

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018. Т/ҒМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ЗИКИРЯЕВ ШАВКАТ ХУДОЯРОВИЧ

**АДСОРБЦИЯНИ ВА ҒОВАК МУҲИТНИНГ БИРЖИНСЛИМАС
ТЎЛДИРИЛИШИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА БИРЖИНСЛИМАС
СУЮҚЛИКЛАРНИНГ СИЗИШИ МАСАЛАЛАРИ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

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

Тошкент – 2019

**Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical-mathematical sciences**

Зикиряев Шавкат Худоярович

Адсорбцияни ва ғовак мухитнинг биржинслимас тўлдирилишини ҳисобга
олган ҳолда биржинслимас суюқликларнинг сизиши масалалари 3

Зикиряев Шавкат Худоярович

Задачи фильтрации неоднородных жидкостей с учетом адсорбции и
неоднородности порового пространства 21

Zikiryaev Shavkat Khudoyarovich

Filtration problems of non-homogeneous liquids with adsorption and filling
heterogeneity of porous space 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 43

**МЕХАНИКА ВА ИНШОТЛАР СЕЙСМИК МУСТАҲКАМЛИГИ
ИНСТИТУТИ ВА ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ
ХЎЖАЛИГИНИ МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУҲАНДИСЛАРИ
ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.28.02.2018. Т/ҒМ.61.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

ЗИКИРЯЕВ ШАВКАТ ХУДОЯРОВИЧ

**АДСОРБЦИЯНИ ВА ҒОВАК МУҲИТНИНГ БИРЖИНСЛИМАС
ТЎЛДИРИЛИШИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА БИРЖИНСЛИМАС
СУЮҚЛИКЛАРНИНГ СИЗИШИ МАСАЛАЛАРИ**

01.02.05 – Суюқлик ва газ механикаси

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА ФАҶЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2019

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси
Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида
B2018.1.PhD/FM168 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Самарқанд давлат университетинда бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (Ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш
веб-саҳифасида (www.tiame.uz) ва "Ziynet" Ахборот таълим порталида (www.ziynet.uz)
жойлаштирилган.

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

Расмий оппонентлар: Маликов Зафар Маматқулович
техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Қаюмов Шукур
физика-математика фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкалот: Урганч давлат университети

Диссертация химояси Механика ва иншоотлар сейсмик мустаҳкамлиги институти ва
Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти ҳузуридаги
DSc.28.02.2018. T/FM.61.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил "15" "май"
соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади (Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниязий кўчаси, 39,
4-мажлислар зали. Тел: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

Диссертация билан Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш
муҳандислари институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (62 рақам билан
рўйхатга олинган). Манзил: 100000, Тошкент шаҳри, Қори Ниязий кўчаси, 39. Тел: (99871) 237-46-
68; факс: (99871) 237-38-79.

Диссертация автореферати 2019 йил 26 » апрел кунин тарқатилди.
(2019 йил 25 » апрел даги 1 рақамли реестр баённомаси)



M.M. Mirsaidov
М.М. Мирсадюв
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
раиси, т.ф.д., профессор, академик

Sh.O. Hudaibnazarov
Ш.О. Худайназаров
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
илмий котиби, т.ф.н., доцент

I.K. Khujashev
И. К. Хужасев
Илмий даражалар берувчи Илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси, т.ф.д.

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳон миқёсида нефть ва газ конларини ўзлаштиришнинг ҳамда қишлоқ хўжалигида шўрланган тупроқларни ювишнинг такомиллашган лойиҳаларини ишлаб чиқиш етакчи ўринни эгалламоқда. Сўнги йилларда кўпгина ривожланган мамлакатларда нефть қатламларига таъсир қилишда қатламнинг сизиш кўрсаткичларини батафсил баҳолаш учун ғовак муҳитларда модда кўчиши жараёнларини тадқиқ этиш орқали самарали натижаларга эришилмоқда. Шу жиҳатдан ғовак муҳитда модда кўчиши масалаларини ечишда нефть қатламларининг биржинсмас эканлиги туфайли бир вақтнинг ўзида соҳалар орасидаги ички масса алмашинувини ва ғовак фазо деворларида моддаларнинг адсорбцияланишини ҳисобга олувчи моделларни қўллаш муҳим аҳамият касб этмоқда. Бу борада, жумладан Россия, Саудия Арабистони, Қувайт, Канада, ва АҚШ каби ривожланган давлатларда конларни ўзлаштиришда суюқлик окимининг ўзига хос хусусиятларини ҳисобга олувчи лойиҳалаш усулларини такомиллаштиришга алоҳида эътибор қаратилган.

Жаҳонда нефть ва газни қазиб олиш саноатида конларнинг захирасидан тўлиқ фойдаланиш учун турли усуллар, хусусан, қатламга ҳайдалаётган суюқликнинг сиқиш самарадорлигини оширувчи усуллар қўлланилмоқда. Ғовак муҳитда биржинсли бўлмаган суюқликларнинг сизишида суюқлик таркибидаги моддаларнинг адсорбцияланиб кўчиши жараёнларини ўрганишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ҳозирги вақтга қадар бу каби масса алмашинувида доир масалалар етарлича ўрганилмаган. Ғовак муҳитда модда кўчишининг характеристикаларини сифат ва миқдор жиҳатдан баҳолаш учун жараённинг асосий хусусиятларини ҳисобга олиб математик моделлаштириш муҳим аҳамиятга эга. Шу сабабдан ғовак фазо сиртида адсорбция жараёнларини ҳисобга олган ҳолда биржинсли бўлмаган ғовак муҳитда модданинг конвектив-диффузион кўчишининг адекват математик моделларини тузиш ва мос масалаларни ечиш алгоритми ва дастурий воситаларини яратиш долзарб масалалардан ҳисобланади.

Республикамизда коллектор жинсларнинг нефть беришини ошириш учун нефть қатламларига таъсир ўтказишнинг самарадор усулларини қўллашга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Шу билан бирга мелиорация, сув ресурсларини химоя қилиш, экология каби соҳаларда кенг қўламли ишлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан "...ишлаб чиқаришни модернизация қилиш, техник ва технологик жиҳатдан янгилаш, ишлаб чиқариш...; ... суғориладиган ерларнинг мелиоратив ҳолатини янада яхшилаш, қишлоқ хўжалиги ишлаб чиқариш соҳасига интенсив усулларни, энг аввало, сув ва ресурсларни тежайдиган замонавий агротехнологияларни

жорий этиш”¹ вазифалари белгилаб берилган. Мазкур вазифани амалга ошириш, жумладан адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда биржинслимас суюқликларнинг сизиши жараёнининг ва шўрланган тупроқларни ювиш масалаларининг такомиллашган математик моделларини яратиш ва ҳисоблаш дастурларини яратиш муҳим вазифалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2017 йил 25 сентябрдаги ПҚ-3286-сон «Сув объектларини муҳофаза қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора тadbирлари тўғрисида», 2017 йил 30 июндаги ПҚ-3107-сон «Нефть ва газ саноатини бошқариш тизимини мукамаллаштириш тўғрисида», 2017 йил 8 ноябрдаги ПҚ-3379-сон «Энергия ресурсларини оқилона фойдаланишни таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

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

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ғовак муҳитда модда кўчиши, тузларнинг эриши ва кўчишининг математик моделларини тузиш ҳамда тадқиқ этишга хорижда D.R. Cameron, A.Klute, J.C.Parker, M.Th. van Genuchen, P.S.Rao, J.M.Davidson, R.E.Jessup, H.M.Selim, R.S.Mansell, M.L.Brusseau, E.L.Cussler, I.Hashimoto, K.V.Deshpande, H.C.Thomas, B.D.Kay, D.E.Elrick, L.Lapidus, N.R.Amundson, R.Massel, Н.Т.Данаев, Н.К.Корсакова, В.И.Пеньковский ва республикамизда Н.Равшанов, И.К.Хужаев, Ш.Қаюмов, Ф.Б.Абуталиев, Б.Х.Ўжаёров, В.Ф.Бурнашев, Ж.М.Махмудов каби олимлар томонидан кенг қамровли тадқиқотлар олиб борилган.

Суюқлик ҳаракатда ва ҳаракатсиз бўлган соҳалардан иборат ғовак муҳитда модда кўчиши масалалари К.Н.Coats, В.Д.Smith илмий ишларида ўрганилган, ҳамда маълум даражадаги ижобий натижаларга эришилган. М.Th. van Genuchen ва P.J.Wierenga масаласининг аналитик ечими олинган. Суюқлик ҳаракатда ва ҳаракатсиз бўлган соҳалар орасидаги диффузион кўчиш концентрациялар фарқига пропорционал деб ҳисобланган. Аник кимёвий моддалар грунтнинг ташкил этувчилари билан ҳар хил ҳолатда таъсирлашади ва турли хил реакцияга киришади. D.R.Cameron, A.Klute ишларида умумий реакцияни тасвирлаш учун адсорбциянинг мувозанат ва кинетика моделлари комбинацияси таклиф қилинган. Икки ўринли адсорбция ҳолатида модда кўчиши масаласи M.L.Brusseau, P.S.Rao ишларида

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

келтирилган. Тузларнинг эриши ва эриган тузларнинг кўчиши масалалари Н.Т.Данаев, Н.К.Корсакова, В.И.Пеньковский ишларида тадқиқ қилинган.

Тадқиқотлар ҳажмининг катталигига қарамасдан бу йўналишдаги кўплаб саволлар ўзининг қатъий ечимини топмаган. Конвектив диффузияни, адсорбцияни ва ғовак муҳитнинг биржинсли эмаслигини ҳисобга олган ҳолда ғовак муҳитда биржинсли бўлмаган суюқликларнинг сизиши масалалари етарли даражада ўрганилмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Самарқанд Давлат университетининг Ф4-Ф078-“Биржинслимас суюқликларнинг ғовак муҳитларда сизиши ва сузилишининг гидродинамик масалалари” (2012-2016) мавзусидаги илмий тадқиқот лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади диффузия, гидродинамик дисперсия, конвекция, адсорбция, ғовак соҳанинг биржинслимас тўлдирилиши ва ички диффузияли масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда ғовак муҳитда биржинслимас суюқликларнинг сизиши ва модда кўчиши жараёнининг гидродинамик моделларини такомиллаштириш ва сонли ечишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

чизикли – ночизикли, мувозанат – номувозанат адсорбцияни ва ички масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда транзит ва тургун зоналардан ташкил топган ғовак муҳитда модда кўчиши жараёнининг математик моделини такомиллаштириш ва масалаларни ечиш усулларини ишлаб чиқиш;

икки ўринли адсорбцияни ҳисобга олиб биржинслимас суюқликларнинг ғовак муҳитларда сизиши ва модда кўчиши жараёнларининг математик моделини такомиллаштириш ва масалани сонли тадқиқ этиш;

адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда тузларнинг кўчиши жараёнининг математик моделини ишлаб чиқиш;

биржинсли ва бўлакли биржинсли ғовак муҳитларда тузларнинг эриши ва кўчиши жараёнининг математик моделини такомиллаштириш ва ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида ғовак муҳит ва унда адсорбцияланиб сизувчи биржинсли бўлмаган суюқлик олинган.

Тадқиқот предметини ғовак муҳитларда модданинг адсорбцияланиб кўчиши жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалари ва гидродинамик таҳлил ташкил этади.

Тадқиқот усуллари. Тадқиқот жараёнида ер ости суюқлик ва газ механикаси усуллари, математик моделлаштириш усуллари, математик физика усуллари, сонли усуллар ва ҳисоблаш тажрибаларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги куйидагилардан иборат:

биржинсли бўлмаган ғовак мухитларда модда кўчиши жараёнларининг математик моделлари адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилган ва ҳисоблаш усуллари ҳамда дастурий воситалари ишлаб чиқилган;

гетероген ғовак мухитда модда кўчишини аниқлаш учун ҳисоблаш усуллари, алгоритмлари ва дастурлари икки ўринли адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган;

аниқ геометрияли икки зонали ғовак мухитда модда кўчиши масаласи адсорбцияни ҳисобга олиб ечилган;

биржинсли ва бўлакли биржинсли ғовак мухитларда адсорбциянинг таъсирини ҳисобга олиб, тузларнинг эриши масаласи ечилган ва сизиш кўрсаткичлари аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари куйидагилардан иборат:

дифференциал тенгламалар системаси асосида биржинсли бўлмаган суюқликларнинг ғовак мухитларда сизиши жараёнларининг математик моделлари, ҳисоблаш алгоритмлари адсорбциянинг таъсирини ҳисобга олиб ишлаб чиқилган;

адсорбцияни ва ички масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш учун дастурий восита яратилган;

икки ўринли адсорбцияни ва ички масса алмашинувини ҳисобга олган ҳолда модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш учун дастурий восита ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги сизиш назарияси, математик анализ, математик физика усулларини қўллаш ва математик амалларнинг катъийлиги билан масаланинг тўғри қўйилиши асосланган. Биржинсли бўлмаган суюқликларнинг сизиши масалалари чекли айрмалар усули ёрдамида сонли ечилган. Сонли ҳисоблашларни ўтказишда ечиш усули турғунлиги текширилган. Олинган натижаларнинг физик корректлиги текширилган ва шу соҳага тегишли тадқиқот ишлари билан таққосланган. Бу амалларнинг барчаси натижаларнинг ишончлилигини таъминлайди.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти ишлаб чиқилган назария ва математик моделлар биржинсли бўлмаган суюқликларнинг макроскопик биржинсли ғовак мухитларда сизиши назариясини ривожлантириши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти нефт конларини эксплуатация қилишда нефтни қатламдан сув ҳайдаш йўли билан сиқиб чиқариш, шўрланган тупроқларни ювиш, гидрологияда сизиш жараёнларини сифат ва миқдор жиҳатдан баҳолаш имкониятларини яратиши билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Биржинсли бўлмаган ғовак мухитларда модда кўчиши жараёнларининг такомиллаштирилган математик моделлари бўйича ишлаб чиқилган ҳисоблаш усуллари ва дастурий воситалари асосида:

биржинсли бўлмаган суюкликларнинг ғовак муҳитларда сизишини такомиллаштирилган ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Дарғом ирригация тизимлари ҳудудларида тузнинг эриши ва конвектив-диффузион кўчиш жараёнида адсорбциянинг родини баҳолаш учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув ҳўжалиги вазирлиги 2018 йил 17-октябрдаги 04/15-1973-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари муҳандислик ҳисобларни ўтказишга кетадиган вақт ва меҳнатни 0,3 мартага қисқартириш имконини берган;

адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда ғовак муҳитда модда кўчиши жараёнини ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Дарғом ирригация тизимлари ҳудудларида суғориладиган ерларнинг характеристикаларини баҳолаш учун жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув ҳўжалиги вазирлиги 2018 йил 17-октябрдаги 04/15-1973-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари суғориладиган ерларнинг характеристикаларини ўрта ва узоқ муддатли башоратлаш сифатини 15% га оширишга имкон берган;

ички зонали ғовак муҳитда модданинг адсорбцияланиб кўчишининг ҳисоблаш алгоритми ва дастурий воситаси Дарғом ирригация тизими бошқармаси томонидан сув етказиб берилётган ҳудудлардаги суғориладиган ер ва қуйиладиган сувнинг ўзаро боғлиқлигини аниқлашга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Сув ҳўжалиги вазирлиги 2018 йил 17-октябрдаги 04/15-1973-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижалари суғориш жараёнида объектнинг гидродинамик параметрларидан боғлиқ ҳолда вақт ва фазо бўйича эриган моддаларнинг концентрацияларини аниқлаш сифатини 15-20% га ошириш ва адсорбцияни таъсирини ҳисобга олиб шўрланган тулпроқларни ювишни ҳисоблаш аниқлигини 10 фоизга ошириш имконини берган;

хусусий ҳосилали дифференциал тенгламалар системасини сонли ечиш алгоритми ва дастурий восита №92-2015-03 рақамли “A mobile irrigation system for greenhouse” мавзусидаги (2015-2017 й.) хорижий грант лойиҳасида биржинсли бўлмаган ғовак муҳитда модда кўчиши масаласини ечишда фойдаланилган (Малайзия Нилай университети, 2018 йил 9 июлдаги маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши адсорбциянинг мувозанат, номувозанат, чизиқли ва ночизиқли кинетика ҳолатлари учун модданинг кўчиши тенгламасини ечиш ва концентрациясининг тарқалишини ҳисоблаш имконини берган;

биржинслимас ғовак муҳитларда модданинг кўчиши жараёнининг математик моделларидан №ФА-Ф078 «Ғовак муҳитларда биржинслимас суюкликлар сизиши ва сузилишининг гидродинамик масалалару» мавзусидаги (2012-2016 й.) фундаментал лойиҳада биржинсли бўлмаган ғовак муҳитда модданинг адсорбцияланиб кўчиши моделини тузишда ва суюкликнинг сизиши масалаларини ечишда фойдаланилган (Олий ва ўрта махсус таълим вазирлигининг 2018 йил 8 июндаги №89-02-2266-сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши сизиш жараёнларида адсорбциянинг ва ички масса алмашинувининг турли хил кинетик

жараёнларининг қатлам сизиш кўрсаткичларига таъсирини топиш, тузнинг эриши ва конвектив-диффузион кўчиш жараёнидаги адсорбциянинг ролини кўрсатиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 5 та халқаро ва 3 та республика илмий-амалий анжуманларида муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 17 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий Аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, жумладан, 2 таси хорижий ва 5 таси республика журналларида нашр этилган, ҳамда 2 та ЭХМ учун яратилган дастурий воситалар учун (№ DGU 04832, DGU 04993) гувоҳномалар олинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш қисми, учта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 103 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, мавзу бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи, муаммонинг ўрганилганлик даражаси келтирилган, тадқиқот мақсади, вазибалари, 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 «Ғовак муҳитда адсорбцияланувчи модда кўчиши» деб номланувчи биринчи бобида иш мавзусига оид тадқиқотларнинг қисқа таҳлили ва ғовак муҳитда модданинг конвектив-диффузияли кўчиш жараёнида модданинг адсорбцияси ҳақида бир қанча маълумотлар берилган. Ғовак муҳитда модда кўчишининг моделлари ва ечиш усуллари ҳақида батафсил маълумотлар келтирилган.

1.1 параграфда ғовак муҳитда диффузион ва конвектив кўчишга доир тадқиқотлар таҳлил қилинган.

1.2 параграфда ғовак муҳитда адсорбцияни ҳисобга олган ҳолда модда кўчиши моделлари берилган. Адсорбциянинг турли хил кинетика тенгламалари келтирилган: чизикли, ночизикли, мувозанат, номувозанат.

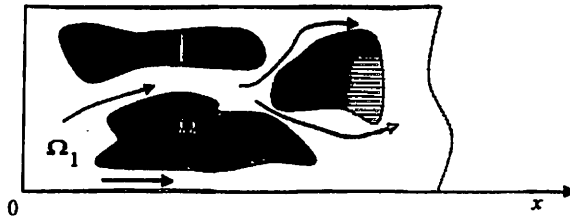
1.3 параграфда ғовак муҳитда модда кўчиши масалаларининг ечиш усуллари келтирилган.

Диссертациянинг «Ҳаракатдаги ва ҳаракатсиз суюқликли ғовак муҳитда адсорбцияланган модда кўчиши масалаларини ечиш» деб номланувчи иккинчи бобида ҳаракатдаги ва ҳаракатсиз суюқликлар билан

тўйинган икки зонали ғовак муҳитда адсорбция ҳисобга олиниб, модда кўчиши масалалари ечилган ва таҳлил қилинган.

2.1 параграфнинг биринчи бўлимида адсорбция ва ички масса алмашинувининг қизиқли қонунлари учун ҳаракатдаги ва ҳаракатсиз суюқликлар билан тўйинган ғовак муҳитда модда кўчиши масалалари қаралган. Масалалар сонли ечилган. Бошланғич параметрларнинг турли қийматлари учун ҳаракатдаги суюқликли зонадаги модда, адсорбцияланган модда ва зоналар орасидаги ички масса алмашинуви концентрацияларининг профиллари аниқланган.

Икки зонадан иборат ғовак муҳит қуйидагича қаралди: 1) ғоваклиги m_1 бўлган ҳаракатдаги суюқликли зона ва бунда ғоваклар суюқликлар учун транзит ҳисобланади; 2) ғоваклиги m_2 бўлган ҳаракатсиз суюқликли зона (1-расм).



1-расм. Икки зонали ғовак муҳитда транзит ғовакли (Ω_1) ва боғланган, ҳаракатсиз суюқликли (Ω_2) зоналар.

Ғовак муҳитни ярим чексиз, бир ўлчовли ва Ω_2 зонани Ω зонада текис тақсимланган.

Модданинг адсорбцияланиши фақат Ω_1 зонада содир бўлади деб ҳисоблаймиз.

Юқоридаги фаразларга асосан Ω_1 зонадаги модда кўчиши тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (1)$$

бу ерда c - модда концентрацияси, $\text{м}^3/\text{м}^3$; v - сизиш тезлиги, $\text{м}/\text{с}$; N - Ω_2 зонадаги модда концентрацияси, $\text{м}^3/\text{м}^3$; S - адсорбцияланган модда концентрацияси, $\text{м}^3/\text{кг}$; β - ғовак муҳитнинг умумий зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$.

(1) да $\frac{\partial N}{\partial t}$ ҳад Ω_1 зонадан Ω_2 зонага ўтувчи ички масса алмашинувини характерлайди. У қуйидаги кинетика тенгламаси билан аниқланади

$$\alpha \frac{\partial N}{\partial t} = kc - N, \quad (2)$$

бу ерда k , α - ўзгармаслар.

Ω_1 зонада модданинг номувозанат адсорбцияси содир бўлади, кинетикаси ички масса алмашинуви каби биринчи тартибли тенглама билан аниқланади

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c - k_2 S, \quad (3)$$

бу ерда k_1, k_2 - ўзгармаслар.

Бошланғич моментда тоза сув билан тўйинган (моддасиз) мухитга ўзгармас c_0 концентрацияли сууюклик ҳайдалаётган бўлсин. Вақтнинг шундай пайтларини қараймизки, концентрация майдони мухитнинг ўнг чегараси $x = \infty$ га етиб келмайди. Ушбу фаразларда масаланинг бошланғич ва чегаравий шартлари қуйидаги кўринишда бўлади

$$c(0, x) = 0, \quad N(0, x) = 0, \quad S(0, x) = 0, \quad c(t, 0) = c_0, \quad c(t, \infty) = 0. \quad (4)$$

Концентрация майдонини, адсорбцияланган ва Ω_1 зонадан Ω_2 зонага шимилган модданинг концентрация майдонларини аниқлаш керак.

(1) – (4) масала чизикли бўлса ҳам, аналитик ечимини олиш қийин, чунки бир вақтда учта майдонни топиш керак. Шунинг учун масalani ечиш учун чекли айирмалар усулини қўллаймиз. Қаралаётган $\Omega = \{(t, x), 0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq \infty\}$ соҳада йўналишлар бўйича текис тўр киритилади

$$\bar{\omega}_* = \left\{ (t_j, x_i); t_j = j\tau, x_i = ih, \tau = \frac{T}{J}, i = \overline{0, I}, j = \overline{0, J} \right\},$$

бу ерда I – етарли даражада катта бутун мусбат сон. Бу сон шундай танланадики $[0, x_j]$, $x_j = ih$, кесма c, S ва N майдонларнинг ҳисобланаётган ўзгариш соҳасини қоплайди. h – x йўналиши бўйича тўр қадами.

Очиқ тўр соҳада

$$\omega_* = \left\{ (t_j, x_i); t_j = j\tau, x_i = ih, \tau = \frac{T}{J}, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I-1} \right\}$$

(1), (2), (3) тенгнамалар қуйидагича аппроксимация қилинди:

$$\begin{aligned} m_1 \frac{c_i^{j+1} - c_i^j}{\tau} + \nu \frac{c_{i+1}^{j+1} - c_{i-1}^{j+1}}{2h} + m_2 \frac{N_i^{j+1} - N_i^j}{\tau} + \beta \frac{S_i^{j+1} - S_i^j}{\tau} = \\ = D \frac{c_{i+1}^{j+1} - 2c_i^{j+1} + c_{i-1}^{j+1}}{h^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\alpha \frac{N_i^{j+1} - N_i^j}{\tau} = kc_i^j - N_i^{j+1}, \quad (6)$$

$$\frac{S_i^{j+1} - S_i^j}{\tau} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c_i^j - k_2 S_i^{j+1}, \quad i = \overline{1, I-1}, j = \overline{0, J-1}, \quad (7)$$

бу ерда c_i^j, N_i^j, S_i^j – $c(t, x), N(t, x), S(t, x)$ функцияларнинг тўрнинг (t_j, x_i) нуктадаги қийматлари.

Ошкор (6), (7) тенгнамалардан N_i^{j+1}, S_i^{j+1} ларни аниқлаймиз

$$N_i^{j+1} = p_1 N_i^j + p_2, \quad (8)$$

$$S_i^{j+1} = q_1 S_i^j + q_2, \quad (9)$$

бу ерда $p_1 = \alpha(\alpha + \tau)^{-1}, p_2 = \tau k_1^j (\alpha + \tau)^{-1},$

$$q_1 = (1 + k_2 \tau)^{-1}, \quad q_2 = \frac{\tau k_1 m_1}{\beta(1 + \tau k_2)} c_i^j.$$

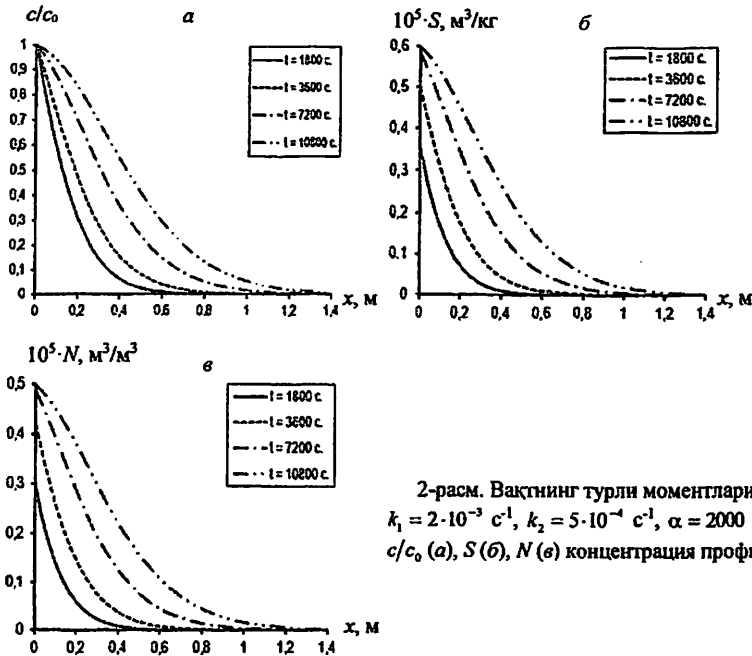
(5) түр тенглама куйидаги кўринишга келтирилади

$$\gamma_1 c_i^{j+1} - \gamma_2 c_i^{j+1} + \gamma_3 c_i^{j+1} = -F_i^j, \quad i = \overline{1, I-1}, \quad j = \overline{0, J-1}, \quad (10)$$

бу ерда $\gamma_1 = \frac{D\tau}{h^2} + \frac{\nu}{2h}$, $\gamma_2 = \frac{2D\tau}{h^2} + m_1$, $\gamma_3 = \frac{D\tau}{h^2} - \frac{\nu}{2h}$,

$$F_i^j = m_1 c_i^j - m_2 (N_i^{j+1} - N_i^j) - \beta (S_i^{j+1} - S_i^j).$$

Ечимни ҳисоблаш куйидаги кетма-кетликда амалга оширилади. (8), (9) бўйича N_i^{j+1} , S_i^{j+1} аниқланади, кейин (10) чизикли тенгламалар системаси прогонка усули бўйича ечилиб, c_i^{j+1} аниқланади. $p_i, q < 1$, шунинг учун (8), (9) схемалар турғун, (10) учун эса прогонка усулининг турғунлик шarti бажарилади. Бошланғич параметрларнинг аниқ қийматлари t учун ҳисоблашларнинг айрим натижалари 2-расмда келтирилган. Графиклар таҳлили кўрсатадики, модда муҳитга кириши билан учта c , S , N майдонлар пайдо бўлади ва вақт ўтиши билан қатлам бўйлаб ҳаракатланади. Вақт ўтиши билан адсорбцияланган модда ва ички масса алмашинув концентрациялари қатламнинг ҳар бир нуктасида $x = 0$ нуктада ҳам, ошишини кузатиш мумкин.



2-расм. Вақтнинг турли моментларида $k_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$, $k_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $\alpha = 2000$ да c/c_0 (а), S (б), N (e) концентрация профиллари.

Муҳитга тушган модда суюқлик билан бирга муаллақ ҳолатда бўлиши ($c(t, x)$ майдон), адсорбцияланиши ($S(t, x)$ майдон) ёки суюқлиги

харакатсиз зонага шимилиши мумкин ($N(t, x)$ майдон). α параметрининг турли қийматлари учун ясалган графикларни таққослаб, N профилларининг кечикувчи динамикасини кузатиш мумкин.

2.1 параграфнинг иккинчи бўлимида адсорбциянинг чизикли кинетикаси ўрнига

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c^n - k_2 S, \quad 0 < n < 1, \quad (11)$$

ночизикли кинетика қаралган. Олинган натижалар кўрсатадики, бир хил шартларда ночизикли кинетикада адсорбция чизикли кинетикага нисбатан жадалроқ содир бўлади.

2.1 параграфнинг учинчи бўлимида адсорбция учун чизикли, ички масса алмашинув учун

$$\alpha \frac{\partial N}{\partial t} = kc^m - N, \quad 0 < m < 1, \quad (12)$$

ночизикли кинетика тенгламалар қаралган.

Ночизиклилик кўрсаткичи m камайиши билан ички масса алмашинув N нинг ошиши кузатилади.

2.1 параграфнинг тўртинчи бўлимида адсорбция ва ички масса алмашинуви учун ночизикли кинетикалар қўлланилган.

2.2 параграфда икки ўринли адсорбция учун масала тадқиқ қилинган ва ечилган, бунда адсорбциянинг умумий майдони икки қисмга бўлинган, бир қисмида мувозанат бошқасида эса номувозанат адсорбция содир бўлади.

Кўчиш тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (13)$$

$$S = S_1 + S_2, \quad (14)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1 f}{\beta} c - k_2 S_1 + k_4 \frac{m_1 (1-f)}{\beta} \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (15)$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} = k_1 \frac{m_1 f}{\beta} c - k_2 S_1, \quad (16)$$

$$S_2 = k_4 \frac{m_1 (1-f)}{\beta} c. \quad (17)$$

(14)–(17) тенгламаларни ҳисобга олиб, (13) қуйидагича ёзилади:

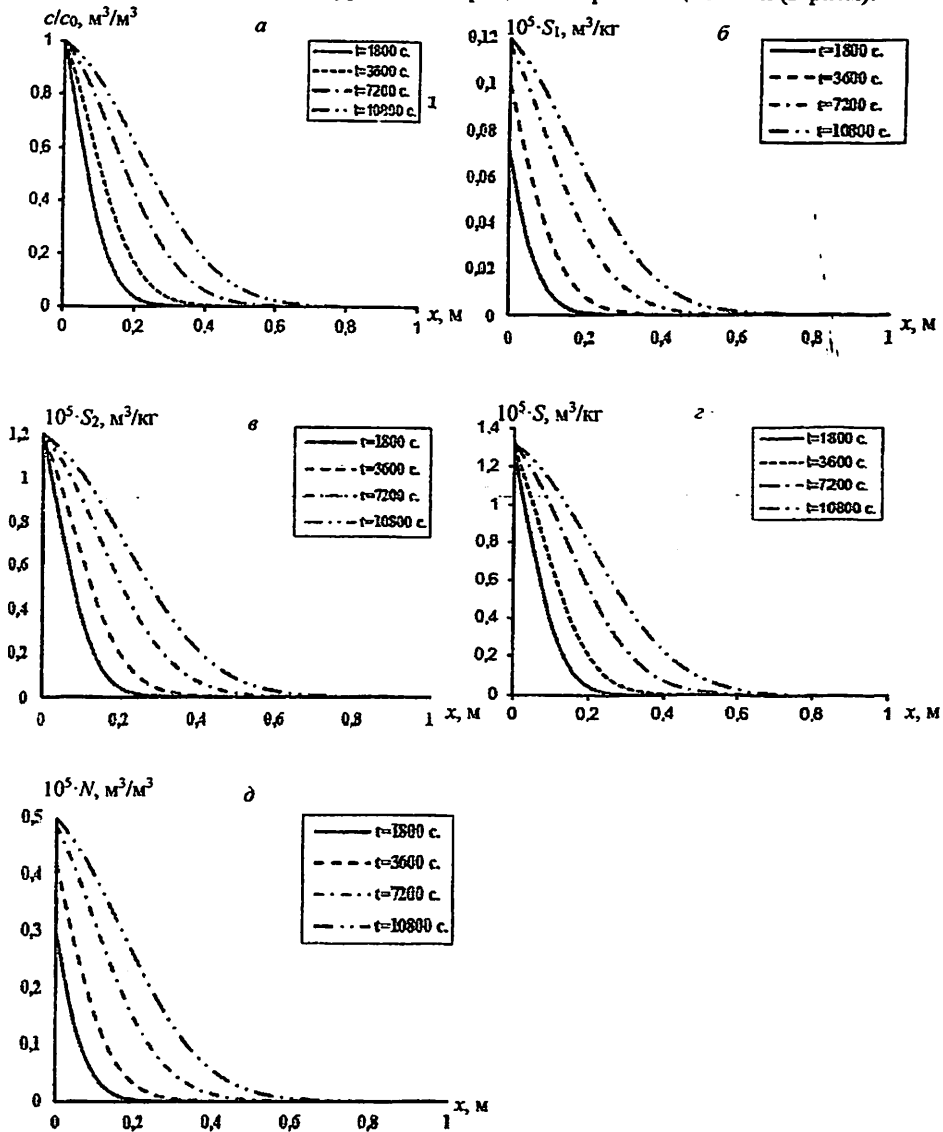
$$m_1 [1 + k_4 (1-f)] \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (18)$$

Ички масса алмашинуви кинетикасини (2) ёки (12) кўринишда деб оламиз. Адсорбциянинг ночизикли кинетикасида (11) тенгламадан фойдаланамиз.

Бошланғич ва чегаравий шартлар қуйидаги кўринишда қўлланилган:

$$c(0, x) = 0, \quad N(0, x) = 0, \quad S_1(0, x) = 0, \quad c(t, 0) = c_0, \quad c(t, \infty) = 0. \quad (19)$$

2.2 параграфда 2.1 параграфдаги каби тўртта ҳолатда модда кўчиши характеристикасида икки ўринли адсорбциянинг роли баҳоланган (3-расм).



3-расм. Вактнинг турли моментларида $f = 0,2$, $k_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$, $k_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $k = 10$, $\alpha = 2000$ да c/c_0 (а), S_1 (б), S_2 (в), S (г), N (д) концентрация профиллари.

2.3 параграфда ҳаракатдаги суюқликнинг ҳўлланиш чегараси $x_0(t) = \frac{vt}{m_1}$ қонун бўйича ҳаракатланганда, ғовак муҳитда модда кўчиши масаласи ечилган. Бу чегаранинг орқасида модда кўчиши содир бўлади, $x \geq x_0(t)$ да эса барча нуқталарда концентрация профиллари нолга тенг. Масаланинг бундай қўйилишининг ярим чексиз қатлам ҳолдаги қўйилишидан фарқлари аниқланган.

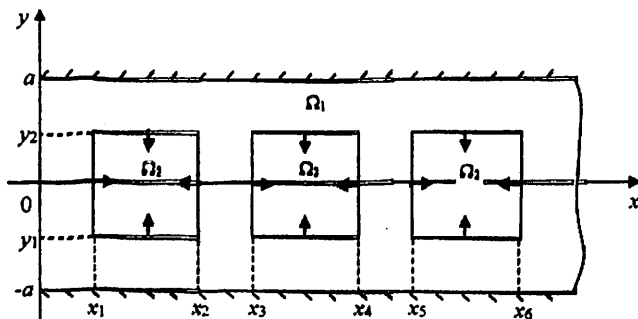
2.4 параграфда суюқлиги ҳаракатсиз, лекин диффузияланиб кўчиш содир бўладиган биржинслимас қисмли икки ўлчовли соҳада модда кўчиши масаласи ечилган. Қуйидаги икки зонадан иборат ғовак муҳитни қараймиз: 1) ҳаракатдаги суюқликли зона $\Omega_1 \{0 \leq x < \infty, -a \leq y \leq a\} \setminus \{x_i \leq x \leq x_{i+1}, i=1,3,5,\dots, y_1 \leq y \leq y_2\}$; 2) ҳаракатсиз суюқликли зона $\Omega_2 \{x_i \leq x \leq x_{i+1}, i=1,3,5,\dots, y_1 \leq y \leq y_2\}$ (4-расм). Ғовак муҳитни ярим чексиз, икки ўлчовли, кенглиги $2a$ тенг ва (Ω_2) зона (Ω_1) зона ичида жойлашган деб ҳисоблаймиз.

зонанинг юқори ва қуйи чегаралари суюқликни ўтказмайди. Суюқлик фақат x йўналишида ўзгармас сизиш тезлиги билан ҳаракатланади. да адсорбцияни ҳисобга олингандаги модда кўчиши тенгламасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_2 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in \Omega_1, \quad (20)$$

бу ерда D_1 ва D_2 - x и y йўналишлар бўйича диффузия коэффициентлари.

Ω_2 зонада x и y йўналишлар бўйича фақат модданинг диффузион кўчиши содир бўлади. Бу соҳанинг кам ўтказувчанлиги ҳисобига модда кўчиши x и y йўналишлар бўйича муайян D_1^* и D_2^* эффектив коэффициентлар билан юз беради.



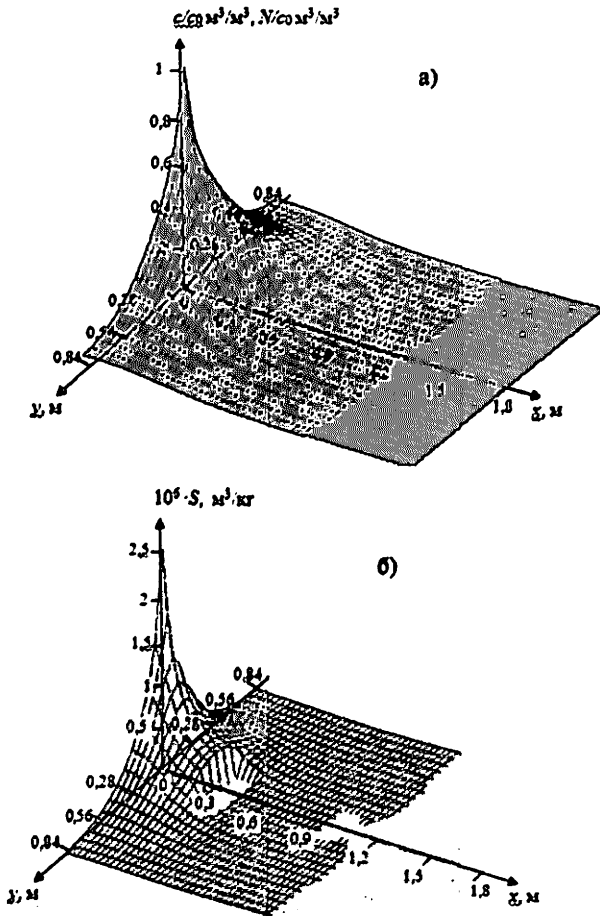
4-расм. Икки ўлчовли соҳада модда кўчиши схемаси

Ω_2 зонада модда кўчиши тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$D_2 \frac{\partial c}{\partial y} = D_2^* \frac{\partial N}{\partial y}, \quad y = y_1, \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}, \quad i = 1, 3, 5, \dots, \quad (36)$$

$$D_2 \frac{\partial c}{\partial y} = D_2^* \frac{\partial N}{\partial y}, \quad y = y_2, \quad x_i < x < x_{i+1}, \quad i = 1, 3, 5, \dots \quad (37)$$

5-расмда баъзи ҳисоблашлар натижалари келтирилган. Ҳаракатсиз суюқликли зонанинг ва адсорбциянинг иккала зонада кўчишнинг характеристикаларига таъсири аниқланган.



5-расм. $D_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_1^* = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, $D_2^* = 3 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, $v = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$, $t = 1500 \text{ с}$. да Ω_1 зонада c/c_0 , Ω_2 (а) зонада N/c_0 , Ω_1 (б) зонада S сиртлар.

Диссертациянинг «Ғовак муҳитда тузнинг эриши ва кўчиши масалалари» деб номланувчи учинчи бобида ғовак муҳитда адсорбция ҳисобга олиниб, тузнинг эриши ва кўчиши масалалари таҳлил қилинган.

3.1 параграфда ғовак муҳитда тузнинг эриши ва кўчишининг қисқача таҳлили берилган.

3.2 параграфда ҳўлланиш чегарасидаги шартни ҳисобга олган ҳолда тузнинг эришида конвектив-диффузион кўчиш масалалари ечилган.

Ғоваклиги m бўлган ғовак муҳитнинг қаттиқ фазаси $\varphi(x)$ концентрацияли туздан таркиб топган бўлсин. Қатламга тузлардан холи суюқлик ҳайдалади. Қатлам бошланғич ҳолатда куруқ ва қаттиқ фазадаги тузлар эрмаган ҳолатда бўлсин. Бир ўлчовли ҳолатда модданинг баланс тенгламаси куйидаги кўринишда олинди:

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (38)$$

Бошланғич ва чегаравий шартлар куйидагича:

$$c(0, x) = 0, \quad S(0, x) = 0, \quad (39)$$

$$c(t, 0) = 0, \quad (40)$$

$$D \frac{\partial c}{\partial x} = \varphi(x) x_0', \quad x_0(t) = \frac{vt}{m}. \quad (41)$$

(41) шарт тузларнинг дарҳол эришини билдиради ва ҳўлланиш чегараси ортида диффузион оқим ҳосил қилади. Натижалар $x_0(t)$ фронтда тузларнинг эриши суюқликда тузларнинг концентрацияси ошишига олиб келишини кўрсатди.

3.3 параграфда бу масала ғовак муҳит бўлакли бошланғич ҳолатда биржинсли шўрланган ҳол учун ҳам тадқиқ қилинган, яъни (41) шарт ўрнига

$$c(t, x_0(t)) = c_0 + \sum_{l=1}^k (c_l - c_{l-1}) \eta(x - x_{l-1}) \quad (42)$$

шарт олинган, бу ерда c_0 ўзгармас сон, $\eta(x)$ - Хевисайднинг бирлик функцияси.

Хулосада олинган асосий янги натижалар келтирилган.

ХУЛОСА

«Адсорбцияни ва ғовак муҳитнинг биржинслимас тўлдирилишини ҳисобга олган ҳолда биржинслимас суюқликларнинг сизиши масалалари» мавзусидаги фалсафа докторлик (PhD) диссертацияси бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида куйидаги асосий хулосалар келиб чиқади:

1. Транзит ғовакли ва ҳаракатсиз суюқликли ғовак муҳитда модданинг адсорбцияланиши ҳаракатдаги суюқликли зоналарда ва зоналар орасидаги ички масса алмашинувини концентрация майдонларининг кечикиб тарқалишига олиб келади. Бир хил параметрларда адсорбциянинг ночизикли кинетикаси адсорбция эффектлари кучайишига олиб келади. Адсорбция,

ички масса алмашинуви ва модда кўчиши учун характерли ўтиш жараёнлари ўзаро мураккаб ўтиш жараёнларини келтириб чиқаради. Хусусий ҳолда, бошқаларига нисбатан тез тугаши керак бўлган ўтиш жараёнлари учун стационар режим бошланишининг кечикиши кузатилади. Ночизикли кинетикада бир хил ўхшаш параметрларда ички масса алмашинуви жадаллашади.

2. Икки ўринли адсорбция масаласида номувозанат адсорбциянинг улуши ошиши натижасида, қатлам ичига концентрация майдонлари илгариланма ҳаракати сабабли умумий адсорбция темпининг камайиши кузатилди. Бир ўринли адсорбция ҳолати каби, бир хил параметрларда ночизикли кинетикага ўтиш адсорбция ва ички масса алмашинувининг эффектларини кучайишига олиб келади.

3. Намланиш чегарасида берилган шартда олинган натижалар унга мос чексизлик учун олинган натижалардан кўчиш кўрсаткичлари ўзгаришининг бошланғич даврида фарқ қилади.

4. Суюқлиги ҳаракатсиз, лекин диффузияли кўчиш содир бўладиган биржинслимас қисмли икки ўлчовли соҳада модда кўчиши масаласи ечилган. Кўзгалмас суюқликли зонанинг мавжудлиги иккала зонада умумий кўчиш характеристикасига етарли даражада таъсир этиши кўрсатилди.

5. Адсорбция эффектлари ҳисобга олиниб, қаттиқ фазадаги тузларнинг эриши масаласи тузилган ва сонли ечилган. Ҳўлланиш чегарасида тузларнинг эриши қоришмадаги тузнинг концентрацияси ошишига олиб келиши аниқланди. Алоҳида олинган нуқталарда адсорбциянинг эффектлари ҳисобига ҳўлланиш чегараси ортида концентрация камаяди. Ҳўлланиш чегараси ҳаракатланиши учун берилган қонунда D нинг қиймати кичиклашиши нисбатан катта концентрациялар ва уларнинг градиентлари пайдо бўлишига олиб келади. Бир хил ўхшаш параметрларда адсорбциянинг ночизикли кинетикасини қўллаш, олдинги ҳолатлар каби, адсорбция қийматининг катталанишига ва ўз навбатида c туз концентрациясининг кичиклашишига олиб келади.

6. Турғун зонада тузларнинг биржинслимас (бўлакли-биржинсли) тақсимланиши қоришмадаги тузларнинг ва уларнинг адсорбциясининг концентрацияларини нотекис тақсимланишига олиб келади. Турғун зонадаги туз концентрацияси c ва адсорбцияланган модда концентрацияси S профилиларидаги узилишлар йўқолади ва силлиқланади. Ҳўлланиш чегарасида тузларнинг диффузион оқими берилганда (бўлакли-биржинсли куруқ қатламга суюқлик ҳайдаш масаласи) c нинг қиймати сезиларли даражадаги катта майдонни ҳосил қилади ва бу ўз навбатида S нинг қийматини катталанишига олиб келади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.02.2018. Т/ФМ.61.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ МЕХАНИКИ И
СЕЙСМОСТОЙКОСТИ СООРУЖЕНИЙ И ТАШКЕНТСКОМ
ИНСТИТУТЕ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И МЕХАНИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЗИКИРЯЕВ ШАВКАТ ХУДОЯРОВИЧ

**ЗАДАЧИ ФИЛЬТРАЦИИ НЕОДНОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ С
УЧЕТОМ АДСОРБЦИИ И НЕОДНОРОДНОСТИ ПОРОВОГО
ПРОСТРАНСТВА**

01.02.05 – Механика жидкости и газа

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

Ташкент – 2019

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за В2018.1.PhD/FM168.

Диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

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

Научный руководитель: Хужаёров Бахтиёр Хужаёрович
доктор физико-математических наук, профессор

Официальные оппоненты: Маликов Зафар Маматкулович
доктор технический наук, с.н.с.

Каюмов Шукур
кандидат физико-математических наук, доцент


Ведущая организация: Ургенчский государственный университет


Защита диссертации состоится 25 август 2019 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 при Институте механики и сейсмостойкости сооружений и Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Карн Ниязий, 39, зал заседаний – 4. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79. e-mail: admin@tiame.uz).


С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (регистрационный номер № 67 Адрес: 100000, г. Ташкент, ул. Карн Ниязий, 39. Тел.: (99871) 237-46-68; факс: (99871) 237-38-79.

Автореферат диссертации разослан 26 август 2019 года.
(реестр Протокола рассылки № 1 от 26 август 2019 года.)




М.М. Мирsaidов
Председатель Научного совета по
присуждению ученых степеней,
д.т.н., профессор, академик


Ш.О. Худайназаров
Ученый секретарь Научного совета по
присуждению ученых степеней, к.т.н.,
доцент


И. К. Хузаев
Председатель Научного семинара
при научном совете по присуждению
ученых степеней, д.т.н.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире особое место занимает усовершенствование методов проектирования и анализа разработки нефтяных и газовых месторождений, а также вымывания солей из почв в сельском хозяйстве. В последние годы в развитых странах мира исследуя перенос веществ в пористой среде получены эффективные результаты по оценке влияния различных факторов на фильтрационные характеристики пласта. В связи с этим значительную роль приобретает математическое моделирование и решение задач переноса веществ в неоднородных нефтяных пластах с учетом одновременного внутреннего массообмена и адсорбции на стенках порового пространства. При добыче нефти в России, Саудовский Аравии, Кувейте, Канаде и США особое внимание уделяется усовершенствованию методов проектирования разработки месторождений с учетом особенностей течения жидкостей в неоднородных пластах.

В мире в нефтегазовой отрасли применяются различные методы для наиболее полного извлечения запасов, в частности, методы повышения эффективности вымывающих свойств заводняющей жидкости. Поэтому особое внимание уделяется изучение процесса переноса веществ при фильтрации неоднородных жидкостей. До настоящего времени задачи по внутреннему массообмену остаются малоизученными. Для качественной и количественной оценки характеристик переноса веществ в пористых средах важное значение имеет математическое моделирование, учитывающее основные характерные особенности процесса. Поэтому, разработка адекватной математической модели и решение задач переноса вещества в неоднородной пористой среде с учетом процесса адсорбции на поверхности порового пространства при конвективно-диффузионном переносе веществ является актуальной задачей.

В нашей республике уделяется большое внимание применению наиболее эффективных методов воздействия на пласты для увеличения нефтеотдачи коллекторов. Большая работа проводится также в области мелиорации, охраны водных ресурсов, экологии др. В «Стратегии развития Республики Узбекистан» на 2017-2021 годы, в частности отмечается «... технологического и технического обновления, а также модернизации производства, ... улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель, развитие сети мелиоративных и ирригационных объектов, широкое внедрение в сельскохозяйственное производство интенсивных методов, прежде всего современных водо- и ресурсосберегающих агротехнологий, использование высокопроизводительной сельскохозяйственной техники»². Поэтому в настоящее время в исполнении данного Постановления

² Указ «О стратегии действий по улучшению Республики Узбекистан» № ПФ-4947 от 7 февраля 2017 Президента Республики Узбекистан.

актуальной задачей является создание усовершенствованных моделей, разработка алгоритмов и компьютерных программ фильтрации неоднородных жидкостей и вымывание солей из почв, которые учитывали бы неоднородность пласта.

В определенной степени, данное диссертационное исследование служит осуществлению задач, определенных в нормативно-правовых документах касательно данной деятельности, в частности, к таковым относятся Указ «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» ПФ-4947 от 7 февраля 2017 года, Указ «О мерах по усовершенствованию системы защиты водных объектов» ПК-3286 от 25 сентября 2017 года, «Об усовершенствовании системы управления нефте-газодобывающей промышленностью» № ПК-3107 от 30 июня 2017 года, Решение «О мерах по обеспечению рационального использования энергетических ресурсов» № ПК-3379 от 8 ноября 2017 года Президента Республики Узбекистан, а также другие нормативно-правовые документы.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в Республике Узбекистан IV. «Математика, механика и информатика».

Степень изученности проблемы. Исследования по математическому моделированию переноса веществ в пористой среде отражены в работах следующих зарубежных и отечественных ученых, как D.R. Cameron, A. Klute, J.C. Parker, M.Th. van Genuchten, P.S.Rao, J.M. Davidson, R.E. Jessup, H.M. Selim, R.S. Mansell, M.L.Brusseau, E.L. Cussler, I. Hashimoto, K.B. Deshpande, H.C. Thomas, B.D.Kay, D.E. Elrick, L. Lapidus, N.R. Amundson, R. Massel, H.T. Данаев, Н.К. Корсакова, В.И. Пеньковский, Н.Равшанов, И.К.Хужаев, Ш.Каюмов, Ф.Б.Абуталиев, Б.Х. Хужаёров, В.Ф.Бурнашев, Ж.М. Махмудов.

В научных работах K.H.Coats и B.D.Smith рассмотрены модели пористой среды, учитывающие наличие зоны с подвижной и неподвижной жидкостью. M.Th. Van Genuchten и P. J. Wierenga получили аналитическое решение задачи движения химического вещества через пористую среду. Диффузионный перенос между зонами с подвижными и неподвижными жидкостями считали пропорциональным разности концентраций. Определенные химические вещества могут различным образом реагировать с составляющими грунта и вступать в различные реакции. В работах D.R. Cameron, A. Klute предложена комбинация равновесной и кинетической моделей адсорбции чтобы описать общую реакцию. Задачи переноса веществ при двухместной адсорбции приведены в работах M.L. Brusseau, P.S. Rao. Задачи растворения солей исследованы в работах H.T. Данаева, Н.К. Корсаковой, В.И. Пеньковского и др.

Несмотря на большой объем исследований в данном направлении многие вопросы не нашли своего окончательного решения. Не до конца изучены вопросы фильтрации неоднородных жидкостей в пористой среде с

учетом конвективной диффузии, адсорбции и неоднородности порового пространства и др.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного или научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационная работа выполнена в соответствии с темой научно-исследовательских работ Ф4-Ф078 – «Гидродинамические задачи фильтрации и фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах» (Организация-исполнитель - Самаркандский государственный университет, 2012-2016 гг.).

Цель исследования состоит в усовершенствовании гидродинамических моделей фильтрации неоднородных жидкостей в пористых средах с учетом диффузии, гидродинамической дисперсии, конвекции, адсорбции, неоднородности порового объема по степени заполнения, внутреннего диффузионного массообмена и численном решении задач по этим моделям.

Задачи исследования:

– усовершенствование математических моделей переноса веществ в агрегированной пористой среде, содержащей транзитные поры и застойные зоны, с учетом линейно – нелинейных, равновесно – неравновесных адсорбций и внутреннего массообмена и разработка методов их решения;

– усовершенствование математических моделей переноса вещества и фильтрации неоднородных жидкостей в пористой среде с учетом двухместной адсорбции и численное исследование соответствующих задач;

– разработка математических моделей процесса переноса солей с учетом их адсорбции;

– усовершенствование математических моделей процесса переноса и растворения солей в однородных и кусочно-однородных пористых средах, а также разработка алгоритма их вычисления.

Объектом исследования являются пористые среды, где осуществляется фильтрация неоднородных жидкостей с адсорбцией.

Предмет исследования. Математические модели, вычислительные алгоритмы, программные средства и гидродинамический анализ процессов переноса веществ с адсорбцией в пористой среде.

Методы исследования. В ходе выполнения работы использованы методы подземной гидро-газомеханики, методы математического моделирования, математической физики, численные методы и вычислительный эксперимент.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

усовершенствована математическая модель процесса переноса вещества в неоднородных пористых средах с учетом адсорбции и разработаны вычислительные методы и программы;

разработаны вычислительные методы, алгоритмы и программы для определения переноса вещества в гетерогенной пористой среде с учетом двухместной адсорбции;

решена задача переноса вещества в двухзонной пористой среде с определенной геометрией с учетом адсорбции;

решены задачи растворения солей с учетом явления адсорбции в однородных и кусочно-однородных пористых средах и определены показатели фильтрации.

Практические результаты исследования состоят в следующем:

разработаны математические модели процессов фильтрации неоднородных жидкостей в пористой среде с учетом адсорбции на основе систем дифференциальных уравнений, алгоритмов и вычислительных экспериментов;

разработаны программные средства для осуществления расчёта процесса переноса веществ с учетом адсорбции и внутреннего массообмена в пористой среде;

разработаны программные средства для осуществления расчёта процесса переноса веществ с учетом двухместной адсорбции и внутреннего массообмена в пористой среде;

Достоверность результатов исследования обосновывается корректностью постановки задач с применением методов теории фильтрации, математического анализа, математической физики и строгостью математических выкладок. При проведении численных расчетов проверена устойчивость применяемого метода решения. На основе полученных результатов проведен физический анализ, оценено их соответствие реальным физическим процессам. Все это обеспечивает достоверность результатов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость определяется тем, что разработанные теории и математические модели позволяют решать задачи фильтрации неоднородных жидкостей в макроскопически неоднородных пористых средах.

Практическая значимость результатов исследования заключается в интенсификации вытеснения нефти водой из пористой среды, качественной и количественной оценке процесса фильтрации подземных вод и в других областях промышленности.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных научных результатов исследований по разработке математических моделей фильтрации неоднородных жидкостей в неоднородных пластах:

разработанный алгоритм расчета и программа внедрены на Даргомской ирригационном предприятии для учета роли адсорбции в процессе солепереноса в почвах (справка министерство водного хозяйства Республики Узбекистан 04/15-1973 от 17 октября 2018 г.). Результаты внедрения научных исследований в практику дали возможность сократить необходимые инженерные расчеты в 0,3 раза;

предложенные алгоритм расчета и программа внедрены на Даргомском ирригационном предприятии для оценки характеристик орошаемых земель с учетом адсорбции веществ в поровом пространстве (справка министерство водного хозяйства Республики Узбекистан 04/15-1973 от 17 октября 2018 г.).

Результаты внедрения научных положений в практику дали возможность улучшить качество прогнозирования характеристик орошаемых земельных участков на 15%;

разработанный способ расчета переноса вещества с учетом адсорбции в двухслойном пористой среде внедрен на Даргомском ирригационном предприятии (справка министерство водного хозяйства Республики Узбекистан 04/15-1973 от 17 октября 2018 г.). Результаты применения научных результатов позволили увеличить учет растворимых веществ на 15-20% и 10% влияния адсорбции при вымыв солей в почвах;

разработанная программа численного решения систем дифференциальных уравнений в частных производных переноса веществ в пористой среде с учетом адсорбции была использована при выполнении зарубежного гранта №92-2015-03 "A mobile irrigation system for greenhouse" (2015-2017 г.) (справка университета Малайзия Нилай, от 9 июля 2018 г.). Применение научных результатов позволило решить уравнения переноса веществ и вычислить распределение концентрации с учетом линейно, нелинейно, равновесной и неравновесной кинетики адсорбции;

математические модели процесса переноса веществ в пористых средах использованы в фундаментальном проекте ФА-Ф078 «Гидродинамические задачи фильтрации и фильтрования неоднородных жидкостей в пористых средах», при моделировании переноса абсорбируемых веществ и решении задач фильтрации жидкости в неоднородных пористых средах (Министерство высшего и среднего специального образования, справка от 8 июня 2018 года). Применение научных результатов дало возможность определить влияние адсорбции и внутреннего массопереноса в процессе фильтрации в различных кинетических уравнениях и показать роль адсорбции в конвективно-диффузионном переносе и растворении солей.

Апробация результатов исследования. Результаты данного исследования доложены на 4 международных и 3 республиканских конференциях.

Публикация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 17 научных трудов: 7 научных статей, в том числе 5 республиканских и 2 в зарубежных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 2 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ (№ DGU 04832, DGU 04993).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации состоит из 103 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, показано соответствие исследования приоритетным

направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан. Обозначены цель и задачи, описаны объект и предмет исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыта их теоритическая и практическая значимость, приведены сведения о внедрении результатов исследования в практику, опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации, названной «Перенос адсорбируемого вещества в пористой среде», дан краткий анализ темы исследования и адсорбции вещества в процессе конвективно–диффузионного переноса в пористых средах. Приведены сведения о моделях и методах решения задач переноса веществ в пористых средах.

В параграфе 1.1 проведен анализ исследованию по конвективному и диффузионному переносу веществ.

В параграфе 1.2 приведены математические модели переноса вещества в пористой среде.

В параграфе 1.3 приведены методы решения задач переноса вещества в пористой среде.

Во второй главе диссертации, названной «Решение задач переноса адсорбируемого вещества в пористой среде с подвижной и неподвижной жидкостью» решены и анализированы задачи переноса вещества с учетом адсорбции в двухзонной пористой среде, насыщенной неподвижной и подвижной жидкостью.

В первом разделе параграфа 2.1 рассмотрены задачи переноса вещества в пористой среде, насыщенной неподвижной и подвижной жидкостью для линейных законов адсорбции и внутреннего массообмена.

Задачи решены численно. Определены профили концентрации вещества в зоне с подвижной жидкостью, адсорбированного вещества и массообмена между зонами для различных значений исходных параметров.

Рассматривается пористая среда, состоящая из двух зон: 1) зона с пористостью m_1 , где поры являются транзитными для жидкости – зона с подвижной жидкостью; 2) зона с неподвижной жидкостью (с неподвижной, связанной водой), пористостью m_2 (Рис.1.).

Пористая среда считается полубесконечной, одномерной, зона Ω_2 равномерно распределенной в Ω_1 .

Считается, что адсорбция вещества происходит только в зоне Ω_1 .

В рамках сделанных допущений уравнение переноса вещества в можно записать в виде

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где c - концентрация вещества, $\text{м}^3/\text{м}^3$, v - скорость фильтрации, $\text{м}/\text{с}$, N - концентрация вещества в зоне Ω_2 , S - концентрация адсорбированного вещества, $\text{м}^3/\text{кг}$, β - общая плотность пористой среды, $\text{кг}/\text{м}^3$.

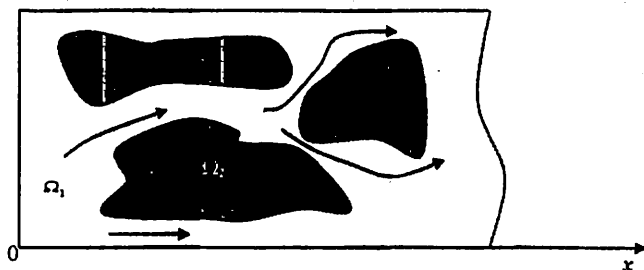


Рис.1. Пористая среда с двумя зонами: с транзитными порами (Ω_1) и связанной, неподвижной жидкостью (Ω_2).

В (1) член $\frac{\partial N}{\partial t}$ характеризует внутридиффузионный массообмен из зоны Ω_1 в Ω_2 . Он определяется кинетическим уравнением

$$\alpha \frac{\partial N}{\partial t} = kc - N, \quad (2)$$

где k, α - const.

В зоне Ω_1 происходит неравновесная адсорбция вещества, кинетика которой определяется, как и внутридиффузионный массообмен, уравнением первого порядка

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c - k_2 S, \quad (3)$$

k_1, k_2 - const.

Пусть в первоначально насыщенную чистой (без вещества) жидкостью среду с начального момента времени закачивается жидкость с постоянной концентрацией вещества c_0 . Рассмотрим такие периоды времени, в течение которых концентрационное поле не достигает правой границы среды, $x = \infty$. При отмеченных допущениях начальные и граничные условия для задачи имеют вид

$$c(0, x) = 0, \quad N(0, x) = 0, \quad S(0, x) = 0, \quad c(t, 0) = c_0, \quad c(t, \infty) = 0. \quad (4)$$

Необходимо определить поля концентрации, адсорбированного вещества, диффундированного вещества из Ω_1 в Ω_2 .

Задача (1) – (4) хотя и является линейной, получение аналитического решения является сложным, т.к. необходимо найти одновременно три поля. Поэтому для решения задачи применяем метод конечных разностей. В рассматриваемой области $\Omega = \{(t, x), 0 \leq t \leq T, 0 \leq x \leq \infty\}$ введена равномерная по направлениям сетка

$$\bar{\omega}_\alpha = \left\{ (t_j, x_i); t_j = j\tau, x_i = ih, \tau = \frac{T}{J}, i = \overline{0, I}, j = \overline{0, J} \right\},$$

где I – достаточно большое целое число, выбираемое так, чтобы отрезок $[0, x_j]$, $x_i = ih$, перекрывал область расчетного изменения полей c , S и N , h – шаг сетки по направлению x .

В открытой сеточной области

$$\omega_{\alpha} = \left\{ (t_j, x_i); t_j = \overline{t}, x_i = ih, \tau = \frac{T}{J}, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I-1} \right\}$$

уравнения (1), (2), (3) аппроксимировались следующим образом:

$$m_1 \frac{c_i^{j+1} - c_i^j}{\tau} + v \frac{c_{i+1}^{j+1} - c_{i-1}^{j+1}}{2h} + m_2 \frac{N_i^{j+1} - N_i^j}{\tau} + \beta \frac{S_i^{j+1} - S_i^j}{\tau} = \\ = D \frac{c_{i-1}^{j+1} - 2c_i^{j+1} + c_{i+1}^{j+1}}{h^2}, \quad (5)$$

$$\alpha \frac{N_i^{j+1} - N_i^j}{\tau} = kc_i^j - N_i^{j+1}, \quad (6)$$

$$\frac{S_i^{j+1} - S_i^j}{\tau} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c_i^j - k_2 S_i^{j+1}, \quad i = \overline{1, I-1}, j = \overline{0, J-1}, \quad (7)$$

где c_i^j , N_i^j , S_i^j – сеточные значения функций $c(t, x)$, $N(t, x)$, $S(t, x)$ в точке (t_j, x_i) .

Из явных сеточных уравнений (6), (7) определяем N_i^{j+1} , S_i^{j+1}

$$N_i^{j+1} = p_1 N_i^j + p_2, \quad (8)$$

$$S_i^{j+1} = q_1 S_i^j + q_2, \quad (9)$$

где $p_1 = \alpha(\alpha + \tau)^{-1}$, $p_2 = \tau k_1' (\alpha + \tau)^{-1}$,

$$q_1 = (1 + k_2 \tau)^{-1}, \quad q_2 = \frac{\tau k_1 m_1}{\beta(1 + \tau k_2)} c_i^j.$$

Сеточные уравнения (5) приводятся к виду

$$\gamma_1 c_{i-1}^{j+1} - \gamma_2 c_i^{j+1} + \gamma_3 c_{i+1}^{j+1} = -F_i^j, \quad i = \overline{1, I-1}, j = \overline{0, J-1}, \quad (10)$$

где $\gamma_1 = \frac{D\tau}{h^2} + \frac{\tau v}{2h}$, $\gamma_2 = \frac{2D\tau}{h^2} + m_1$, $\gamma_3 = \frac{D\tau}{h^2} - \frac{\tau v}{2h}$,

$$F_i^j = m_1 c_i^j - m_2 (N_i^{j+1} - N_i^j) - \beta (S_i^{j+1} - S_i^j).$$

Устанавливается следующий порядок расчета решений. По (8), (9) определяются N_i^{j+1} , S_i^{j+1} , затем решая систему линейных уравнений (10) методом прогонки - c_i^{j+1} . Поскольку $p_1, q_1 < 1$, схемы (8), (9) устойчивы, а для (10) условия устойчивости метода прогонки выполняются. Некоторые результаты расчетов для определенного набора значений исходных параметров приведены на рис.2. Анализ графиков показывает, что за счет поступления вещества в среде формируются три поля c , S , N , которые продвигаются по пласту с течением времени. Можно наблюдать увеличение концентрации адсорбированного вещества и внутреннего массообмена в каждой точке пласта, включая точку $x=0$. Вещество попадая в среду вместе с несущей жидкостью может находиться во взвешенном состоянии (поле

$c(t, x)$), адсорбироваться (поле $S(t, x)$) или диффундировать в зону с неподвижной жидкостью (поле $N(t, x)$). Сравнивая графики, построенные для различных значений параметра α (при неизменных других параметрах) можно заметить запаздывающую динамику развития профилей N . С увеличением значения α переходной процесс затягивается.

Во втором разделе параграфа 2.1 вместо линейной кинетики адсорбции используется

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1}{\beta} c^n - k_2 S, \quad 0 < n < 1, \quad (11)$$

- нелинейная кинетика. Полученные результаты показывают, что при прочих равных условиях в случае нелинейной кинетики адсорбция протекает более интенсивно, чем в случае линейной.

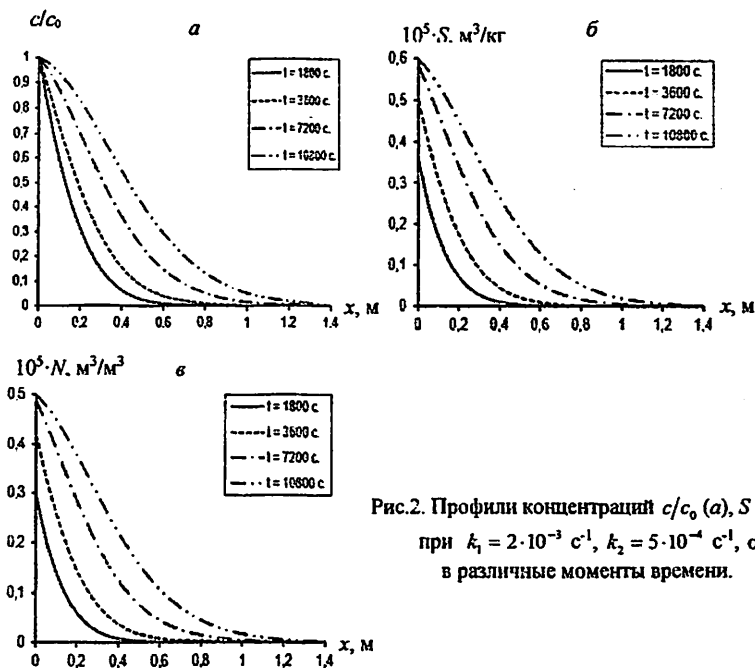


Рис.2. Профили концентраций c/c_0 (а), S (б), N (в) при $k_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$, $k_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $\alpha = 2000 \text{ c}$ в различные моменты времени.

В третьем разделе параграфа 2.1 используется линейная адсорбция, а для внутреннего массообмена – нелинейная кинетика

$$\alpha \frac{\partial N}{\partial t} = kc^m - N, \quad 0 < m < 1. \quad (12)$$

С уменьшением показателя нелинейности m можно заметить увеличение внутреннего массообмена N .

В четвертом разделе параграфа 2.1 рассмотрены нелинейные кинетики для адсорбции и внутреннего массообмена.

В параграфе 2.2 исследована и решена задача с двухместной адсорбцией, где общая площадь адсорбции разделена на две части, в одной происходит равновесная адсорбция, а в другой – неравновесная.

Уравнение переноса записывается в виде

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}, \quad (13)$$

$$S = S_1 + S_2, \quad (14)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = k_1 \frac{m_1 f}{\beta} c - k_2 S_1 + k_4 \frac{m_1 (1-f)}{\beta} \frac{\partial c}{\partial t}, \quad (15)$$

$$\frac{\partial S_1}{\partial t} = k_1 \frac{m_1 f}{\beta} c - k_2 S_1, \quad (16)$$

$$S_2 = k_4 \frac{m_1 (1-f)}{\beta} c. \quad (17)$$

С учетом (14) – (17) уравнение (13) запишем в виде

$$m_1 [1 + k_4 (1-f)] \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial S_1}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (18)$$

Кинетику внутреннего массообмена принимаем в виде (2) или (12). В случае использования нелинейной кинетики адсорбции принимается (11).

Начальные и граничные условия примем в виде

$$c(0, x) = 0, \quad N(0, x) = 0, \quad S_1(0, x) = 0, \quad c(t, 0) = c_0, \quad c(t, \infty) = 0. \quad (19)$$

В параграфе 2.2 как в параграфе 2.1 в 4-х случаях оценена роль двухместности адсорбции на характеристики переноса вещества (Рис.3.).

В параграфе 2.3 решена задача переноса вещества в пористой среде, где в зоне с подвижной жидкостью образуется условный фронт смачивания, движущийся по закону $x_0(t) = \frac{vt}{m_1}$. Позади этого фронта происходит перенос

вещества, а при $x \geq x_0(t)$ концентрационные профили всюду точно равны нулю. Определены различия данной постановки от постановки в полубесконечном пласте.

В параграфе 2.4 решена задача переноса вещества в двумерной области с неоднородными включениями, в которых жидкость неподвижна, но происходит диффузионный перенос.

Рассмотрим пористую среду, состоящую из двух зон: 1) зона $\Omega_1 \{0 \leq x < \infty, -a \leq y \leq a\} \setminus \{x_i \leq x \leq x_{i+1}, i=1,3,5,\dots, y_1 \leq y \leq y_2\}$ с подвижной жидкостью; 2) зона $\Omega_2 \{x_i \leq x \leq x_{i+1}, i=1,3,5,\dots, y_1 \leq y \leq y_2\}$ с неподвижной жидкостью (Рис.4.). Пористую среду считаем полубесконечной, двумерной, ширина которой равна $2a$ и зона (Ω_2) находится внутри (Ω_1).

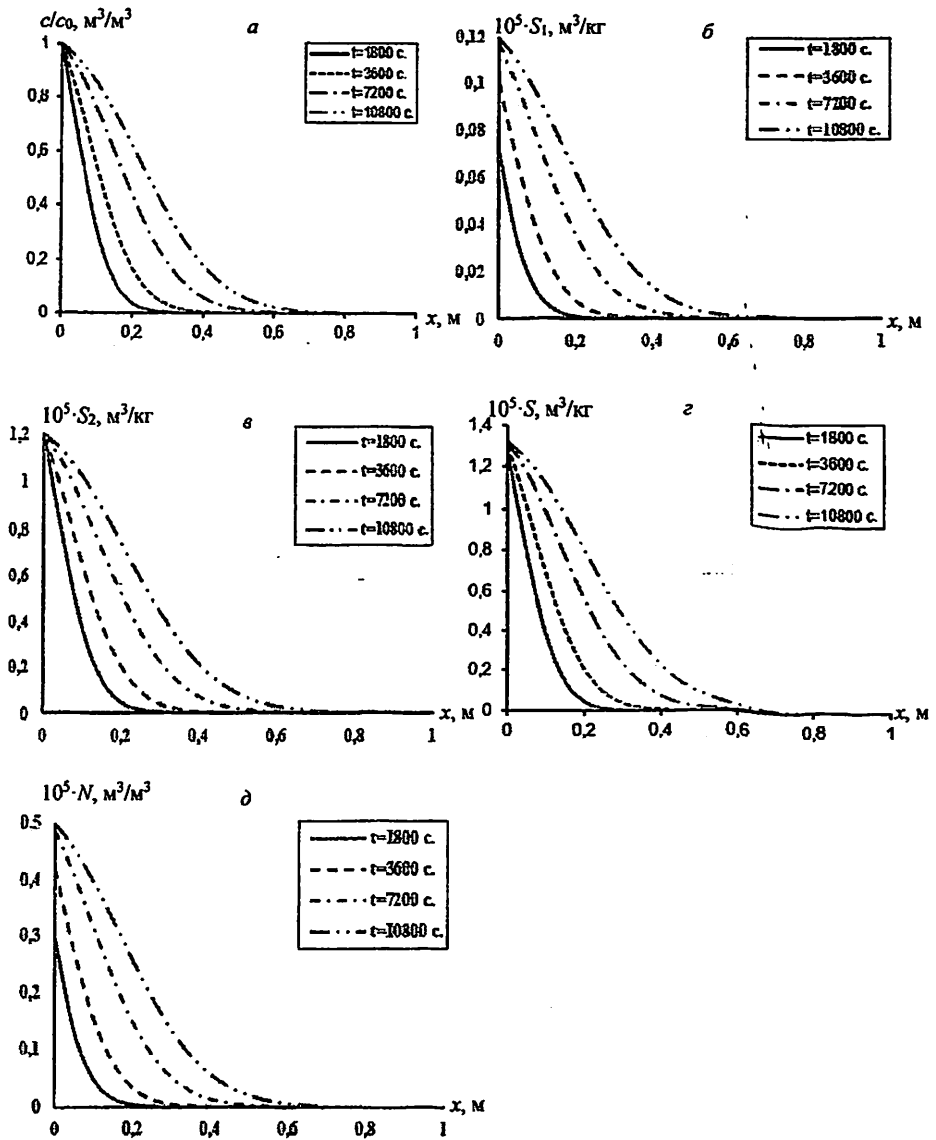


Рис.3. Профили концентраций c/c_0 (а), S_1 (б), S_2 (в), S (г), N (д) при $f = 0,2$,
 $k_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$, $k_2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ c}^{-1}$, $k = 10$, $\alpha = 2000 \text{ c}$ в различные моменты времени.

Верхняя и нижняя границы зоны непроницаемы для жидкости. Жидкость движется только в направлении x с постоянной скоростью фильтрации. Уравнение переноса вещества с учетом адсорбции вещества можно записать в виде

$$m_1 \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D_1 \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + D_2 \frac{\partial^2 c}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in \Omega_1, \quad (20)$$

где D_1 и D_2 коэффициенты диффузии по направлению x и y .

В зоне Ω_2 происходит только диффузионный перенос вещества по направлениям x и y . Из-за плохой проницаемости этой области процесс переноса вещества происходит с некоторыми эффективными коэффициентами D_1^* и D_2^* , соответственно по направлениям x и y .

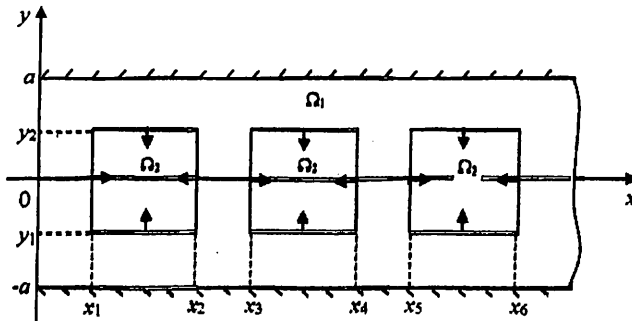


Рис.4. Схема переноса вещества в двумерной области

Уравнение переноса вещества в Ω_2 можно записать в виде

$$m_2 \frac{\partial N}{\partial t} = D_1^* \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + D_2^* \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in \Omega_2, \quad (21)$$

где N - концентрация вещества в зоне Ω_2 , m_2 - пористость зоны Ω_2 .

В зоне Ω_1 происходит неравновесная адсорбция вещества, кинетика которой определяется в виде (3).

При учете адсорбции вещества в зоне Ω_2 уравнения переноса и кинетики процесса адсорбции вещества записываются в виде

$$m_2 \frac{\partial N}{\partial t} + \beta_1 \frac{\partial S}{\partial t} = D_1^* \frac{\partial^2 N}{\partial x^2} + D_2^* \frac{\partial^2 N}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in \Omega_2, \quad (22)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{k_1^* m_2}{\beta_1} N - k_2^* S, \quad (23)$$

k_1^* , k_2^* - const, β_1 - общая плотность пористой среды, кг/м³.

Пусть в первоначально насыщенную чистой (без вещества) жидкостью среду в начальный момент времени закачивается жидкость с постоянной концентрацией вещества c_0 в точке $x=0, y=0$. Рассмотрим такие периоды времени, где концентрационное поле не достигает правой границы среды, $x=\infty$. Через границу зон Ω_1 и Ω_2 происходит перенос массы вещества. На границе зон Ω_1 и Ω_2 потребуем непрерывности изменения концентрации и потока вещества. При отмеченных допущениях начальные и граничные условия для задачи имеют вид

$$c(0, x, y) = 0, \quad (x, y) \in \Omega_1, \quad (24)$$

$$S(0, x, y) = 0, \quad (x, y) \in \Omega_1, \quad (25)$$

$$N(0, x, y) = 0, \quad (x, y) \in \Omega_2, \quad (26)$$

$$c(t, 0, 0) = c_0 = \text{const}, \quad (27)$$

$$\frac{\partial c(t, 0, y)}{\partial x} = 0, \quad -a \leq y < 0, \quad 0 < y \leq a, \quad (28)$$

$$\frac{\partial c(t, \infty, y)}{\partial x} = 0, \quad -a \leq y \leq a, \quad (29)$$

$$\frac{\partial c(t, x, a)}{\partial y} = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (30)$$

$$\frac{\partial c(t, x, -a)}{\partial y} = 0, \quad 0 < x < \infty, \quad (31)$$

$$c(t, x_i, y) = N(t, x_i, y), \quad y_1 \leq y \leq y_2, \quad i=1, 2, 3, \dots, \quad (32)$$

$$c(t, x, y_1) = N(t, x, y_1), \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}, \quad i=1, 3, 5, \dots, \quad (33)$$

$$c(t, x, y_2) = N(t, x, y_2), \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}, \quad i=1, 3, 5, \dots, \quad (34)$$

$$D_1 \frac{\partial c}{\partial x} = D_1 \frac{\partial N}{\partial x}, \quad x = x_i, \quad y_1 \leq y \leq y_2, \quad i=1, 2, 3, \dots, \quad (35)$$

$$D_2 \frac{\partial c}{\partial y} = D_2 \frac{\partial N}{\partial y}, \quad y = y_1, \quad x_i \leq x \leq x_{i+1}, \quad i=1, 3, 5, \dots, \quad (36)$$

$$D_2 \frac{\partial c}{\partial y} = D_2 \frac{\partial N}{\partial y}, \quad y = y_2, \quad x_i < x < x_{i+1}, \quad i=1, 3, 5, \dots \quad (37)$$

Результаты некоторых расчётов приведены на Рис.5. Определены влияния зон с неподвижной жидкостью и явления адсорбции на характеристику переноса в обеих зонах.

В третьей главе диссертации, названной «Решение задач переноса и растворения солей в пористой среде», исследованы задачи переноса и растворения солей в пористой среде.

В параграфе 3.1 дан краткий анализ переноса и растворения солей в пористой среде.

В параграфе 3.2 решены задачи конвективно-диффузионного переноса при растворении солей с условием на фронте смачивания.

Пусть пористая среда с пористостью m в твердой фазе содержит соли с концентрацией $\varphi(x)$. В пласт закачивается жидкость, не содержащая соли (например, пресная вода). Первоначально пласт был сухим и соли

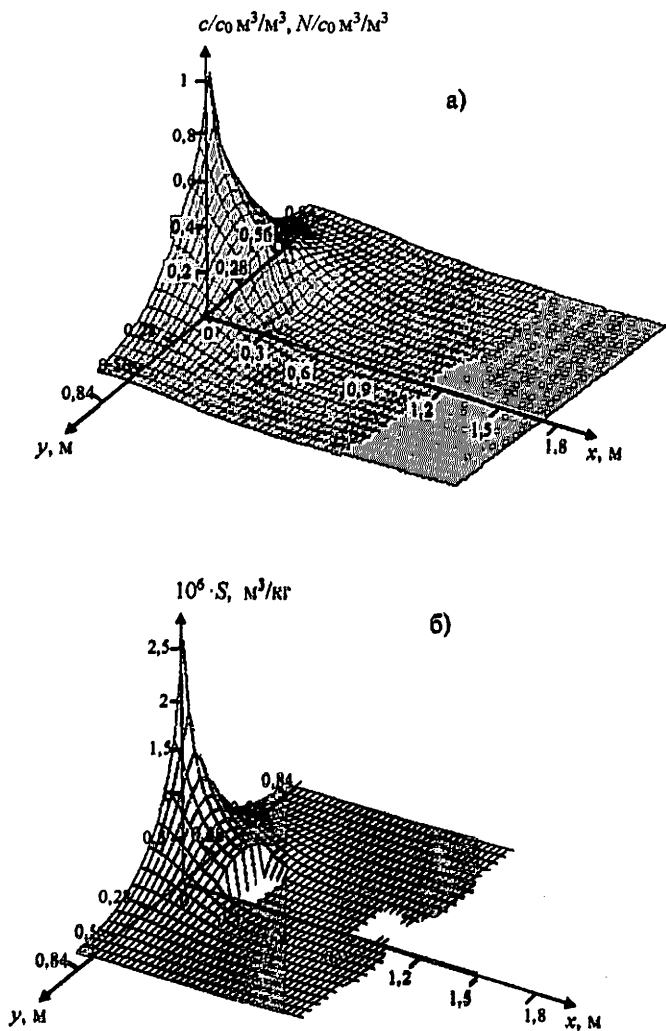


Рис.5. Поверхности c/c_0 в зоне Ω_1 и N/c_0 в зоне Ω_2 (а), S в зоне Ω_1 (б) при $D_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ M}^2/\text{c}$, $D_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ M}^2/\text{c}$, $D_1^* = 5 \cdot 10^{-7} \text{ M}^2/\text{c}$, $D_2^* = 3 \cdot 10^{-7} \text{ M}^2/\text{c}$, $\nu = 5 \cdot 10^{-3} \text{ M}/\text{c}$, $t = 1500 \text{ c}$.

находились в твердой фазе в нерастворенном виде. Уравнение баланса вещества (соли) в одномерном случае принимается как

$$m \frac{\partial c}{\partial t} + v \frac{\partial c}{\partial x} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}. \quad (38)$$

Начальные и граничные условия следующие

$$c(0, x) = 0, \quad S(0, x) = 0, \quad (39)$$

$$c(t, 0) = 0, \quad (40)$$

$$D \frac{\partial c}{\partial x} = \varphi(x) x_0, \quad x_0(t) = \frac{vt}{m}. \quad (41)$$

Условие (41) означает мгновенное растворение солей, что создает диффузионный поток позади фронта смачивания.

В параграфе 3.3 эта задача исследована также для случая, когда пористая среда имеет кусочно-однородное первоначальное засоление, вместо (41) принимаем

$$c(t, x_0(t)) = c_0 + \sum_{i=1}^k (c_i - c_{i-1}) \eta(x - x_{i-1}), \quad (42)$$

где c_0 - произвольная величина, $\eta(x)$ - единичная функция Хевисайда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненных исследований по теме диссертации доктора философии (PhD) «Задачи фильтрации неоднородных жидкостей с учетом адсорбции и неоднородности порового пространства» сводятся к следующим основным выводам:

1. Адсорбция вещества в пористой среде с транзитными порами и связанной, неподвижной жидкостью приводит к запаздывающему развитию концентрационного поля в зоне с подвижной жидкостью, а также массообмена между зонами. Нелинейная кинетика адсорбции при прочих равных параметрах приводит к усилению адсорбционных эффектов. Характерные переходные процессы для адсорбции, внутреннего массообмена и переноса вещества взаимодействуя между собой приводят к сложному переходному процессу. В частности, для того переходного процесса, который должен был завершиться быстрее остальных, отмечается продление наступления стационарного режима. При нелинейной кинетике при прочих равных параметрах внутренний массообмен интенсифицируется.

2. В задаче с двухместной адсорбцией показано, что увеличение доли неравновесной адсорбции приводит к уменьшению темпа общей адсорбции, что служит причиной опережающего продвижения концентрационных полей в глубь пласта. Как и в случае одноместной адсорбции, переход к нелинейной кинетике при прочих равных параметрах усиливает эффекты адсорбции и внутреннего массообмена.

3. В задаче с условием на фронте смачивания показано, что отличие результатов от соответствующих, полученных для условия на бесконечности, наблюдается на начальных этапах развития показателей переноса.

4. Решена задача переноса вещества в двумерной области с неоднородными включениями, в которых жидкость неподвижна, но происходит диффузионный перенос. Показано, что наличие зон с неподвижной жидкостью существенно меняет общую характеристику переноса в обеих зонах. Адсорбция вещества существенно замедляет распространение вещества в пласте в целом.

5. Поставлена и численно решена задача растворения солей, содержащихся в твердой фазе, с учетом адсорбционных эффектов. Установлено, что растворение солей на фронте смачивания приводит к росту концентрации солей в растворе. За фронтом смачивания за счет адсорбционных эффектов концентрация в отдельно взятых точках уменьшается. Для заданного закона продвижения фронта смачивания уменьшение значений D приводит к образованию относительно больших концентраций и их градиентов. Использование нелинейной кинетики адсорбции при прочих равных параметрах, как и в предыдущих случаях, приводит к увеличению значений адсорбции, и следовательно, уменьшению c .

6. Неоднородное (кусочно-однородное) распределение солей в застойной зоне приводит к неравномерному распределению концентрации солей в растворе и их адсорбции. Разрывы концентраций в застойной зоне в профилях c и S размываются и сглаживаются. Когда на фронте смачивания задается диффузионный поток солей (задача внедрения жидкости в сухой пласт с кусочно-однородным засолением) образуется поле c заметно большими значениями c , что в свою очередь увеличивает значения S .

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.28.02.2018.T/FML61.01 AWARDED THE
SCIENTIFIC DEGREE AT THE INSTITUTE OF MECHANICS AND
SEISMIC STABILITY OF STRUCTURES AND TASHKENT INSTITUTE
OF ENGINEERS OF IRRIGATION AND MECHANIZATION IN
AGRICULTURE**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

ZIKIRYAEV SHAVKAT KHUDAYAROVICH

**FILTRATION PROBLEMS OF NON-HOMOGENEOUS LIQUIDS WITH
ADSORPTION AND FILLING HETEROGENEITY OF POROUS SPACE**

01.02.05 – Fluid and gas mechanics

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD)
ON PHYSIC AND MATHEMATICS SCIENCES**

TASHKENT – 2019

The subject of doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan, number B2018.1.PhD/FM168.

The dissertation has been prepared the Samarkand state University.

The abstract of the dissertation in Three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) in posted on the website of Scientific Council (www.insmech.uz) and information-educational portal «ZiyoNet» at the address (www.ziynet.uz).

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

Official opponents : **Malikov Zafar Mamatkulovich**
doctor of technical sciences

Qayumov Shukur
candidate of physical-mathematical sciences, docent

Leading organization: **Urganch state university.**

The defense will take place "15" may 2019 at 14⁰⁰ o'clock at the meeting of Scientific Council DSc.28.02.2018.T/FM.61.01 at the Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of AS RUz and Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall-4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79, e-mail: admin@tiame.uz).

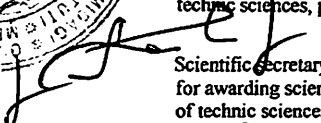
The thesis is available in the Information Resource Center of Tashkent Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture (registration number 62). Address 100000, Tashkent, Kari Niyaziy street, 39, Conference hall-4. Tel: (99871) 237-46-68; fax: (99871) 237-38-79.


Abstract of the dissertation sent out on "26" april 2019 y.
(Mailing report No. 1 on "26" april 2019 y.).





M.M. Mirsaidov
Chairman of the scientific council for
awarding scientific degrees, doctor of
technic sciences, professor, academician


S.H.O. Xudaynazarov
Scientific secretary of Scientific Council
for awarding scientific degrees, candidate
of technic sciences, docent


I.K. Xujayev
Chairman of the council seminar under at
the Scientific Council for the awarding
degrees, doctor of technic sciences

INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

The aim of the research is to improve the hydrodynamic models of solute transport in an inhomogeneous porous medium with the diffusion, hydrodynamic dispersion, convection, adsorption, pore volume heterogeneity in the degree of filling, internal diffusion of the mass transfer.

The objects of the research is porous media, where the filtration of heterogeneous liquids take place, with an account the adsorption.

The scientific novelty of the research is as follows:

improved mathematical model of the process of filtering inhomogeneous liquids in a porous medium, taking into account adsorption;

computational methods, algorithms and programs for determining the transfer of a substance in a heterogeneous porous medium taking into account double adsorption have been developed;

solved the problem of substance transfer in a two-zone porous medium with a specific geometry, taking into account adsorption;

solve the problem of salt dissolution, taking into account the phenomenon of adsorption in homogeneous and piecewise-homogeneous porous media, and the filtration indices are determined.

Implementation of the research results. On the basis of the computational methods and applications of non-intrinsic liquids in porous media and improved mathematical models of substance migration processes:

the introduction of algorithm and software for improving the porosity of fluid in porous media in order to assess the role of adsorption in saline dissolution and convective-diffusion migration in the areas of drought irrigation systems (Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated October 17, 2018, 04 / 15-1973) . The results of the research have allowed to reduce the time and work spent on engineering accounts by 0.3 times;

algorithm and software tool to calculate the migration processes in a porous environment, taking into account the adsorption of the characteristics of irrigated land in the drought irrigation systems (Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated October 17, 2018, 04 / 15-1973). The results of the research have allowed to increase the quality of medium and long-term predictive characteristics of irrigated land by 15%;

the algorithm and software tool for calculating the adsorbent migration of matter in the two-zone porosity medium was introduced to determine the interconnectedness of irrigated land and water in irrigated lands by the administration of the Darwinist Irrigation System (Ministry of Water Resources of the Republic of Uzbekistan dated October 17, 2018, No. 04 / 15-1973 reference). The results of the research have allowed to increase the quality of detection of dissolved substances by 15-20% in time and space depending on the hydrodynamic parameters of the object and increase the accuracy of estimation of saline soils by 10%, taking into account the impact of adsorption;

The results obtained during the dissertation research are applied in the following areas:

The algorithm and software tool for solving the problem of differential equations of the private sector were used in solving the problem of material displacement in non-core porous media in a foreign grant project "A mobile irrigation system for greenhouse" №92-2015-03 (2015-2017) (Malaysian Putra University , July 9, 2018). The application of scientific results has allowed to calculate the concentration distribution and solving equations of matter for equilibrium, non-linear, linear and nonlinear kinetic states;

mathematical models of the process of substance transfer in porous media were used in the fundamental project $\Phi A-\Phi 078$ "Hydrodynamic problems of filtration and filtration of heterogeneous liquids in porous media", modeling the transport model by adsorption and solution of fluid filtration in inhomogeneous porous media (Ministry of Higher and Secondary Special Education, reference from June 11, 2018). The application of scientific results made it possible to find the influence of adsorption and internal mass transfer in the process of filtration in various kinetic equations and to show the role of adsorption in convective-diffusion transfer and dissolution of salts.

The outline of the thesis. The thesis consists of an introduction, three chapters, a conclusion with main conclusions, results and a list of literature. The total amount of work includes 103 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РУИХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Перенос вещества в пористой среде с учетом явлений адсорбции // Доклады академии наук республики Узбекистан, Ташкент, 2009, – № 3-4. – С. 66-69. (01.00.00; № 7.)
2. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Перенос вещества в пористой среде, насыщенной подвижной и неподвижной жидкостью // Инженерно-физический журнал, 2010, Том 83. – № 2. – С. 248-254. (01.00.00; № 28.)
3. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Перенос вещества с двухместной адсорбцией в неоднородной пористой среде // Проблемы механики, 2009. – № 1. – С. 48-52. (01.00.00; № 4.)
4. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Перенос загрязняющих веществ в водоносных пластах с учетом двухместной адсорбции // Сибирский журнал индустриальной математики, 2011, Том XIV. – №1(45). – С. 127-139. (№515. Scientific Research Publishing Inc. IF=0.632)
5. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Перенос вещества в двухзонной пористой среде с условием на фронте смачивания // Проблемы механики, 2015. – № 2. – С. 33-37. (01.00.00; № 4.)
6. Хужаёров Б.Х., Зиқиряев Ш.Х. Численное решение задачи переноса вещества в двумерной гетерогенной пористой среде // Проблемы механики, 2015. – № 2. – С. 98-101. (01.00.00; № 4.)
7. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Моделирование процессов взаимодействия воды с породой при заводнении нефтяных пластов // Научный вестник, СамГУ, 2017. – № 3. – С. 103-107. (01.00.00; № 2.)

II бўлим (II часть; II part)

8. Зиқиряев Ш.Х., Маматкулов М., Амриддинов С.А. Конвективный перенос вещества в гетерогенной пористой среде // Труды КНИИРП Сам. отд. АН РУз. “Актуальные вопросы математики, нефтегазопромысловый механики”. – Самарканд, 2008. – С. 104-109.
9. Khuzhayorov B.Kh., Makhmudov J.M., Zikiryaev Sh.Kh. Modelling of solute transport processes in porous media with stagnant liquid zones // Abstracts of the third congress of the world mathematical society of Turkic countries. – Almaty, 2009. – Pp. 159.
10. Хужаёров Б.Х., Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Задачи переноса загрязняющих веществ в неоднородной пористой среде с учетом адсорбции и внутреннего массопереноса // Труды международной конференции “Актуальные проблемы прикладной математики и

- информационных технологий –Аль-Хорезми 2009”. – Ташкент, 2009. – С. 303-306.
11. Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х., Каршиева Д. Решение задачи переноса веществ в пористой среде с условием на фронте смачивания // Материалы международной научно-технической конференции “Современные проблемы механики”. – Ташкент, 2009. – С. 103-307.
 12. Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Моделирование процессов взаимодействия воды с породой при заводнения пластов // Республиканская научно-практическая конференция “Проблемы разработки месторождений углеводородов и пути их решения”. – Ташкент, 2010. – С. 31-32.
 13. Зиқиряев Ш.Х., Жаманкулова Ф.Э. Численное решение задачи переноса вещества в двухмерной гетерогенной пористой среде // Труды научной конференции “Проблемы современной математики”. – Карши, 2011. – С. 370-373.
 14. Зиқиряев Ш.Х., Назаров Х.А. Перенос вещества в пористой среде с кусочно-однородным засолением // Материалы международной научно-технической конференции “Современные проблемы строительных материалов, конструкций, механики грунтов и сложных реологических систем”. – Самарканд, 2013. – С. 63-65.
 15. Зиқиряев Ш.Х., Норбеков Н. Математическое моделирование переноса вещества с учетом адсорбции // Материалы международной конференции “Mathematical analysis and its application to mathematical physics”. – Самарканд, 2018. – С. 127-128.
 16. Зиқиряев Ш.Х. Расчет переноса адсорбируемого вещества в двухзонной пористой среде, № DGU 04832, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал Мулк Агентлиги, Тошкент, 2017.
 17. Махмудов Ж.М., Зиқиряев Ш.Х. Программа для решения задачи переноса двухместного адсорбируемого вещества в двухзонной пористой среде, № DGU 04993, Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал Мулк Агентлиги, Тошкент, 2018.

**Автореферат «Самарканд давлат университети тахририй-нашриёт бўлими»
тахририягида тахрирдан Утказилди ва ўзбек, рус, инглиз (резюме)
тилларидаги матнлари мослиги текширилди (24.04.2019 й.).**

Бичими 60x84¹ /16. Ризограф босма усули. Times гарнитураси.

Шартли босма табоғи: 3. Адади 100. Буюртма: № 15.

Баҳоси келишилган нарҳда.

**«ЎзР Фанлар Академияси Асосий кутубхонаси» босмахонасида чоп этилган.
Босмохона манзили: 100170, Тошкент ш., Зиёлилар кўчаси, 13 уй.**