва уни ечиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида модда (аралашма) билан тўйинган суюқлик, ёриқ-ғовак мухитлар олинган.

Тадқиқотнинг предмети ёриқ-ғовак мухитда адсорбцияланувчи модда кўчиши жараёнлари математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва гидродинамик жараёнлар ўзгариш қонуниятларини ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Тадқиқот жараёнида механиканинг фундамен-тал қонунлари ва кўшимча феноменологик фаразлар асосида ёриқ-ғовак мухитларда модда кўчишининг гидродинамик моделларини яратиш ва таҳлил қилиш, усулнинг барқарорлигига асосланган ҳолда, ночизиқли дифференциал тенгламаларни ечишнинг чекли айирмалар усулидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

номувозанат адсорбция ва унинг хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда ёриқ-ғовак мухитда модда кўчиши ва суюқлик ҳаракати масалалари ечилган ҳамда уларнинг ушбу мухитдаги инерт ва актив моддалар кўчишига таъсири баҳоланган;

битта ёриқ ва ғовак блокдан, шунингдек иккита ёриқ ва уларнинг ўртасидаги ғовак блоклардан ташкил топган ёриқ-ғовак мухит элементида модда кўчиши масаласи учун номувозанат адсорбциянинг уч хил кўринишдаги тенгламалари тузилган;

нумовозанат адсорбцияни ва диффузияни ҳисобга олиб модда кўчишининг математик модели ишлаб чиқилган ва адсорбциянинг муҳитлар чегарасидаги модда алмашинуви кўрсаткичларига сезиларли таъсир этиши исботланган;

модданинг химик-биологик активлиги ёки радиоактив емирилиши ҳисобга олинганда концентрация тарқалиш майдонининг қисқариши ва адсорбция қийматининг камайишига олиб келиши аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйдагилардан иборат:

кинетик ёндашувга асосланган ҳолда ёриқ-ғовак муҳитда моддалар кўчишини ҳисоблаш алгоритми ишлаб чиқилган;

адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда, ёриқ-ғовак муҳитда модда кўчишини ҳисоблаш учун мўлжалланган дастурий таъминот ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги: Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги маълум ва кўп маротаба текширилган ер ости гидродинамикаси тенгламаларига асосланган бўлиб, адсорбцияланувчи моддаларнинг кўчиши масаласини ечишда ошқормас чекли айирмалли схемалардан фойдаланилганлиги, рақамли ҳисоб-китобларни амалга оширишда методнинг барқарорлигига асосланганлиги, олинган натижалар физик жиҳатдан таҳлил қилинганлиги, уларнинг ҳақиқий физик жараёнларга мувофиқлиги баҳоланганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти адсорбциянинг турли хил кинетик тенгламаларига асосланиб ёриқ-ғовак муҳитларда суюқлик ҳаракати ва модда кўчиши назариясига ҳисса қўшиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти олинган натижалар нефт ва газ қазиб олиш жараёнлари, гидрология, гидротехника, суғориш ва кимёвий технологиянинг турли жараёнларини таҳлил қилишда кенг қўллаш, гидродинамик моделлар ёрдамида ёриқ-ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнини таҳлил қилиш ва уни ўрганишга методологик ёндашувни ишлаб чиқиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Ёриқ-ғовак муҳитларда суюқлик ҳаракати ва модда кўчиши жараёнларининг такомиллаштирилган моделларини сонли тадқиқ этиш бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалари асосида:

суюқлик ҳаракати ва адсорбцияланган модданинг ёриқ-ғовак муҳитда кўчиши жараёнининг гидродинамик дисперсия, диффузия ва нумовозанат адсорбция эффектларини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган моделлари ва ҳисоблаш алгоритмлари БВ-Атех-2018-9 рақамли «Техноген омиллардан атмосфера ва сув ресурсларини ҳимоялаш масалаларини ечиш учун моделлар, тақсимланган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалар ишлаб чиқиш» фундаментал лойиҳасида тупроқли қатламларда нам туз кўчиши миқдорини ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 26 апрелдаги 33-8/2897-сонли маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланили-

ши рақамли алгоритмларни амалга оширишда ҳисоб-китоб экспериментларини автоматлаштиришга ва ғовак муҳитда модда кўчишининг мураккаб масалаларини ечиш жараёнини ҳисоблаш давомийлигини сезиларли даражада қисқартириш имконини берган;

инерт ва актив моддаларнинг ёриқ-ғовак муҳитларда кўчиши жараёнининг такомиллаштирилган математик моделларини тузиш ва сонли таҳлил этиш бўйича олинган натижалар ФА-Ф078 рақамли «Ғовак муҳитларда биржинслимас суюқликлар сизиши гидродинамик моделларини ишлаб чиқиш ва тадқиқ қилиш» лойиҳада ғовак муҳит деворларига модда концентрациясининг адсорбцияланишини ҳисоблашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2019 йил 5 ноябрдаги 89-03-4297-сонли маълумотномаси). Илмий натижанинг қўлланилиши мураккаб геометрияли соҳалар учун ер ости қатламларида адсорбцияланувчи модда кўчишининг кўп ўлчовли масалаларини гидродинамик моделларини такомиллаштириш, ҳисоблаш экспериментини ўтказиш ва натижаларни визуаллаштириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 2 та халқаро ва 2 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 12 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 1 таси хорижий нашрда ва 5 таси республика нашрларида, 2 та маҳаллий нашрларда чоп этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертация кириш, учта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 103 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг “**Ёриқ-ғовак муҳитларда адсорбцияланувчи модда кўчиши жараёнларини моделлаштириш**” деб номланувчи биринчи бобида адабиётлар манбалари асосида адсорбция ҳодисасига оид умумий маълумотлар келирилган. Асосий эътибор мувозанат ва номувозанат адсорбциянинг бир нечта турига қаратилган. Ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнларига бағишланган гидродинамик методлар таҳлил этилган. Ёриқ-

Ғовак мухитларда модданинг кўчиш жараёнларини гидродинамик таҳлил қилиш усуллари ҳақида умумий маълумот берилган.

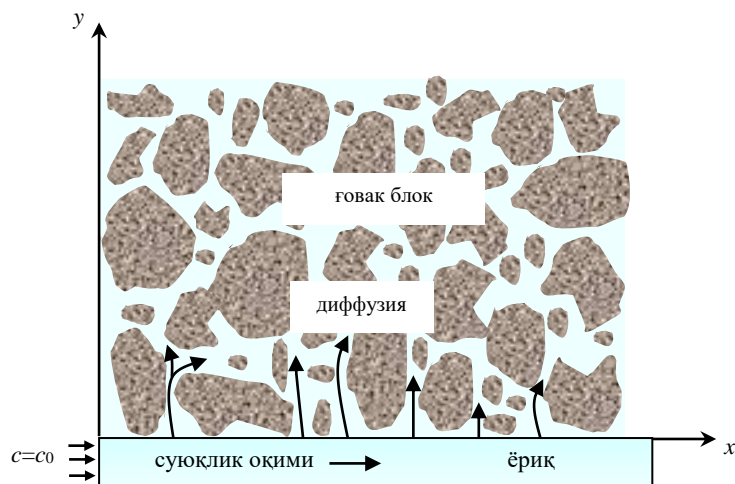
1.1 параграфда ғовак мухитда модданинг кўчиши жараёнларини гидродинамик таҳлил этиш усуллари ҳақида умумий маълумотлар берилган.

1.2 параграфда ёриқ-ғовак мухитларда модданинг кўчиши жараёнларини гидродинамик таҳлил қилиш усуллари ҳақида умумий маълумотлар берилган. Ёриқ-ғовак мухитларда модданинг конвектив диффузияси ва гидродинамик дисперсиясини ҳисобга олиб адсорбцияланувчи модда кўчишининг асосий тушунчалари қисқача баён этилган.

Диссертациянинг “**Ёриқ-ғовак мухитларда номувозанат адсорбция ҳисобга олиниб модда кўчиш жараёнларини гидродинамик моделлаштириш масалалари**” деб номланувчи иккинчи бобида ёриқ-ғовак мухитларда модда кўчиши масаласи номувозанат адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда ечилган.

2.1 параграфда гидродинамик дисперсия, ёриқдаги диффузия эффектлари ва унинг мухитдаги кўчиш жараёнига таъсирини ҳисобга олган ҳолда, адсорбцияланувчи модданинг битта ғовак блок ва битта ёриқдан ташкил топган мухитда модда кўчиши масаласи қаралган.

Битта ёриқ ва унга бириктирилган ғовак блокдан ташкил топган ёриқ-ғовак мухит элементи тадқиқот объекти сифатида қаралади (1-расм). Ёриқ ярим чексиз соҳадан иборат, модданинг тақсимланиши ва суюқлик оқими унинг кўндаланг кесими бўйлаб бир жинслидир. Масаланинг бундай қўйилишида ёриқнинг иккинчи ўлчами, яъни унинг қалинлигини ўзгариши ҳисобга олинмайди. Ғовак блок текисликнинг биринчи чорагини эгаллайди, яъни $R \{0 \leq x < \infty, 0 \leq y < \infty\}$ соҳа қаралади.



1-расм. Ёриқдан ғовак блокка модда кўчишининг схематик тасвирлиши

Ёриқда суюқлик доимий g тезлик билан ҳаракатланади. Координата боши $x = 0$ нуқтадан унга доимий c_0 концентрацияли суюқлик ҳайдалади. Дастлаб қаралаётган мухит тоза суюқлик билан тўлдирилган. Ёриқда модданинг конвектив-диффузион кўчиши, ғовак блокда эса диффузион кўчиш рўй беради.

Ёриқда ҳамда ғовак блокда кўчиш жараёнида модда адсорбцияланиши мумкин.

Ёриқда ва ғовак блокда модданинг кўчиши конвектив диффузия ва адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда қуйидаги баланс тенгламалари орқали ифодаланади:

$$b \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b D_f^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_m D_m^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho}{\theta_m} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_m^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (2)$$

бу ерда $c_f = c_f(t, x)$ - ёриқдаги модда концентрацияси, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $c_m = c_m(t, x, y)$ - матрицадаги модда концентрацияси, $\text{м}^3/\text{м}^3$; $s_f = s_f(t, x)$ - ёриқдаги адсорбцияланган модданинг концентрацияси, $\text{м}^3/\text{кг}$; $s_m = s_m(t, x, y)$ - матрицадаги адсорбцияланган модданинг концентрацияси, $\text{м}^3/\text{кг}$; D_m^* - матрицадаги эффектив диффузия коэффициенти, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ - тўйинган муҳитнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; b - ёриқнинг кенглиги, м ; θ_m - матрицанинг ғоваклик коэффициенти, t - вақт, с .

Ёриқ бир ўлчамли объект сифатида моделлаштирилади, шунинг учун унинг бўйлама кесими бўйича концентрациянинг тақсимланиши эътиборга олинмайди. Ёриқда конвектив диффузия коэффициенти D_f^* қуйидаги кўринишга эга:

$$D_f^* = D^* + \eta \frac{w}{\theta} \quad (3)$$

бу ерда D^* - модда (суюқлик)нинг молекуляр диффузия коэффициенти, η - ёйилиш коэффициенти, м ; $\frac{w}{\theta}$ - суюқликнинг физик тезлиги. Ёриқда суюқликнинг ҳаракати ва сизиш тезлиги бир бирига мос, яъни $\theta = 1$. У ҳолда (3) ифода қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$D_f^* = D^* + \eta \vartheta \quad (4)$$

бу ерда ϑ - суюқлик оқимининг тезлиги. Ушбу ўзгаришларни ҳисобга олгандан сўнг, (1) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} = (D^* + \eta \vartheta) \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \frac{\theta_m D_m^*}{b} \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad 0 \leq x < \infty. \quad (5)$$

Бу тенглама ёриқда модданинг конвектив диффузион кўчиш тенграмасини ифодалайди.

(2), (5) тенгламалар системасини ёриқда ва ғовак блокда мувозанат адсорбцияни (Генри изотермаси) ҳисобга олиб ечамиз. Генри изотермасини вақт бўйича дифференциаллаб қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = k_f \frac{\partial c_f}{\partial t}, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (6)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = k_m \frac{\partial c_m}{\partial t}, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (7)$$

бу ерда k_f , k_m - ёриқда ва матрицадаги адсорбция коэффициентлари, м³/кг.

Соҳанинг $x = \infty$ ва $y = \infty$ чегарасида модда оқими йўқ деб қараймиз. $y = 0$ чегарада c_m ва c_f концентрацияларнинг тенглиги таъминланади. Бундай ҳолда бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидагича ёзилади:

$$c_f(0, x) = c_m(0, x, y) = 0, \quad (8)$$

$$c_f(t, 0) = c_0, \quad (9)$$

$$c_f(t, x) = c_m(t, x, 0), \quad (10)$$

$$\frac{\partial c_f(t, \infty)}{\partial x} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial c_m(t, x, \infty)}{\partial y} = 0, \quad (12)$$

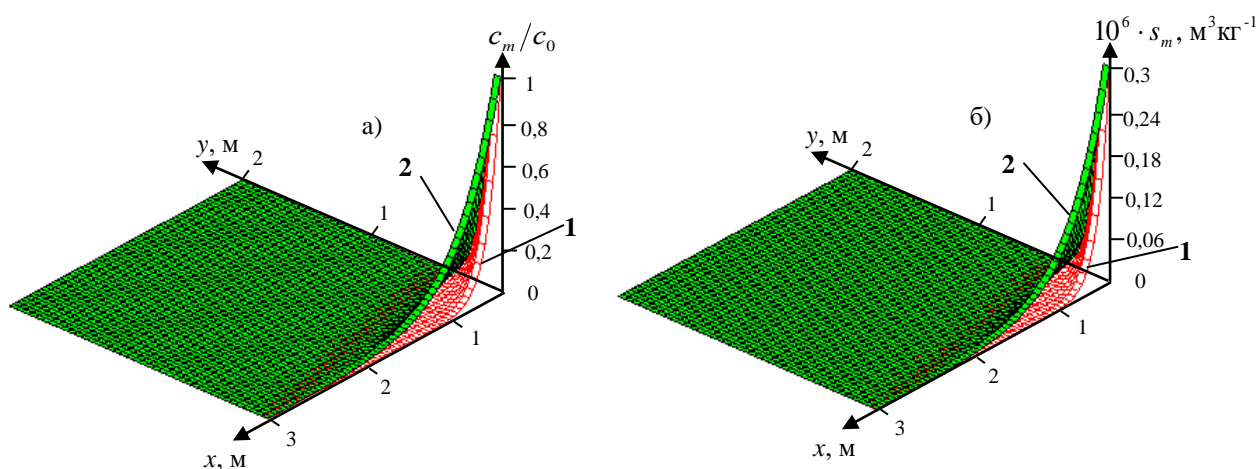
(2), (5) - (7) тенгламалар системаси (8) - (12) шартларни ҳисобга олган ҳолда чекли айирмалар усули билан ечилган. c_f ва c_m концентрация майдони аниқланган. Ёриқдан матрицага ўтувчи модданинг оқими молекуляр диффузия коэффициентлари ва суюқлик тезлигининг турли қийматлари учун баҳоланган:

- нисбий жорий модда алмашинуви: $Q = -\theta_m D^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}$;

- $y = 0$ чегарадаги нисбий умумий модда алмашинуви: $Q_{\text{общ}} = \int_0^{\infty} Q \, dx$;

- нисбий жамланма модда алмашинуви: $Q_{\text{сум}} = \int_0^t Q_{\text{общ}} \, dt = \int_0^t \int_0^{\infty} Q \, dx \, dt$.

2-расмда c_m/c_0 нисбий концентрация ва s_m адсорбцияланган концентрация майдони кўрсатилган. Ушбу сиртлардан кўринадики, ёриқда молекуляр диффузиянинг ($D^* \neq 0$) ҳисобга олиниши ёриқда c_f ва ғовак блок



2-расм. Нисбий концентрация c_m/c_0 (а) ва s_m (б) сиртлари, бунда $\eta = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $g = 5 \cdot 10^{-4}$ м/с, $t = 10000$ с, $D^* = 0$ (1), $D^* = 1 \cdot 10^{-5}$ м²/с (2).

(матрица)да c_m коцентрация майдонининг кенгрок тарқалишига олиб келади (2-а расм). Ўз навбатида, молекуляр диффузия ёриқда ва ғовак блокдаги адсорбция майдонининг ошишига олиб келади (2-б расм).

Шунингдек, диффузия ёриқ ва ғовак блок орасидаги модда алмашинувиға сезиларли таъсир кўрсатиши аниқланган.

2.2 параграфда ёриқ-ғовак мухитда модда кўчиши масаласи номувозанат адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда ечилган. Адсорбция кинетикаси чизикли ва чизикли бўлмаган ҳоллар учун таҳлил этилган. (1), (2) тенгламаларда R соҳадаги адсорбция ўзгариши номувозанат кинетикага асосан юз беради. Номувозанат адсорбциянинг қуйидаги хусусий ҳоллари қаралган:

1. Чизикли номувозанат адсорбция.

Бу ерда ёриқ-ғовак мухитда модданинг адсорбцияси чизикли номувозанат кинетика асосида рўй беради деб олинади

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f (k_f c_f - s_f), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (13)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m (k_m c_m - s_m), \quad 0 \leq y < \infty, \quad (14)$$

бу ерда α_f, α_m - ёриқ ва матрицада адсорбция жараёнининг интенсивлигини характерловчи коэффициентлар, c^{-1} . (13) ва (14) тенгламаларда $t \rightarrow \infty$ да, қуйидаги $s_f = k_f c_f$ ва $s_m = k_m c_m$ чизикли мувозанат адсорбция (Генри изотермаси) тенгламалари ҳосил бўлади. (13), (14) тенгламалар учун бошланғич шарт қуйидагича бўлади

$$s_f(0, x) = s_m(0, x, y) = 0. \quad (15)$$

(1), (2) тенгламалар системаси (13), (14) ни ҳисобга олинганда ва (8) - (12) ҳамда (15) шартларда чекли айирмалар усули билан ечилди. Сонли натижалардан фойдаланиб c_m ва c_f коцентрациялар ҳамда s_m ва s_f адсорбция майдонлари профиллари қурилди. Адсорбция коэффицентларининг турли қийматлари учун ёриқдан ғовак блокка ўтувчи масса оқими аниқланди. Олинган натижаларга таҳлиliga кўра, адсорбция коэффицентлари k_f ва k_m нинг ошиши нисбий модда алмашинувининг ортишига олиб келади.

Агарда модданинг адсорбцияланиши номувозанат равишда рўй берса, мухитнинг турли нуқталарида коцентрация профили ва адсорбция профилининг ўзгариш динамикаси (темп) турлича кечади. Бунда адсорбциянинг ёриқда ва ғовак блокда коцентрация майдонининг тарқалишига таъсирини баҳолаш мақсадида қуйидаги коцентрация ва адсорбция профилларининг моментини ҳисоблаймиз:

$$c_{fl} = \int_0^{\infty} x^l c_f(t, x) dx, \quad c_{ml} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} x^l y^l c_m(t, x, y) dx dy,$$

$$s_{fl} = \int_0^{\infty} x^l s_f(t, x) dx, \quad s_{ml} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} x^l y^l s_m(t, x, y) dx dy, \quad l = 0, 1, \dots$$

Ушбу моментлардан фойдаланиб, модданинг кўчиши ва адсорбциясининг турли хил характеристикаларини баҳолаш мумкин. Ушбу $x_{fc} = \frac{c_{f1}}{c_{f0}}$, $x_{fs} = \frac{s_{f1}}{s_{f0}}$

катталиқлар ёриқдаги модда концентрацияси ва адсорбцияланган модда концентрациясининг «ўртача тарқалиш масофаси»ни билдиради (мос ҳолда

x_{fc} ва x_{fs}). $\Omega_{mc} = \frac{c_{m1}}{c_{m0}}$, $\Omega_{ms} = \frac{s_{m1}}{s_{m0}}$ катталиқлар мос ҳолда ғовак блокдаги

модда концентрацияси ва адсорбцияланган модда концентрациясининг «ўртача тарқалиш майдони»ни билдиради. x_{fc} , x_{fs} , Ω_{mc} , Ω_{ms} нинг вақт бўйича ўзгариш динамикаси чизиқли мувозанат ва чизиқли номувозанат кинетика адсорбциялари учун таққосланди. Мувозанат адсорбцияга нисбатан номувозанат кинетика адсорбцияси адсорбция майдонининг қисқаришига, бу эса ўз навбатида концентрация профилининг кенгрок тарқалишига олиб келиши аниқланди.

2. Ночизиқли номувозанат адсорбция.

Бу ерда Фрейндлих ва Ленгмюр изотермалари асимптотикасига мос келувчи номувозанат адсорбция кинетикаси таҳлил қилинган. (1), (2) тенгламаларда R соҳадаги адсорбция ўзгариши номувозанат кинетикага асосан юз беради. Бунда номувозанат адсорбциянинг қуйидаги хусусий ҳоллари қаралади:

2.1. Мувозанат ҳолатида Фрейндлих изотермасига мос келувчи номувозанат адсорбция.

Бу ҳолда (13), (14) билан ифодаланувчи чизиқли адсорбция кинетикасининг ўрнига чизиқлимас кинетикани қараймиз

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f (k_f c_f^N - s_f), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (16)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m (k_m c_m^N - s_m), \quad 0 \leq y < \infty, \quad (17)$$

бу ерда N - ўзгармас.

(16) ва (17) тенгламалар мос равишда ёриқ ва ғовак блокда мувозанат ҳолатида Фрейндлих изотермасига мос келувчи номувозанат адсорбция кинетикасини ифодалайди. (16) ва (17) тенгламалардан $t \rightarrow \infty$ да мувозанат адсорбция (Фрейндлих изотермаси) тенгламалари ҳосил бўлади

$$s_f = k_f c_f^N, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (18)$$

$$s_m = k_m c_m^N, \quad 0 \leq y < \infty. \quad (19)$$

2.2. Мувозанат ҳолатида Ленгмюр изотермасига мос келувчи номувозанат адсорбция.

Бу ерда ёриқ-ғовак муҳитда модда адсорбциясини мувозанат ҳолатида Ленгмюр изотермасига мос келувчи ночизиқли кинетика орқали ифодалаймиз

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f \left(\frac{a_f c_f}{1 + b_f c_f} - s_f \right), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (20)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m \left(\frac{a_m c_m}{1 + b_m c_m} - s_m \right), \quad 0 \leq y < \infty, \quad (21)$$

бу ерда a_f , a_m , b_f , b_m - Ленгмюр константалари. $t \rightarrow \infty$ да (20) ва (21) тенгламалардан қуйидаги

$$s_f = \frac{a_f c_f}{1 + b_f c_f}, \quad 0 \leq x < \infty \quad (22)$$

$$s_m = \frac{a_m c_m}{1 + b_m c_m}, \quad 0 \leq y < \infty \quad (23)$$

ночизикли мувозанат адсорбция (Ленгмюр изотермаси) қонунини ҳосил қиламиз.

2.3 параграфда юқоридаги масала модданинг радиоактивлиги ёки химик-биологик емирилиши каби жараёнлар учун қаралган. Химик-биологик активлик деганда модданинг муҳит скелети билан химиявий ёки биологик ўзаро таъсирлашуви остидаги емирилиши тушунилади. Радиоактив модда ер остига кўмилганда табиий парчаланиш туфайли унинг концентрацияси вақт ўтиши билан камайиб боради. Таъкидлаш жоизки, химик-биологик ёки радиоактив емирилиш ҳисобига модданинг концентрацияси нолгача камайиши мумкин. Шунинг учун ғовак сиртига модданинг адсорбцияланиши масаласи қаралганда адсорбцияланувчи модданинг емирилиш қонуниятларини эътиборга олиш лозим.

Радиоактив ёки химик-биологик емирилишни ҳисобга олганда ёриқда ва ғовак блокда адсорбцияланувчи модда кўчиши тенгламалари қуйидагича ёзилади

$$b \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b D_f^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_m D_m^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0} - b \lambda_f c_f - b \rho \lambda_{sf} s_f, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (24)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho}{\theta_m} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_m^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2} - \lambda_m c_m - \frac{\rho}{\theta_m} \lambda_{sm} s_m, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (25)$$

бу ерда λ_f , λ_m - модданинг ёриқда ва матрицадаги радиоактив емирилиш ёки химик-биологик парчаланиш ($\lambda = \lambda_m = \lambda_f$) коэффициентлари, λ_{sf} , λ_{sm} - адсорбцияланган модданинг ёриқда ва матрицадаги радиоактив ёки химик-биологик емирилиш коэффициентлари. (24), (25) тенгламалар мувозанат ҳолатида Фрейндлих изотермасига мос келувчи номувозанат адсорбцияни ҳисобга олиб ечилган. Бошланғич ва чегаравий шартлар 2.1 - 2.2 - § дагидек қолади. Актив модданинг кўчиши характеристикалари λ_f , λ_m коэффициентларнинг турли қийматларида таққосланган. Модда активлигининг концентрация профилига таъсири баҳоланган.

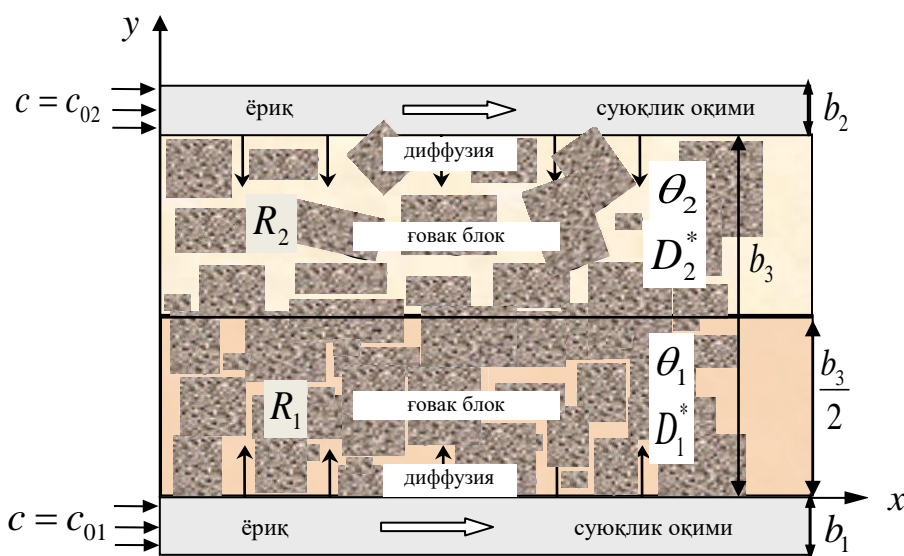
Диссертациянинг «Иккита ёриқли ёриқ-ғовак муҳит элементида адсорбцияланувчи модда кўчишини моделлаштириш» деб номланувчи учинчи бобида иккита ёриқдан ва улар орасидаги ғовак блоклардан ташкил

топган ёриқ-ғовак муҳит элементида адсорбцияланувчи модданинг кўчиши масаласи қаралган.

3.1 параграфда иккита ёриқдан ва улар орасидаги ғовак блоклардан ташкил топган ёриқ-ғовак муҳит элементида модда кўчиши масалалари таҳлили келтирилган. Масаланинг бу тарзда қўйилиши олдин кўриб ўтилган масалаларнинг оддий геометрик умумлашмаси эмас. Масалада суюқлик иккита ёриқлар орқали турли тезликларда ҳаракатланиши мумкин, бинобарин, уларда модданинг кўчиш интенсивлиги турлича бўлади.

3.2 параграфда номувозанат адсорбция ҳисобга олиниб, иккита ёриқдан ташкил топган ёриқ-ғовак муҳит элементида модда кўчиши масаласи ечилган. Бу ерда муҳит иккита ёриқ орасидаги ярим чексиз соҳали ғовак блокдан ташкил топган деб қаралган (3-расм).

Тадқиқот объекти иккита: θ_1 , D_1^* характеристикали R_1 $\left\{ 0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, 0 \leq y \leq \frac{b_3}{2} \right\}$ ва θ_2 , D_2^* характеристикали R_2 $\left\{ 0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, \frac{b_3}{2} \leq y \leq b_3 \right\}$ соҳалардан ташкил топган, бу ерда θ_1 ва θ_2 - ғоваклик коэффицентлари (ўлчамсиз катталиқ), D_1^* , D_2^* мос ҳолда R_1 ва R_2 соҳалардаги эффектив диффузия коэффицентлари, м²/с.



3-расм. Ёриқ-ғовак муҳит элементида модда кўчишининг схематик тасвирланиши

Адсорбцияни ва модда алмашинувини ҳисобга олиб ёриқлар ва блокларда модданинг конвектив-диффузион кўчиши тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$b_1 \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho_1 \frac{\partial s_f}{\partial t} + \rho_1 \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b_1 D_{f1}^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_1 D_1^* \frac{\partial c_f}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad (26)$$

$$b_2 \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho_2 \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta_2 \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b_2 D_{f2}^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} - \theta_2 D_2^* \frac{\partial c_f}{\partial y} \Big|_{y=b_3}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_1}{\theta_1} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_1^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad 0 \leq y \leq \frac{b_3}{2}, \quad (x, y) \in R_1, \quad (28)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_2}{\theta_2} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_2^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad \frac{b_3}{2} \leq y \leq b_3. \quad (x, y) \in R_2, \quad (29)$$

бу ерда D_{f1}^* , D_{f2}^* - биринчи ва иккинчи ёриқдаги конвектив диффузия коэффициентлари, $\text{м}^2/\text{с}$, ϑ_1 , ϑ_2 - биринчи ва иккинчи ёриқдаги суюқлик ҳаракати тезликлари, $\text{м}/\text{с}$, ρ_1 , ρ_2 - биринчи ва иккинчи соҳаларнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$, b_1 , b_2 - ёриқларнинг кенглиги, м .

Фрейдлих изотермасига мос келувчи номувозанат кинетика тенгламасидан фойдаланамиз

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_{f(n)} (k_{f(n)} c_f^N - s_f), \quad (30)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_{m(n)} (k_{m(n)} c_m^N - s_m), \quad (31)$$

бу ерда $k_{f(n)}$, $k_{m(n)}$ - ёриқда ва матрицадаги Фрейдлих изотермаси константалари, $\text{м}^3/\text{кг}$, $\alpha_{f(n)}$, $\alpha_{m(n)}$ - мос ҳолда ёриқ ва матрицада адсорбция жараёнининг интенсивлигини характерловчи коэффициентлар, с^{-1} , N - ўзгармас ($0 < N < 1$), n - тенглама коэффициентларининг индекси (R_1 учун $n = 1$, R_2 учун $n = 2$).

Вақтнинг бошланғич momentiда қаралаётган соҳа тоза суюқлик билан тўлдирилган деб фараз қилинади. $t > 0$ вақтдан бошлаб ёриқларга умумий ҳолда турли c_{01} ва c_{02} концентрацияли суюқликлар ҳайдалади. Қаралаётган вақт диапазонида $x = \infty$ соҳага концентрация майдони етиб бормаган деб ҳисоблаймиз. $y = \frac{b_3}{2}$ ғовак блоклар чегарасида модда концентрацияларининг узлуксизлиги таъминланган. Масаланинг қўйилишига кўра бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидагича:

$$c_f(0, x) = c_m(0, x, y) = 0, \quad (32)$$

$$c_f(t, 0) = \begin{cases} c_{01}, \\ c_{02}, \end{cases} \quad (33)$$

$$c_f(t, \infty) = 0, \quad (34)$$

$$c_f(t, x) = c_m(t, x, 0), \quad (35)$$

$$c_f(t, x) = c_m(t, x, b_3), \quad (36)$$

$$c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} - 0\right) = c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} + 0\right), \quad (37)$$

$$D_1^* \frac{\partial c_m \left(t, x, \frac{b_3}{2} - 0 \right)}{\partial y} = D_2^* \frac{\partial c_m \left(t, x, \frac{b_3}{2} + 0 \right)}{\partial y}, \quad (38)$$

$$s_f(0, x) = s_m(0, x, y) = 0. \quad (39)$$

(26) - (29) масалалар (30), (31) тенгламаларни ҳисобга олиб, (32) - (39) шартларда чекли айирмалар усули билан ечилган. Алоҳида соҳалардаги концентрация майдони ва ёриқдан ғовак блокка ўтувчи нисбий масса оқими матрицадаги (ғовак блокдаги) эффектив диффузия коэффициентининг фарқли қийматлари учун аниқланди.

3.3 параграфда ёриқ-ғовак муҳит элементида адсорбцияланувчи модданинг кўчиши масаласи ғовак блокдаги кўндаланг ва бўйлама диффузияни ҳисобга олган ҳолда кўриб ўтилди. Масалада диффузия эффектларининг ғовак блоklarдаги ролига асосий эътибор қаратилган. Тадқиқот объекти ва масаланинг қўйилиши 3.2-§ дагидек қолади. (28), (29) тенгламаларнинг ўрнига кўндаланг ва бўйлама диффузияни ҳисобга олувчи қуйидаги тенгламалар қаралади

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_1}{\theta_1} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_{1x}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial x^2} + D_{1y}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in R_1 \quad (40)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_2}{\theta_2} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_{2x}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial x^2} + D_{2y}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in R_2 \quad (41)$$

бу ерда D_{1x}^* , D_{2x}^* мос ҳолда x ўқи бўйича йўналган, D_{1y}^* , D_{2y}^* эса мос ҳолда y ўқи бўйича йўналган R_1 ва R_2 соҳаларда ғовак блокдаги эффектив диффузия коэффициентлари. Масалада R_1 ва R_2 соҳаларда адсорбция жараёни чизиқли кинетика қонуни орқали ифодаланган.

Бошланғич ва чегаравий шартлар ҳам аввалгидек қолади, аммо қуйидаги иккита чегаравий шарт қўшилади

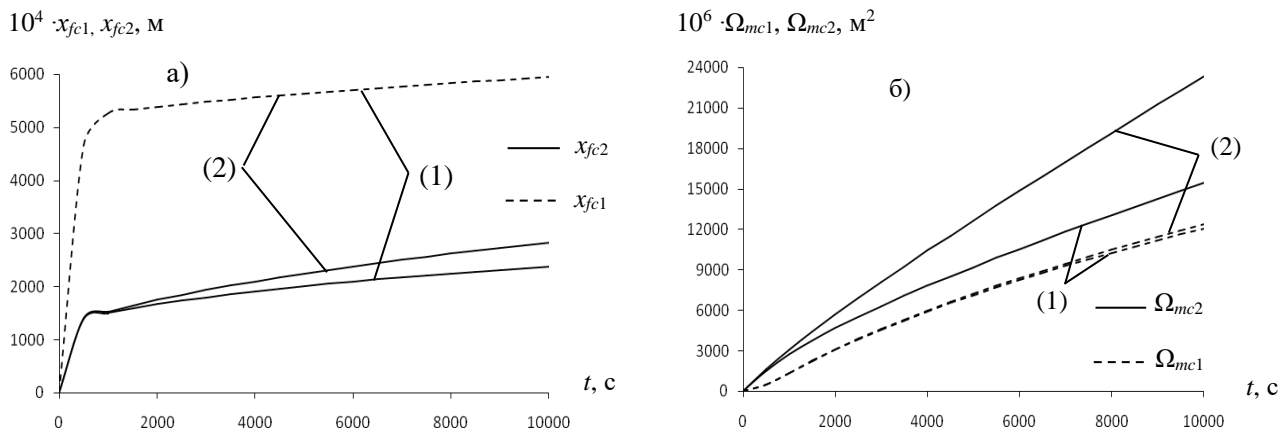
$$\frac{\partial c_m(t, 0, y)}{\partial x} = 0, \quad (42)$$

$$\frac{\partial c_m(t, \infty, y)}{\partial x} = 0, \quad (43)$$

(26), (40) ва (27), (41) тенгламалар системаси мос ҳолда (32) - (39) ва (42), (43) шартларни ҳисобга олиб сонли усулда ечилган.

Сонли натижаларга асосланиб R_1 ва R_2 соҳалардаги концентрация ва адсорбция майдони, ёриқдан ғовак блокка ўтувчи нисбий масса оқимининг ўзгариши динамикасига бўйлама ва кўндаланг диффузия ҳадларининг таъсири баҳоланди.

4-расмда x_{fc} ва Ω_{mc} нинг вақт бўйича ўзгариш графиги кўрсатилган. Графикдан кўринадики, R_2 соҳада бўйлама диффузия эффектнинг ошиши x_{fc1} ва Ω_{mc2} нинг қийматини ошишига олиб келади.



4-расм. x_{fc} (а) ва Ω_{mc} (б) нинг ўзгариш графиги.

$$(1) D_{1x}^* = D_{2x}^* = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, D_{1y}^* = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2y}^* = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$(2) D_{1x}^* = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2x}^* = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}, D_{1y}^* = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2y}^* = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Кўндаланг диффузия ёриқ ва ғовак муҳит ўртасидаги модда кўчишининг ошишига олиб келиши, бўйлама диффузия коэффициентининг ортиши эса масса алмашинувининг янада кўпроқ ортишига олиб келиши кўрсатилган.

ХУЛОСА

“Ёриқ-ғовак муҳитларда номувозанат адсорбция ҳисобга олиниб модда кўчиши масалаларини ечиш” мавзусидаги диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида қуйидаги асосий хулосалар тақдим этилди:

1. Ёриқ-ғовак муҳитда модда кўчишининг гидродинамик таҳлиliga доир маълумотлар келтирилган. Конвектив диффузия ва гидродинамик дисперсия эффектларини ҳисобга олиб ёриқ-ғовак муҳитларда адсорбцияланувчи модда кўчишини қисқача тавсифи келтирилган.

2. Битта ёриқ ва унга бириктирилган ғовак блокдан иборат ёриқ-ғовак муҳит элементида мувозанат адсорбция (Генри изотермаси) ҳисобга олиниб адсорбцияланувчи модданинг кўчиши масаласи ечилган. Сонли натижаларга асосланиб модда концентрацияси ва адсорбция майдони ҳамда муҳитлар чегарасидаги нисбий модда оқими аниқланган. Диффузия эффекти ҳисобга олинган ҳолда ёриқда молекуляр диффузия коэффициентининг 5 марта ортиши ёриқдан ғовак блокка ўтувчи умумий модда оқимининг 12-13 % га ошиш имконини берган.

3. Ёриқ-ғовак муҳитда номувозанат адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда модда кўчиши масаласи ечилди. Мувозанат ва номувозанат ҳолатлардаги адсорбция таҳлил қилинган. Номувозанат адсорбциянинг хусусий ҳоллари кўриб чиқилди: чизиқли ва ночизиқли. Олинган натижалар асосида адсорбция коэффициентининг ошиши мувозанатли адсорбция режимига ўтишининг тезлашишига олиб келиши кўрсатилган.

4. Модданинг химик-биологик ёки радиацион фаоллиги бўлган ҳолдаги масала кўриб чиқилди. Модданинг емирилиши концентрациянинг тарқалиши ва адсорбция майдонининг қисқаришига олиб келиши кўрсатилган. Ушбу

жараён ёриқ ва ғовак блок чегарасида юқори концентрация градиентлари ҳосил бўлишига, бу ўз навбатида муҳитлар чегарасида нисбий модда алмашинувиға сезиларли таъсир қилиши кўрсатилган.

5. Ярим чексиз соҳада ҳар иккала томондан ёриқлар билан ўралган ғовак блоклардан иборат ёриқ-ғовак муҳит элементида модда кўчиши масаласи қаралган. Ёриқлар ва ғовак блоклар бир ўлчамли ва ярим чексиз деб ҳисобланди. Тадқиқот соҳаси икки қисмдан иборат: характеристик катталиклари D_1^*, θ_1 га эға бўлган $R_1 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, 0 \leq y \leq b_3/2\}$ ва θ_2, D_2^* га эға $R_2 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, b_3/2 \leq y \leq b_3\}$ соҳалар. Ёриқлардан ғовак блокларға модданинг диффузион кўчиши масаласи қаралган. Бундай ҳол учун номувозанат адсорбциянинг икки (чизикли ва ночизикли кинетикаси) тури таҳлил қилинди ва унинг ёриқ-ғовак муҳит элементидаги модда кўчишиға таъсири ўрганилган. Ғовак блокларда эффектив диффузия коэффициентининг турли хил қиймати учун модда концентрациясининг ва адсорбциянинг ассиметрик тақсимоти олинган.

6. Ёриқ-ғовак муҳит элементида адсорбцияланувчи модда кўчиши бўйлама ва кўндаланг диффузия ҳисобға олинган ҳолда қараб ўтилди. Асосий эътибор ғовак блокдаги диффузиянинг ролиға қаратилган. R_2 соҳадаги кўндаланг ва бўйлама диффузия коэффициентлари қийматининг кетма-кет ошиб бориши билан адсорбция майдонининг ошиб бориши кўрсатилди. Шу билан бирға у ўқи бўйлаб йўналган диффузия оқими кучайиб бориши аниқланди. Бўйлама ва кўндаланг диффузия модда концентрациясининг тарқалиши, ёриқдан ғовак блокға ўтувчи нисбий модда оқимиға, шунингдек ёриқдаги ва ғовак блокдаги модда концентрацияси ва адсорбцияси моментлари қийматининг ошишиға олиб келиши аниқланган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.30.08.2018.FM/T.02.09
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ САМАРКАНДСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МУСТОФОКУЛОВ ЖАББОР АХМАТКУЛОВИЧ

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА В ТРЕЩИНОВАТО-
ПОРИСТЫХ СРЕДАХ С УЧЕТОМ НЕРАВНОВЕСНОЙ АДСОРБЦИИ**

01.02.05 – Механика жидкости и газа

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)
ПО ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Самарканд – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2019.2.PhD/FM354.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета (www.samdu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель: Хужайёров Бахтиёр Хужайёрович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Арифжанов Ойбек Мухамеджанович
доктор технических наук, профессор
Джабборов Мамасоли Содикович
кандидат физико-математических наук, доцент

Ведущая организация: Институт механики и сейсмостойкости
сооружений

Защита диссертации состоится «17» января 2020 года в 11⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 при Самаркандском государственном университете (Адрес: 104000, Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (866) 235-19-38.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Самаркандского государственного университета (регистрационный номер 125). Адрес: 104000, Самарканд, Университетский бульвар, 15. Тел.: (866) 235-19-38, факс: (866) 235-19-38, e-mail: patent@samdu.uz

Автореферат диссертации разослан «30» декабря 2019 года.
(реестр протокола рассылки № 8 от «28» декабря 2019 года.)



Р.И.Халмурадов
Председатель Научного совета
по присуждению ученых степеней,
доктор технических наук, профессор

А.Абдирашидов
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней,
доктор наук (DSc) по физико-математическим
наукам, доцент

Ж.Акилов
Заместитель председателя Научного семинара при
Научном совете по присуждению ученых степеней,
доктор физико-математических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии(PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире возрос интерес к исследованию переноса веществ через трещиноватую породу, что обусловлено экологическими проблемами, связанными с переносом радионуклидов в трещиноватых пластах. Кроме того, необходимость оценки пригодности трещиноватых пород для подземного геологического хранения высокоактивных, радиоактивных отходов вызвала новый интерес к исследованиям переноса вещества в таких средах. Эти исследования позволяют более глубоко понимать процессы переноса и массообмена между трещиной и матрицей. Поэтому особое внимание уделяется разработке математических моделей и численных алгоритмов переноса веществ в ТПС во многих зарубежных странах, в том числе США, Англии, Франции, Германии, Китае, Японии, России и других развитых странах, а также созданию современных вычислительных программных обеспечений. Это обусловлено различными практическими приложениями, где процессы переноса вещества и движения жидкости в трещиновато-пористых средах (ТПС) составляют основу промышленных, опытно-промышленных работ по утилизации различных отходов в подземные резервуары, интенсификации добычи нефти путем закачки воды с различными растворенными веществами в пласты с трещиновато-пористыми коллекторами и др.

В мире ужесточение экологических норм, все возрастающие объемы различных промышленных отходов ставит задачу более тщательного изучения известных методов их утилизации и разработки более совершенных способов. Для решения этих задач удобным, предпочтительным и, наконец, наиболее дешевым путем являются методы математического моделирования процессов переноса в пористых и ТПС. С другой стороны, гидродинамические модели основываются на фундаментальные законы физики и химии, учитывают феноменологические соотношения, определяемые на основе характерных особенностей явления. Поэтому естественно ожидать получение относительно более адекватных результатов от гидродинамических моделей, по сравнению с другими моделями.

В нашей стране применение методов моделирования переноса веществ стало важным инструментом изучения экологических проблемы, в частности, при описании движения пестицидов и активных веществ через ТПС, охраны окружающей среды, добычи нефти и газа и др. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах поставлены задачи, в том числе «...дальнейшая модернизация и диверсификация промышленности путем перевода ее на качественно новый уровень ...; ... развитие сети ... ирригационных объектов ...»². Реализация этих задач, в том числе разработка передовых математических моделей, описывающих

² Указ Президента Республики Узбекистан «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» №УП-4947 от 7 февраля 2017 г.

процессы переноса веществ и фильтрации жидкости в ТПС, является одной из актуальных проблем.

В определенной степени, данная диссертационная работа служит осуществлению задач, определенных в нормативно-правовых документах касательно данной деятельности, в частности, к таковым относятся Постановление «Об усовершенствовании системы управления нефтегазодобывающей промышленностью» ПП-3107 от 30 июня 2017 года, «О мерах по повышению эффективности использования водных ресурсов» ПП-3823 от 2 июля 2018 года, «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы обращения с бытовыми отходами» ПП-3730 от 18 мая 2018 года, «О мерах по повышению эффективности системы интеграции научной и инновационной деятельности» ПП-3899 от 6 августа 2018 года, а также другие нормативно-правовые акты по данной деятельности.

Исходя из сказанного, можно заключить, что исследование моделей переноса вещества в ТПС с учетом явлений адсорбции, диффузии и радиоактивного распада вещества является актуальным.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данная диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

Степень изученности проблемы. За последние годы разработка и усовершенствование математических моделей процессов фильтрации и переноса веществ в ТПС и их численная реализация рассмотрены в работах таких ученых, как M.E.Thompson, G.E.Grisak, J.F.Pickens, J.A.Cherry, D. H.Tang, E.O.Frind and E.A.Sudicky, N.Watanabe, N.Hirano, A.Okamoto, D. Reynolds, B.Kueper, B.Berkowitz, S.K.Matthai, A.Mezentsev, E.Unsal, S.K.Matthaii, M.J.Blunt, Y.W.Tsang, C.F.Tsang, I.Neretnieks, M.Selim и другие.

В нашей Республике весомый вклад в развитие математических моделей и вычислительных методов для исследования процессов движения жидкости и переноса веществ в ТПС внесли такие отечественные ученые, как Ф.Б.Абуталиев, Э.Б.Абуталиев, Н.М.Мухитдинов, Р.Садуллаев, И.Алимов, Ж.Акилов, Н.Равшанов, Ш.Каюмов, И.К.Хужаев, К.Н.Наврүзов, Б.Х.Хужаёров и др.

Необходимо отметить, что существует ряд моделей переноса вещества в ТПС, описывающих основные особенности процесса. До сих пор, недостаточно полно проводились исследования, связанные с переносом вещества в ТПС с учетом адсорбции, радиоактивного распада или химико-биологического разложения вещества.

Связь темы диссертации с планом НИР. Тема диссертационной работы связана с планами НИР в рамках ФПФИ по контракту №100-06 - «Гидродинамические задачи переноса инертных и активных веществ в трещиновато-пористых средах с учетом адсорбционных явлений», выполненной в Комплексном научно-исследовательском институте региональных проблем (КНИИРП) Сам. отд. АН РУз (2006-2007) и по

контракту ФА-Ф1-Ф042 - «Разработка и исследование гидродинамических моделей фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах», выполненной в КНИИРП Сам. отд. АН РУз (2007-2008).

Целью исследования является усовершенствование гидродинамических моделей переноса вещества и движения жидкости в ТПС с учетом неравновесной адсорбции, диффузии и разработка численных методов решения задач.

Задачи исследования:

анализ моделей переноса вещества и разработка методов решения задач переноса вещества в ТПС;

решение задач переноса вещества в ТПС, учитывающих диффузионный массоперенос из трещин в пористый блок, гидродинамическую дисперсию, конвективный перенос в трещинах;

определение основных характеристик переноса (концентрационные поля, массообмен между средами и др.) в условиях неравновесной адсорбции;

решение задач переноса адсорбируемого вещества в элементе ТПС, состоящего из двух трещин и пористого блока между ними;

моделирование и решение процессов переноса адсорбируемого вещества в элементе ТПС с учетом продольной и поперечной диффузии.

Объект исследования является насыщенные жидкостью, растворенным в ней веществом, трещиновато-пористые среды.

Предмет исследования. Математические модели, вычислительные алгоритмы и гидродинамический анализ процессов переноса адсорбируемого вещества в ТПС.

Методы исследований. Составление и анализ гидродинамических моделей переноса веществ в ТПС на основе фундаментальных законов механики и дополнительных феноменологических гипотез, численное решение задач переноса с обоснованием устойчивости метода, решение задач нелинейных дифференциальных уравнений с помощью конечно-разностных схем.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

решены задачи переноса вещества и движения жидкости с учетом неравновесной адсорбции и оценено ее влияние на перенос инертных и активных веществ в ТПС;

анализируется три случая неравновесной адсорбции. Составлены уравнения переноса вещества в элементе ТПС, состоящего из одной трещины и пористого блока, а также из двух трещин и пористого блока между ними;

на основе численного решения задач установлены новые физические явления, как немонотонность перехода веществ через общую границу сред, существенное изменение характеристик переноса веществ в случае нелинейной кинетики и др.;

рассмотрен случай, когда вещество обладает химико-биологической или радиационной активностью. Определено, что распад вещества приводит к сокращению зоны распространения концентрации и величин адсорбции.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

составлен алгоритм расчета переноса веществ в ТПС на основе кинетического подхода;

разработаны программные средства, предназначенные для расчета переноса веществ в ТПС с учетом адсорбции.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования обосновывается при построении моделей переноса использованы фундаментальные законы сохранения и феноменологические соотношения, достоверность которых проверена на многих примерах и задачах. Задачи переноса адсорбируемого вещества решены численно с применением метода конечных разностей, проверена устойчивость метода решения. Тщательно проведен физический анализ на основе полученных результатов, оценено их соответствие реальным физическим процессам.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Научная значимость результатов исследования заключается в численном анализе задач переноса вещества и движения жидкости в ТПС на основе различных кинетических уравнений адсорбции.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты могут быть широко использованы при анализе процессов добычи нефти и газа, гидрологии, гидротехники, орошения и различных процессов химической технологии, где происходит фильтрование смесей. Предоставляется возможности анализа процесса с помощью гидродинамических моделей, так и в разработке методического подхода изучения явлений переноса в ТПС.

Внедрение результатов исследования. По результатам исследований составлены программные продукты, математические модели, численные алгоритмы, разработанные по усовершенствованным моделям процессов движения жидкости и переноса веществ в ТПС.

Результаты использованы:

при реализации научного проекта БВ-Атех-2018-9 “Разработка моделей, алгоритмов распределенных вычислений и программных средств для решения задач защиты атмосферы и водных ресурсов от техногенных факторов” посредством разработанных моделей и численных алгоритмов процесса переноса адсорбируемого вещества в ТПС с учетом гидродинамической дисперсии и диффузионных эффектов, а также моделей и вычислительного алгоритма процесса переноса вещества в ТПС с учетом неравновесной адсорбции использованы при вычислении количества влаго-солепереноса в почвогрунтах (справка № 33-8/2897 от 26 апреля 2019 года Министерства по развитию информационных технологий и коммуникаций Республики Узбекистан). Машинная реализация численных алгоритмов позволила автоматизировать проведение вычислительных экспериментов и существенно

сократить время расчетов при решении задач сложного массопереноса в пористых средах;

разработанные по усовершенствованным математическим моделям алгоритмы расчета процессов переноса инертных и активных веществ в ТПС использованы для расчетов концентрации адсорбированного вещества на стенке ТПС при реализации научного проекта ФА-Ф078 “Гидродинамические задачи фильтрации и фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах” (справка №89-03-4297 от 5 ноября 2019 года Министерства Высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан). Это позволило усовершенствовать гидродинамические модели процесса фильтрации и сложных многомерных задач переноса активного вещества в сложно-геометрических подземных резервуарах, проводить вычислительные эксперименты и визуализировать результаты решения задач переноса веществ в подземных резервуарах.

Апробация результатов исследования: Результаты данного исследования были обсуждены на 4 научных конференциях, в том числе на 2 международных и 2 республиканских.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 12 научных работ, из них 6 входят в перечень научных изданий, предложенных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 1 опубликованы в зарубежных журналах, 5 – в республиканских научных изданиях и 2 в местных изданиях.

Объём и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, основных результатов, выводов и списка использованной литературы. Объем диссертации состоит из 103 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, приведен степень изученности проблемы, сформулированы цели и задачи, выявлен объект и предмет исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, раскрыта теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о внедрении результатов исследования, об опубликованных работах и о структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной “**Моделирование процессов переноса адсорбируемого вещества в трещиновато-пористых средах**”, на основе литературных источников приводятся общие сведения о адсорбционных явлениях. Основное внимание уделяется на несколько типов равновесной и неравновесной адсорбции. Дается обзор методов гидродинамического анализа процессов переноса вещества в пористой среде, методов гидродинамического анализа процессов переноса вещества в ТПС.

В параграфе 1.1 дается обзор методов гидродинамического анализа процессов переноса вещества в пористой среде.

В параграфе 1.2 дается обзор методов гидродинамического анализа процессов переноса вещества в ТПС. Кратко изложены основные понятия переноса адсорбируемого вещества в ТПС с учетом конвективной диффузии, гидродинамической дисперсии вещества.

Во второй главе диссертации, названной “Гидродинамическое моделирование процессов переноса вещества в ТПС с учетом неравновесной адсорбции”, решаются задачи переноса вещества в ТПС с учетом неравновесной адсорбции.

В параграфе 2.1 рассмотрена задача переноса адсорбируемого вещества в среде, состоящей из одиночного пористого блока и одиночной трещины, с учетом гидродинамической дисперсии, диффузионных эффектов в трещине и их влияния на перенос вещества в пористой среде.

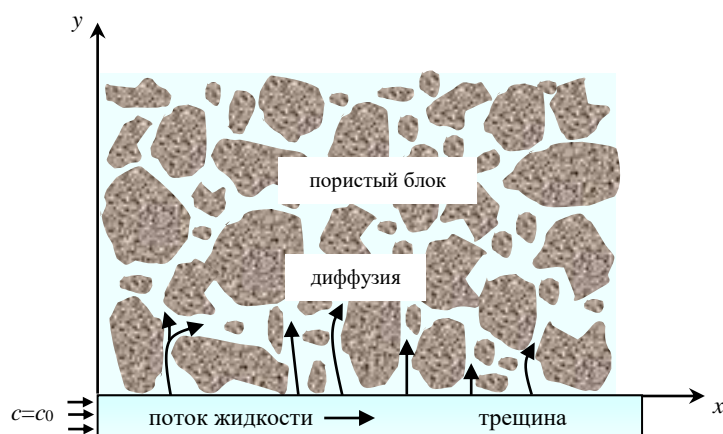


Рис.1. Схематическое изображение переноса вещества из трещины в пористый блок

Рассматривается элемент ТПС, состоящий из одной трещины и смежного с ней пористого блока (Рис.1). Трещина является полубесконечным одномерным объектом, так что распределение вещества и течение жидкости по ее поперечному сечению считается однородным. В такой постановке второе измерение трещины, т.е. ее толщина не принимается во внимание. Пористый блок занимает первую четверть плоскости. Таким образом, рассматривается область $R \{0 \leq x < \infty, 0 \leq y < \infty\}$.

Пусть в трещине жидкость течет с заданной постоянной скоростью ϑ . С конца $x=0$ трещины подается жидкость с концентрацией вещества c_0 . Первоначально трещина и пористый блок считаются заполненными чистой (без вещества) жидкостью. В трещине происходит конвективно-диффузионный перенос вещества, а в пористом блоке - только диффузионный. Как в трещине, так и в пористом блоке вещество в процессе переноса может адсорбироваться.

Уравнения баланса процесса переноса вещества и течения жидкости в ТПС с учетом адсорбции записаны в виде:

$$b \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b D_f^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_m D_m^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (1)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho}{\theta_m} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_m^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (2)$$

где $c_f = c_f(t, x)$ - концентрация вещества в трещине, м³/м³; $c_m = c_m(t, x, y)$ - концентрация в матрице, м³/м³; $s_f = s_f(t, x)$ - концентрация адсорбированного вещества в трещине, м³/кг; $s_m = s_m(t, x, y)$ - концентрация адсорбированного вещества в матрице, м³/кг; D_m^* - эффективный коэффициент диффузии в матрице, м²/с; ρ - плотность насыщенной среды, кг/м³; b - ширина трещины, м; θ_m - коэффициент пористости матрицы, t - время, с.

Трещина моделируется как одномерный объект, поэтому распределение концентрации по ее поперечному сечению не рассматривается. В трещине коэффициент конвективной диффузии D_f^* представляется как:

$$D_f^* = D^* + \eta \frac{w}{\theta}, \quad (3)$$

где D^* - коэффициент молекулярной диффузии вещества (жидкости) в трещине, м²/с, η - коэффициент рассеяния, м, $\frac{w}{\theta}$ - физическая скорость движения жидкости, м/с. В трещине скорость движения жидкости и скорость фильтрации совпадают, т.к. $\theta = 1$. Тогда выражение (3) имеет вид:

$$D_f^* = D^* + \eta \vartheta, \quad (4)$$

где ϑ - скорость движения жидкости, м/с. При этих предположениях уравнение (1) принимает вид:

$$\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} = (D^* + \eta \vartheta) \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \frac{\theta_m D_m^*}{b} \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad 0 \leq x < \infty. \quad (5)$$

Это уравнение выражает конвективно-диффузионный перенос вещества в трещине.

Система уравнений (2), (5) решена соответственно в трещине и пористой среде с учетом равновесной адсорбции (изотермы Генри), после дифференцирования которых по t они имеем

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = k_f \frac{\partial c_f}{\partial t}, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (6)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = k_m \frac{\partial c_m}{\partial t}, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (7)$$

где k_m, k_f - адсорбционные коэффициенты в матрице и в трещине, которые являются физическими свойствами веществ и поверхности породы, м³/кг.

Считаем, что на границе $x = \infty$ трещины и $y = \infty$ матрицы поток растворенного вещества отсутствует. На границе $y = 0$ обеспечивается

равность концентраций c_m и c_f . При этих условиях начальные и граничные условия имеют вид:

$$c_f(0, x) = c_m(0, x, y) = 0, \quad (8)$$

$$c_f(t, 0) = c_0, \quad (9)$$

$$c_f(t, x) = c_m(t, x, 0), \quad (10)$$

$$\frac{\partial c_f(t, \infty)}{\partial x} = 0, \quad (11)$$

$$\frac{\partial c_m(t, x, \infty)}{\partial y} = 0. \quad (12)$$

Задача (2), (5) - (7) при условиях (8) - (12) решается методом конечных разностей. Определены поля концентрации c_f и c_m . Оценен относительный поток из трещин в пористый блок для различных значений коэффициента диффузии и скорости жидкости:

- относительный текущий массообмен: $Q = -\theta_m D^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0}$;

- общий относительный массообмен через $y = 0$: $Q_{общ} = \int_0^{\infty} Q dx$;

- суммарный относительный массообмен через $y = 0$: $Q_{сум} = \int_0^t Q_{общ} dt = \int_0^t \int_0^{\infty} Q dx dt$.

На рис.2 показаны поверхности относительной концентрации c_m/c_0 и адсорбции s_m . На поверхностях можно заметить, что увеличение молекулярной диффузии ($D^* \neq 0$) в трещине приводит к размытию профилей c_f , что влияет также на распределение c_m (Рис.2 а). В свою очередь, молекулярная диффузия приводит к увеличению поля концентрации адсорбированного вещества в трещине и пористом блоке (Рис.2 б).

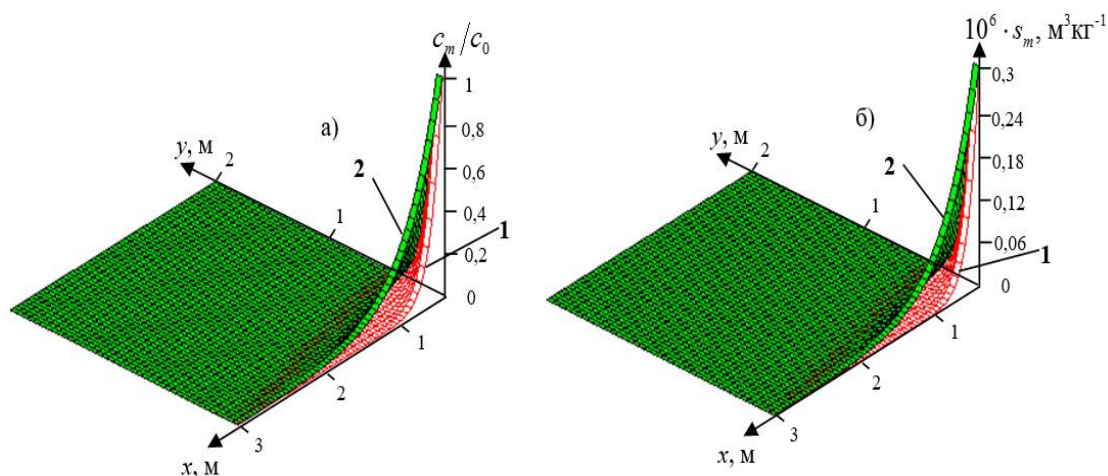


Рис. 2. Поверхности относительной концентрации c_m/c_0 (а) и s_m (б) при $\eta = 2 \cdot 10^{-3}$ м, $g = 5 \cdot 10^{-4}$ м/с, $t = 10000$ с, $D^* = 0$ (1), $D^* = 1 \cdot 10^{-5}$ м²/с (2).

Было показано, что диффузия оказывает значительное влияние на перенос вещества между трещиной и пористым блоком.

В параграфе 2.2 построено решение задачи о переносе вещества в ТПС с учетом неравновесной адсорбции. Анализирована кинетика адсорбции в линейном и нелинейном случаях. В уравнениях (1), (2) изменение адсорбции в области R происходит по неравновесной кинетике. Рассматриваются следующие частные случаи неравновесной адсорбции.

1. Линейная неравновесная адсорбция.

Здесь примем, что адсорбция вещества в ТПС происходит по линейной неравновесной кинетике:

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f (k_f c_f - s_f), 0 \leq x < \infty, \quad (13)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m (k_m c_m - s_m), 0 \leq y < \infty, \quad (14)$$

где α_f, α_m - коэффициенты, характеризующие интенсивности процесса адсорбции в трещине и в матрице соответственно, c^{-1} . Из уравнений (13) и (14) при $t \rightarrow \infty$ получаем линейные равновесные адсорбции $s_f = k_f c_f$ и $s_m = k_m c_m$ (изотерма Генри).

Начальные условия имеют вид:

$$s_f(0, x) = s_m(0, x, y) = 0. \quad (15)$$

Систему уравнений (1), (2) с учетом (13), (14) при условиях (8) - (12) и (15) решаем методом конечных разностей. Используя численные результаты построены профили концентраций c_m и c_f , а также профили адсорбированного вещества s_m и s_f в матрице и в трещине. Для различных значений коэффициентов адсорбции рассчитывался массообмен между трещиной и пористым блоком. Результаты показывают, что увеличение коэффициентов адсорбции k_f и k_m приводит к увеличению относительного переноса массы.

В силу того, что адсорбция вещества происходит неравновесно в разных точках среды темпы изменения адсорбции, концентрации вещества могут быть разными. Для того, чтобы оценить влияние адсорбции на общее распределение концентрации в трещине и пористом блоке, на ширину распространения их профилей вычислялись моменты от концентрации и адсорбции вещества

$$c_{fl} = \int_0^{\infty} x^l c_f(t, x) dx, \quad c_{ml} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} x^l y^l c_m(t, x, y) dx dy,$$

$$s_{fl} = \int_0^{\infty} x^l s_f(t, x) dx, \quad s_{ml} = \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} x^l y^l s_m(t, x, y) dx dy, \quad l = 0, 1, \dots$$

Используя эти моменты можно оценить различные характеристики переноса вещества и ее адсорбции. Величины $x_{fc} = \frac{c_{f1}}{c_{f0}}$, $x_{fs} = \frac{s_{f1}}{s_{f0}}$

представляют собой «среднее» расстояние переноса вещества и адсорбции в трещине (x_{fc} и x_{fs} , соответственно). Величины $\Omega_{mc} = \frac{c_{m1}}{c_{m0}}$, $\Omega_{ms} = \frac{s_{m1}}{s_{m0}}$ представляют собой «среднюю» площадь распространения вещества и его адсорбции в пористом блоке (Ω_{mc} и Ω_{ms} , соответственно). Динамика изменения во времени параметров x_{fc} , x_{fs} , Ω_{mc} , Ω_{ms} сравнивалась для случаев линейной и нелинейной неравновесной кинетики адсорбции. Было показано, что кинетика неравновесной адсорбции по отношению к равновесной приводит к уменьшению поля адсорбции, что в свою очередь, приводит к более широкому распространению профиля концентрации вещества в подвижной области.

2. Нелинейная неравновесная адсорбция.

Здесь анализируется кинетика неравновесной адсорбции, соответствующей в асимптотике изотерме Фрейндлиха и изотерме Ленгмюра. В уравнениях (1), (2) изменение адсорбции в области R происходит по неравновесной кинетике. Рассматриваются следующие частные случаи неравновесной адсорбции:

2.1. Неравновесная адсорбция, соответствующая в равновесном случае изотерме Фрейндлиха.

Здесь вместо линейной кинетики адсорбции (13), (14) рассмотрим нелинейную кинетику

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f (k_f c_f^N - s_f), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (16)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m (k_m c_m^N - s_m), \quad 0 \leq y < \infty, \quad (17)$$

где N - константа.

Уравнения (16) и (17) выражают неравновесную кинетическую адсорбцию, в равновесном случае соответствующую изотерме Фрейндлиха в трещине и пористом блоке, соответственно. Из уравнений (16), (17) при $t \rightarrow \infty$ получаем равновесные уравнения (изотерма Фрейндлиха):

$$s_f = k_f c_f^N, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (18)$$

$$s_m = k_m c_m^N, \quad 0 \leq y < \infty. \quad (19)$$

2.2. Неравновесная адсорбция, соответствующая в равновесном случае изотерме Ленгмюра.

Здесь примем, что в ТПС адсорбция вещества происходит по нелинейной кинетике, в равновесном случае соответствующей изотерме Ленгмюра

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_f \left(\frac{a_f c_f}{1 + b_f c_f} - s_f \right), \quad 0 \leq x < \infty, \quad (20)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_m \left(\frac{a_m c_m}{1 + b_m c_m} - s_m \right), \quad 0 \leq y < \infty, \quad (21)$$

где a_f , a_m , b_f , b_m - константы Ленгмюра. При $t \rightarrow \infty$ из (20) и (21) получаем

$$s_f = \frac{a_f c_f}{1 + b_f c_f}, \quad 0 \leq x < \infty \quad (22)$$

$$s_m = \frac{a_m c_m}{1 + b_m c_m}, \quad 0 \leq y < \infty \quad (23)$$

- нелинейный равновесный закон адсорбции по изотерме Ленгмюра.

В параграфе 2.3 рассмотрен случай, когда вещество обладает химико-биологической или радиационной активностью. Под химико-биологической активностью понимается взаимодействие вещества со скелетами породы или разложение под воздействием химических или биологических факторов. При захоронении радиоактивных веществ, за счет естественного распада вещества, его концентрация в пласте постепенно уменьшается. При этом необходимо заметить, что за счет распада или разложения в течение определенного времени концентрация вещества может полностью достигать нулевых значений. Поскольку здесь рассматриваются явления адсорбции вещества на поверхности породы, то необходимо определить также закономерности распада или разложения адсорбированного вещества.

Уравнения переноса массы адсорбируемого вещества в трещине и пористом блоке с учетом радиоактивного распада или разложения записываются в виде

$$b \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho \frac{\partial s_f}{\partial t} + \vartheta \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b D_f^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_m D_m^* \frac{\partial c_m}{\partial y} \Big|_{y=0} - b \lambda_f c_f - b \rho \lambda_{sf} s_f, \quad 0 \leq x < \infty, \quad (24)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho}{\theta_m} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_m^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2} - \lambda_m c_m - \frac{\rho}{\theta_m} \lambda_{sm} s_m, \quad 0 \leq y < \infty, \quad (25)$$

где λ_f, λ_m - коэффициенты радиоактивного распада или химико-биологического разложения вещества в трещине и в матрице соответственно $\lambda_{sf}, \lambda_{sm}$ - коэффициенты радиоактивного распада или химико-биологического разложения адсорбированного вещества в трещине и в матрице соответственно. Уравнения (24), (25) решались с учетом неравновесной адсорбции, в стационарных условиях соответствующей изотерме Фрейндлиха. Начальные и граничные условия остаются как § 2.1 - 2.2. Получены результаты для различных значений коэффициентов λ_f, λ_m переноса активного вещества. Было оценено влияние активности вещества на профили концентрации.

В третьей главе диссертации, названной “**Моделирование переноса адсорбируемого вещества в элементе трещиновато-пористой среде с двумя трещинами**”, рассматривается перенос адсорбируемого вещества в элементе ТПС, состоящей из двух трещин и пористого блока между ними.

В параграфе 3.1 обсуждена проблема переноса адсорбируемого вещества в элементе ТПС, состоящей из двух трещин и пористого блока между ними. Такая постановка задачи не является простым геометрическим обобщением

предыдущей задачи. Дело в том, что по двум трещинам жидкость может двигаться с разными скоростями, следовательно, в них вещество переносится с разной интенсивностью.

В параграфе 3.2 решается задача переноса вещества в элементе ТПС с двумя трещинами с учетом неравновесной адсорбции. Здесь рассматривается среда, состоящая из полубесконечного пористого блока, с двух сторон окруженного трещинами (Рис.3).

Область исследования задачи состоит из двух частей: $R_1 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, 0 \leq y \leq b_3/2\}$ с характеристиками θ_1 , D_1^* и $R_2 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, b_3/2 \leq y \leq b_3\}$ - с θ_2 , D_2^* , где θ_1 и θ_2 - коэффициенты пористости в R_1 и R_2 (безразмерные величины), D_1^* , D_2^* - коэффициенты эффективной диффузии соответственно в зонах R_1 и R_2 , которые характеризуют диффузионные свойства пористого блока, м²/с.

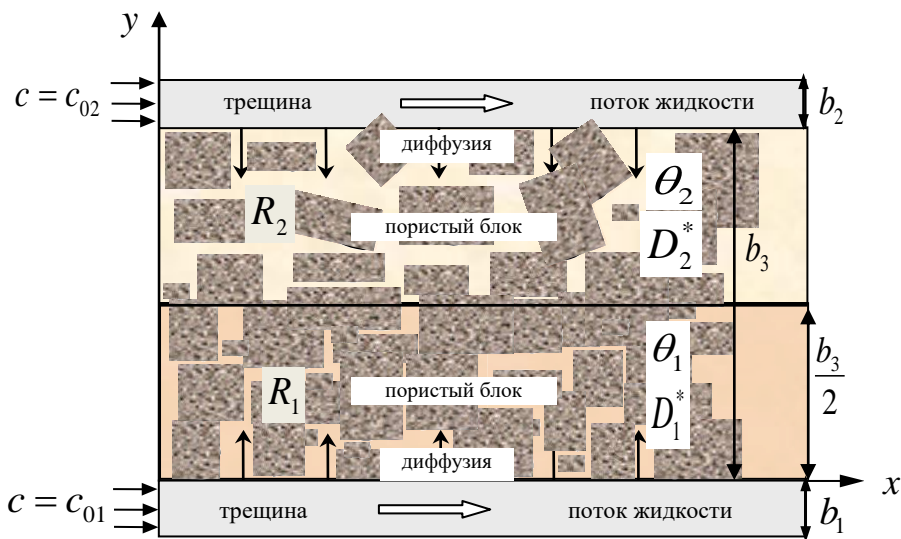


Рис. 3. Схематическое изображение переноса вещества в элементе ТПС

Уравнения конвективно-диффузионного переноса вещества с учетом адсорбции и массообмена вещества записываются отдельно для трещин и пористого блока в виде:

$$b_1 \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho_1 \frac{\partial s_f}{\partial t} + g_1 \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b_1 D_{f1}^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} + \theta_1 D_1^* \frac{\partial c_f}{\partial y} \Big|_{y=0}, \quad (26)$$

$$b_2 \left(\frac{\partial c_f}{\partial t} + \rho_2 \frac{\partial s_f}{\partial t} + g_2 \frac{\partial c_f}{\partial x} \right) = b_2 D_{f2}^* \frac{\partial^2 c_f}{\partial x^2} - \theta_2 D_2^* \frac{\partial c_f}{\partial y} \Big|_{y=b_3}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_1}{\theta_1} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_1^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad 0 \leq y \leq \frac{b_3}{2}, \quad (x, y) \in R_1, \quad (28)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_2}{\theta_2} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_2^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad \frac{b_3}{2} \leq y \leq b_3. \quad (x, y) \in R_2, \quad (29)$$

где D_{f1}^*, D_{f2}^* - коэффициенты конвективной диффузии в первой и второй трещинах, м²/с, $\mathcal{Q}_1, \mathcal{Q}_2$ - скорость движения жидкости в первой и второй трещинах, м/с, ρ_1, ρ_2 - плотность среды в зоне R_1 и R_2 , кг/м³, b_1, b_2 - ширины трещин, м.

Принимаются кинетические уравнения, в равновесном состоянии соответствующие изотерме Фрейндлиха

$$\frac{\partial s_f}{\partial t} = \alpha_{f(n)} (k_{f(n)} c_f^N - s_f), \quad (30)$$

$$\frac{\partial s_m}{\partial t} = \alpha_{m(n)} (k_{m(n)} c_m^N - s_m), \quad (31)$$

где $k_{f(n)}, k_{m(n)}$ - константы равновесия уравнения Фрейндлиха в трещине и в матрице, м³/кг, $\alpha_{f(n)}, \alpha_{m(n)}$ - коэффициенты темпа адсорбции, характеризующие интенсивности процесса адсорбции в трещине и в матрице соответственно, с⁻¹, N - константа ($0 < N < 1$), n - индекс коэффициента уравнений ($n = 1$ для R_1 , $n = 2$ для R_2).

Пусть в начальный момент в трещинах и пористом блоке находилась чистая жидкость. С $t > 0$ в трещины подается жидкость с растворенным веществом, в общем случае с разными концентрациями c_{01} и c_{02} соответственно. Считается, что при тех диапазонах времени, что используется в данной работе, концентрационные поля не достигают $x = \infty$. На границе пористого блока $y = \frac{b_3}{2}$ концентрация вещества сохраняет непрерывность. При такой постановке начальные и граничные условия задачи имеют вид:

$$c_f(0, x) = c_m(0, x, y) = 0, \quad (32) \quad c_f(t, 0) = \begin{cases} c_{01}, \\ c_{02}, \end{cases} \quad (33)$$

$$c_f(t, \infty) = 0, \quad (34) \quad c_f(t, x) = c_m(t, x, 0), \quad (35)$$

$$c_f(t, x) = c_m(t, x, b_3), \quad (36)$$

$$c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} - 0\right) = c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} + 0\right), \quad (37)$$

$$D_1^* \frac{\partial c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} - 0\right)}{\partial y} = D_2^* \frac{\partial c_m\left(t, x, \frac{b_3}{2} + 0\right)}{\partial y}, \quad (38)$$

$$s_f(0, x) = s_m(0, x, y) = 0. \quad (39)$$

Задача (26) - (29) с учетом (30), (31) при условиях (32) - (39) решена методом конечных разностей. Были рассчитаны поля концентрации и относительный массообмен для различных значений эффективных коэффициентов диффузии в матрице (пористого блока).

В параграфе 3.3. рассмотрена задача переноса адсорбируемого вещества в элементе ТПС с учетом продольной и поперечной диффузии в пористом блоке. Основное внимание при анализе уделено роли диффузионных эффектов в

пористом блоке. Область и постановка задачи остаются как в § 3.2. Вместо уравнений (28), (29) рассматриваются

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_1}{\theta_1} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_{1x}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial x^2} + D_{1y}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in R_1 \quad (40)$$

$$\frac{\partial c_m}{\partial t} + \frac{\rho_2}{\theta_2} \frac{\partial s_m}{\partial t} = D_{2x}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial x^2} + D_{2y}^* \frac{\partial^2 c_m}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in R_2 \quad (41)$$

где D_{1x}^*, D_{2x}^* - эффективные коэффициенты диффузии в пористом блоке по направлению x , D_{1y}^*, D_{2y}^* - эффективные коэффициенты диффузии в пористом блоке по направлению y в зоне R_1 и R_2 соответственно. В задаче процесс адсорбции происходит по закону линейной кинетики в зоне R_1 и R_2 соответственно.

Начальные и граничные условия также остаются в прежнем виде, только дополняются двумя граничными условиями:

$$\frac{\partial c_m(t, 0, y)}{\partial x} = 0, \quad (42)$$

$$\frac{\partial c_m(t, \infty, y)}{\partial x} = 0. \quad (43)$$

Система уравнений (26), (40) и (27), (41) при условиях (32) - (39) и (42), (43) решена численно.

На основании численных результатов было оценено влияние продольных и поперечных диффузионных потоков на динамику изменения относительной концентрации и площади адсорбции для R_1 и R_2 , а также оценен относительный массоперенос от трещины к пористому блоку.

На рис.4 показаны графики x_{fc} и Ω_{mc} по времени. Из графиков можно увидеть, что увеличение поперечной диффузии в зоне R_2 приводит к увеличению x_{fc1} в зоне R_1 , а также Ω_{mc2} .

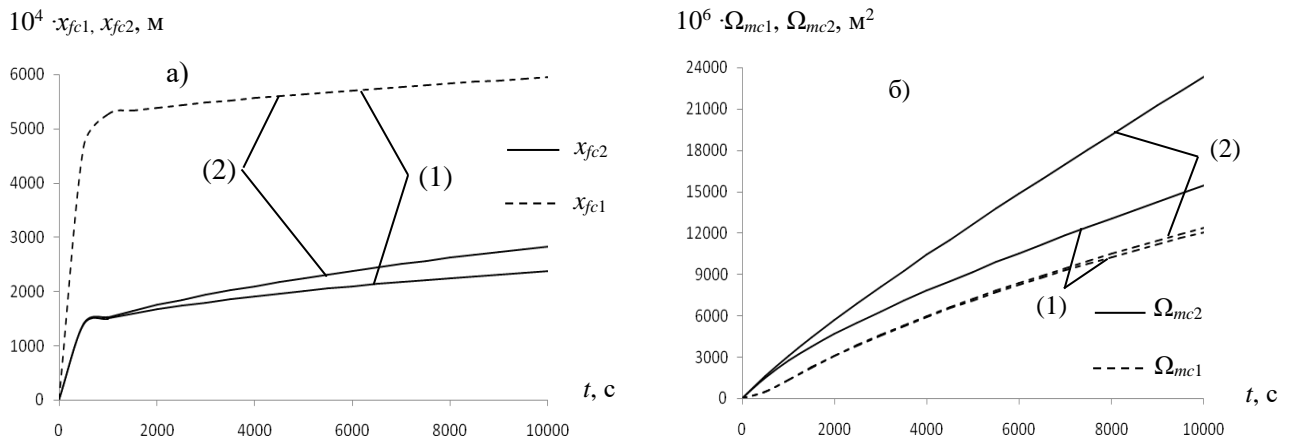


Рис. 4. Изменение x_{fc} (а), Ω_{mc} (б) по t .

$$(1) D_{1x}^* = D_{2x}^* = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, D_{1y}^* = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2y}^* = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$(2) D_{1x}^* = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2x}^* = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}, D_{1y}^* = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, D_{2y}^* = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Было показано, что поперечная диффузия приводит к увеличению переноса вещества между трещиной и пористой средой, а увеличение коэффициентов продольной диффузии приводит к дальнейшему увеличению массообмена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты, полученные в диссертационной работе на тему «Решение задач переноса вещества в трещиновато-пористых средах с учетом неравновесной адсорбции», сводятся к следующим выводам:

1. Дан обзор методов гидродинамического анализа процессов переноса вещества в ТПС. Кратко изложены основные понятия переноса адсорбируемого вещества в ТПС с учетом конвективной диффузии, гидродинамической дисперсии вещества.

2. Решена задача адсорбционного переноса вещества в элементе ТПС, состоящий из одной трещины и смежного с ней пористого блока с учетом равновесной адсорбции (изотермы Генри). В результате численного решения задачи определены поля концентрации и адсорбции вещества в трещине и пористом блоке, а также относительный массообмен через общую границу сред. Было показано, что увеличение значения молекулярной диффузии в 5 раз в трещине приводит к увеличению общего относительного массообмена из трещины в пористый блок на 12-13%.

3. Построены решения задачи о переносе вещества в ТПС с учетом неравновесной адсорбции. Анализирована кинетика адсорбции в линейных и нелинейных случаях. Рассмотрены случаи неравновесной адсорбции: линейная и нелинейная. Показано, что в начальной точке значение адсорбированного вещества в равновесном режиме не изменяется во времени. Однако, в некоторых случаях, увеличение значения коэффициента адсорбции приводит к ускорению процесса формирования равновесного режима адсорбции.

4. Рассмотрен случай, когда вещество обладает химико-биологической или радиационной активностью. Принималось, что разложение (распад) вещества как в свободном объеме, так и в адсорбированном состоянии происходит по одним и тем же законам, но в общем случае, с разными параметрами. Показано, что распад вещества приводит к сокращению зоны распространения концентрации и величин адсорбции. Однако на границе трещины и пористого блока образуются более высокие градиенты концентрации, что приводит к существенному изменению относительного потока вещества через эту границу.

5. Рассматривалась среда, состоящая из полубесконечного пористого блока, с двух сторон окруженного трещинами. Трещины и пористые блоки считаются одномерными и полубесконечными. Область исследования задачи состоит из двух частей: $R_1 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, 0 \leq y \leq b_3/2\}$ с характеристиками θ_1 , D_1^* и $R_2 \{0 \leq t < \infty, 0 \leq x < \infty, b_3/2 \leq y \leq b_3\}$ - с θ_2 , D_2^* . В пористый блок из двух

трещин происходит диффузионный перенос вещества. Таким образом, можно сделать вывод о том, что задача переноса вещества с учетом адсорбции в элементе ТПС, состоящий из двух трещин в пористый блок между ними не является простым геометрическим обобщением предыдущих задач. При этом было analyzed два случая неравновесной адсорбции и показано ее влияние на перенос вещества в элементе. Для разных коэффициентов эффективной диффузии в пористом блоке получено несимметричное распределение концентрации и адсорбции вещества.

6. Численно решена задача адсорбционного переноса вещества в элементе ТПС с учетом продольной и поперечной диффузии. Показано, что продольная и поперечная диффузия значительно влияет не только на распределение концентрации вещества, но и на общий и суммарный массообмен из трещины в пористый блок, а также распространение концентрации и адсорбции вещества в трещине и пористом блоке.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES
DSc.30.08.2018. FM/T.02.09 SAMARKAND STATE UNIVERSITY**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

MUSTOFOQULOV ZHABBOR AKHMATQULOVICH

**THE SOLUTION OF SOLUTE TRANSPORT PROBLEMS IN
FRACTURED-POROUS MEDIA WITH NONEQUILIBRIUM ADSORPTION**

01.02.05 – Fluid and gas mechanics

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**

Samarkand – 2019

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under 2019.2.PhD/FM354.

The dissertation has been prepared at Samarkand State University.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (uzbek, russian, english (resume)) on the website (www.samdu.uz) and the "Ziyonet" Information and educational portal (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor: Khuzhayorov Bakhtiyor Khuzhayorovich
doctor of physical and mathematical sciences, professor

Official opponents: Arifjanov Oybek Mukhamedjanovich
doctor of technical sciences

Djabborov Mamasoli Sodikovich
candidate of physical and mathematical sciences, docent

Leading organization: Institute of Mechanics and seismic stability of structures

Defense will take place « 17 » January 2020 at 11⁰⁰ at the meeting of Scientific Council number DSc.30.08.2018.FM/T.02.09 at Samarkand State University. (Address:140104, Samarkand University str. 15, Ph.: (8366) 235-19-38, fax: (8366) 235-19-38, e-mail: patent@samdu.uz).

Dissertation is possible to review in Information-resource center at Samarkand State University (is registered number 125) (Address: 140104, Samarkand University str. 15, Ph.: (8366) 235-19-38, fax: (8366) 235-19-38).

Abstract of dissertation sent out on « 30 » December 2019 year
(Mailing report number 8 on « 28 » December 2019 year)



[Signature]
R. I. Xalmuradov
Chairman of Scientific Council
on award of scientific degrees,
Doctor of Technical sciences, Professor

A. Abdirashidov
Scientific secretary of Scientific Council
on award of scientific degrees,
Candidate of Science (DSc) in Physical and Mathematical
sciences, Docent

[Signature]
J. A. Akilov
Vice-Chairman of scientific seminar under Scientific
Council on award of scientific degrees,
Doctor of Physical and Mathematical sciences,
Professor

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the work is generalization of hydrodynamic models of the solute transport and fluid flow in fractured porous media taking into account nonequilibrium adsorption and diffusion, development of numerical methods for solving problems.

The object of the research work is a saturated liquid with dissolved solute, fractured-porous medium.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

the problems of solute transport and fluid flow are solved taking into account nonequilibrium adsorption and its effect on the transfer of inert and active solute in the fractured-porous media is evaluated;

three cases of nonequilibrium adsorption are analyzed; the equations of solute transport are compiled in the fractured-porous media element, consisting of one fracture and a porous block, as well as two fractures and a porous block between them;

based on the numerical solution of the problems, new physical phenomena have been established, such as the non-monotonicity of the solute transport across a common media boundary, a significant difference in the solute transport in the case of nonlinear kinetics, etc;

The case when the substance has chemical-biological or radiation activity is considered. It was determined that the decay of a solute leads to a reduction in the zone of distribution of concentration and the values of adsorption.

Implementation of research results. Based on the research results, software products, mathematical models, numerical algorithms developed according to improved models of the processes of fluid flow and solute transport in the fractured-porous media are compiled.

Results used:

during the implementation of the scientific project BV-Atech-2018-9 “Development of models, distributed computing algorithms and software for solving the problems of protecting the atmosphere and water resources against technogenic factors” by means of developed models and numerical algorithms for the process of transfer of adsorbed matter to fractured-porous media taking into account hydrodynamic dispersion and diffusion effects, as well as models and a computational algorithm for the process of solute transport in the fractured-porous media with taking into account nonequilibrium adsorption, were used in the calculation of the amount of moisture and salt transfer in the soil (reference number 33-8/2897 of 26 April 2019 of the Ministry of Development of Information Technologies and Communications of the Republic of Uzbekistan). The machine implementation of numerical algorithms made it possible to automate computational experiments and significantly reduce the calculation time when solving complex mass transfer problems in porous media;

the algorithms developed by the improved mathematical models for calculating the processes of inert and active solute transport in fractured-porous media were used to calculate the concentration of adsorbed substance on the fractured-porous

media walls during the implementation of the scientific project FA-F078 “Hydrodynamic problems of filtration and filtering inhomogeneous liquids in porous media” (Reference No. 89-03- 4297 dated November 5, 2019 of the Ministry of Higher and Secondary Special Education of the Republic of Uzbekistan). This made it possible to improve the hydrodynamic models of the filtration process and the complex multidimensional problems of active solute transport in complex geometric underground reservoirs, to conduct computational experiments and visualize the results of solving the problems of solute transport in underground reservoirs.

The structure and volume of the thesis. The thesis consists of an introduction, three chapters, main results, conclusions and references. The total amount of work includes 103 pages of text.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; Part I)

1. Хужаёров Б.Х., Мустофокулов Ж.А. Перенос вещества в трещиновато-пористой среде с учетом нелинейной неравновесной адсорбции // Доклады АН РУз», 2010, №2. - С. 55-59. (01.00.00; № 7).
2. Хужаёров Б.Х., Мустофокулов Ж.А. Перенос адсорбируемого вещества в элементе трещиновато-пористой среды // Узбекский журнал «Проблемы механики», 2010, №3. - С. 37-39. (01.00.00; № 4).
3. Khuzhayorov B., Mustofoqulov J. Transport of Active Solute in a Fractured Porous Medium with Nonequilibrium Adsorption // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 2018, Vol. 5, Issue 12. - P.7589-7597. (05.00.00; № 8, Scientific Journal Impact Factor=5.474)
4. Мустофокулов Ж.А., Бегматов Т.И., Мирсаидова Г. Численные моделирование задача диффузионного переноса вещества в элементе трещиновато-пористой среды // Научный вестник СамГУ, 2019, № 1(113). - С. 58-63. (01.00.00; № 2).
5. Мустофокулов Ж.А., Маматов А.С., Зокиров М. Задачи переноса вещества в трещиновато-пористой среде с контрастными характеристиками // Научный вестник СамГУ, 2019, № 3(113). - С. 23-28. (01.00.00; № 2).

II бўлим (II часть; Part II)

6. Хужаёров Б.Х., Мустофокулов Ж.А. Перенос активного вещества в трещиновато-пористой среде с учетом неравновесной адсорбции // Узбекский журнал «Проблемы механики», 2009, №1. - С. 42-48.
7. Мустофокулов Ж.А. Перенос вещества в трещиновато-пористой среде с учетом неравновесной адсорбции // “Табиий фанларнинг долзарб муаммолари”, Республика илмий анжумани материаллари. – Самарқанд, 2008. – 79-81 б.
8. Mustafakulov J.A., Sulaymonov F.U. Modelling of passive and active solute transport in structured porous media with contrast characteristics // Abstracts of the third congress of the world mathematical society of Turkic countries, Almaty, Kazakhstan, June 30-July 4, 2009. Vol.2. –P. 169.
9. Мустофокулов Ж.А. Влияния адсорбции на перенос веществ в трещиновато-пористых средах // Вестник ГулГУ, 2015, № 4(59), С. 8-12.
10. Мустофокулов Ж.А., Баратов Л.С. Исследование процессов переноса активных веществ при заводнении трещиновато-пористых пластов //

“Иқтисодиёт тармоқларини ривожланишини таъминловчи фан, таълим ҳамда модернизациялашган энергия ва ресурстежамкор технологиялар, техника воситалари: муаммолар, ечимлар, истиқболлар”, Республика илмий-техник анжумани материаллари, 2-қисм, Жиззах, 2016. 127-130 б.

11. Мустафокулов Ж.А., Джураева Н.М. Перенос адсорбируемого вещества с учетом диффузионных эффектов // Вестник ГулГУ, 2018, № 1, С. 5-11.
12. Мустафокулов Ж.А., Усмонов А.И. Перенос вещества в трещиновато-пористой среде с учетом равновесной и неравновесной адсорбции // «Фундаментальные и прикладные научные исследования» XXVIII международная научно-практическая конференция. МЦНС «Наука и просвещение». Россия, 2019. - С.21-25.

Автореферат “Самарқанд давлат университети таҳририй-нашриёт бўлими”
таҳририясида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме) тиллардаги
матнлари мослиги текширилди (18.12.2019 й.).

Гувоҳнома №18-4025.

18.12.2019 йилда босишга рухсат этилди.
Шартли босма табағи 2,75. Қоғоз бичими 60x84_{1/16}.
“Times” гарнитураси. Адади 100 нусха. Буюртма №.10/4.

“Nafis poligraf servis” МЧЖ босмахонасида чоп этилди.
Манзил: Самарқанд ш., Буюк ипак йўли қўчаси, 67-А.

