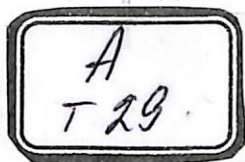


ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ

---

ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ  
ҲУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ  
ИЛМий-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ



ТАШТЕМИРОВА НАДИРА НЕМАТИЛЛАЕВНА

ТУПРОҚ ЭРОЗИЯСИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА АТМОСФЕРАДА  
ЗАҲАРЛИ МОДДАЛАР ТАРҚАЛИШНИ БАШОРАТ ҚИЛИШНИНГ  
МАТЕМАТИК МОДЕЛИНИ ВА ҲИСОБЛАШ АЛГОРИТМИНИ  
ИШЛАБ ЧИҚИШ

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ



**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.27.06.2017.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ АХБОРОТ-КОММУНИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ**  
**ИЛМИЙ-ИННОВАЦИОН МАРКАЗИ**

**ТАШТЕМИРОВА НАДИРА НЕМАТИЛЛАЕВНА**

**ТУПРОҚ ЭРОЗИЯСИНИ ҲИСОБГА ОЛГАН ҲОЛДА АТМОСФЕРАДА**  
**ЗАҲАРЛИ МОДДАЛАР ТАРҚАЛИШИНИ БАШОРАТ ҚИЛИШНИНГ**  
**МАТЕМАТИК МОДЕЛИНИ ВА ҲИСОБЛАШ АЛГОРИТМИНИ**  
**ИШЛАБ ЧИҚИШ**

05.01.07 – Математик моделлаштириш. Сонли усуллар ва дастурлар мажмуи

**ТЕХНИКА ФАНЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2017.2.PhD/T195 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион марказида бажарилган.

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

**Илмий раҳбар:** Равшанов Нормаммад  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оponentлар:** Кабулов Анвар Восилевич  
техника фанлари доктори, профессор  
Джуманов Жамолжон Худойкулович  
техника фанлари доктори

**Етакчи ташкилот:** Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Диссертация химояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.T.07.01 Илмий кенгашнинг 2019 йил «17» сентябр соат 16 даги мажлисида бўлиб ўтди. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темура кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz) Тошкент ахборот технологиялари университети).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (4587 рақам билан рўйхатга олинган.). (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темура кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2019 йил «13» сентябр куни тарқатилди.  
(2019 йил «18» август даги 14 рақамли реестр баённомаси)



**Р.Х.Хамдамов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси, т.ф.д., профессор

**Ф.М.Нуралиев**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доцент

**А.М.Полатов**  
Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раис муовини ф.-м.ф.д., профессор



Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда саноат объектлари ва транспорт тизимидан ташланаётган захарли моддаларнинг кўчиши ва диффузия жараёнлари билан боғлиқ математик моделлар, самарали сонли алгоритмлар ва дастурий мажмуалар яратишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Дунёнинг ривожланган мамлакатларида, жумладан, Германия, Буюк Британия, Финляндия, Россия Федерацияси, Ҳиндистон ва бошқа мамлакатларда саноат ҳудудлари атмосферасини ифлосланишини мониторинг ва башоратлаш тизимларининг математик модели ва ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва дастурий таъминотини яратиш муҳим аҳамият касб этмоқда.

Жаҳонда атмосферада захарли моддаларни тарқалиш жараёнининг математик моделларини яратиш, ҳавони ифлословчиларни концентрация миқдорини аниқловчи ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий таъминот тизимини ишлаб чиқиш, аэрозол заррачаларни кўчиши ва диффузия жараёнини тадқиқот қилиш учун ҳисоблаш тажрибаларини ўтказишга бағишланган илмий тадқиқотлар олий ўқув муассасалари ва етакчи илмий-тадқиқот марказларида олиб борилмоқда. Бу йўналишда, жумладан зарарли моддаларнинг атмосфера чегаравий қатламида тарқалиши жараёнига таъсир этувчи табиий-иклимий омилларни ҳисобга олувчи математик моделлар яратиш, объектларни экологик жиҳатдан мақсадга мувофиқ равишда жойлашувини аниқлаб берувчи дастурлар мажмуаси ишлаб чиқиш, жараён динамикасини зарарли моддаларнинг рухсат этилган юқори концентрациялари нуктаи назаридан визуаллаштириш зарур ҳисобланмоқда.

Республикамизда саноат тармоқларининг жадал ривожланиши билан бир қаторда, саноат ҳудудларидаги мавжуд экологик ҳолатнинг бузилиш эҳтимоли бўлган ва корхоналар томонидан атроф-муҳитга чиқарилаётган захарли моддаларнинг атмосферага тарқалиши жараёнини мониторинг қилиш ва башоратлашга оид математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш, замонавий компьютер технологияларидан фойдаланиб асосий параметрларни ҳисоблаш жараёнларини баҳолаш, ҳамда автоматлаштирилган дастурий таъминотларни яратиш бўйича кенг қўламдаги чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «... экологик мувозанатни сақлаш ва барқарор ривожланишда табиий ресурслардан оқилона фойдаланишни тартибга солиш, ... муҳофаза қилинадиган табиий ҳудудлар, ҳайвонот ва ўсимлик дунёси объектлари сифатини таъминлаш ва антропоген таъсирдан муҳофаза қилиш»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни амалга оширишда лойиҳалаш жараёни учун тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда атмосферада захарли моддаларни тарқалишини башорат қилувчи математик моделлар, сонли

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

моделлари, самарали ҳисоблаш алгоритмларини ишлаб чиқиш ва замонавий ахборот технологиялари асосида автоматлаштирилган тизимлар яратиш муҳим масалалардан ҳисобланади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2013 йил 27 июндаги ПҚ-1989-сон «Ўзбекистон Республикаси Миллий ахборот –коммуникация тизимини янада ривожлантириш тўғрисида»ги ва 2017 йил 21 апрелдаги ПҚ-2915-сон «Ўзбекистон Республикаси Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат қўмитаси фаолиятини таъминлаш чора-тадбирлари тўғрисида» қарорлари, Вазирлар Маҳкамасининг 2017 йил 23 майдаги 310-сон «Ўзбекистон Республикаси Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат қўмитаси тўғрисида низоми»га доир қарори 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 йўналишларга мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг IV. «Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникация технологияларини ривожлантириш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Сўнги йилларда илмий нашрларда математик моделлаштириш ёрдамида ҳал қилинган долзарб муаммолар рўйхатида экологик муаммолар алоҳида ўрни тутиши кузатилмоқда. Атроф-муҳит ифлосланиши билан боғлиқ бўлган атмосферада захарли моддаларнинг тарқалиши жараёнларини математик моделлаштириш услубиятини яратиш, муайян жараённи акс эттирувчи моделни қуриш ва жараён параметрларини динамикасини ўрганишнинг сонли тажриба усулларини тадқиқ этиш, такомиллаштириш масалалари Г.И.Марчук, В.В.Пененко, А.Е.Алоян, Л.Т.Матвеев, В.П.Дымников И.Э.Наац, Э.А.Закарин, И.А.Кибел, W.J.Layton, J.H.Ferziger, J.W.Deardorff, M.Germano, U.Piomelli, T.Iversen., T.E.Nordeng, R.Lange, M.Pekar, М.Е.Берлянд, Е.Л.Генихович, Р.И.Оникул, Н.Л.Бызова, Ю.А.Анохина, Л.Н.Гутман ва бошқа олимларнинг ишларида кўриб чиқилган.

Ўзбекистон Республикасида атмосферада захарли моддаларни тарқалиш жараёнини башорат ва мониторинг қилишни математик моделлари ва ҳисоблаш усуллари билан Ф.Б.Абуталиев, С.Каримбердиева, А.Х.Бегматов, Н.Равшанов, М. Л.Арушанов шоғирдлари ва бошқа олимларнинг тадқиқот ишларида ўрганилган.

Сохага оид тадқиқотлар таҳлили шуни кўрсатадики, тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда ҳамда атмосферанинг чегара қатламида захарли моддалар тарқалиши ва диффузия жараёнлари ҳозирги кунда етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқотлари Тошкент ахборот технологиялари



университети ҳузуридаги Ахборот-коммуникация технологиялари илмий-инновацион маркази илмий-тадқиқот ишлари режасининг ЕА7-001 «Саноат минтақаларининг экологик ҳолатини прогноза ва мониторинг қилиш учун самарали ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситани яратиш» (2014-2015), А-5-12 «Саноат минтақаларининг экологик ҳолатини башоратлаш ва мониторинги учун математик таъминотини яратиш» (2015-2017), БВ-Атех-2018-9 «Атмосфера ва сув ресурсларини техноген омилларида ҳимоя қилиш масалаларини ечиш учун моделлар, тақсимланган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалар яратиш» (2018-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** саноат ҳудудларининг экологик ҳолатини кузатиш ва башорат қилиш учун мос математик моделларни, ҳисоблаш алгоритмларини ва дастурий таъминотни ишлаб чиқиш ва такомиллаштиришдан иборат.

#### **Тадқиқотнинг вазифалари:**

саноат ҳудудларининг атмосферасини экологик ҳолатини кузатиш ва башорат қилиш учун ахборот моделини яратиш, ҳавони ифлословчиларнинг физик-кимёвий хоссаларини ўрганиш ва асосий иқлим омилларида саноат ҳудудларини экологик ҳолатига таъсирини тадқиқот қилиш;

атмосферанинг чегара қатламида заҳарли аэрозол зарраларини тарқалиш жараёнини мониторинг ва тадқиқ қилиши учун математик моделини ишлаб чиқиш;

тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда атмосферадаги майда зарраларни кўчиши ва диффузия жараёнини башорат этилишини математик моделлаштириш;

атмосферадаги аэрозол чиқиндиларни тарқалиши ва диффузияси масаласининг ечимни мавжудлиги ва ягоналагини текшириш;

атмосферадаги заҳарли аэрозол заррачаларнинг тарқалиш масаласини ечишнинг сонли алгоритмлар ва ЭҲМда ҳисоблаш тажрибалар ўтказиш учун дастурий таъминотни ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида саноат объектларидан ва ифлосланишнинг бошқа манбаларидан чиқаётган заҳарли моддаларнинг атмосферада кўчиши ва диффузия жараёни қаралган.

**Тадқиқотнинг предмети**ни математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва компьютерларда сонли тажрибалар ўтказиш учун дастурий мажмуалар ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқот жараёнида ҳисоблаш математикаси, математик моделлаштириш ва ҳисоблаш тажрибалари ўтказиш технологиялари ҳамда дастурий тизимни ишлаб чиқишда дастурлаш усулларида фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** куйидагилардан иборат: атмосферанинг чегара қатламида заҳарли аэрозол зарраларини тарқалиш жараёнини мониторинг ва тадқиқ қилиш учун гидромеханиканинг асосий қонунлари асосида математик модел ишлаб чиқилган;

атмосферадаги майда зарраларни кўчиш ва диффузия жараёнининг башорат этилиши учун математик модели тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда ишлаб чиқилган;

атмосферада аэрозол зарраларни диффузияси ва кўчиш масаласи ечимининг сонли консерватив усули ишлаб чиқилган;

атмосферада аэрозол зарраларни тарқалиш жараёнини ифодаловчи математик модели асосида масалаларини ечишнинг сонли алгоритмлари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

тадқиқот натижалари саноат минтақасининг ер усти ҳаво қатлами экологик ҳолатини кузатиш ва башоратлашга қаратилган бўлиб, санитария меъёрларини ҳисобга олган ҳолда янги саноат ва фуқаролик объектларини мақбул лойиҳалаш усули ишлаб чиқилган;

тадқиқот натижаларини амалга оширишдан кутилган ижтимоий ва иқтисодий самара ҳудуднинг экологик ҳолатини башорат қилиш усули ва алгоритми ишлаб чиқилган;

тадқиқот натижалари экологик вазиятни башорат қилиш ва юзага келиши мумкин бўлган хатарларни ўз вақтида хабардор қилиш алгоритм ва дастурий воситалари яратилган;

тадқиқот натижалари Оҳангарон водийсидаги аҳоли учун янги қурилган ишлаб чиқариш объектларни мақбул жойлаштириш натижасида атмосферада захарли моддалар концентрациясини назорат қилиш дастурий воситалари яратилган;

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги захарли моддаларнинг атмосферада тарқалиши тенграмаси ва унинг чегаравий шартлари масса сақланиш қонунига қатъий риоя қилиб шакллантирилгани билан асосланганлиги, сонли усуллардан фойдаланилганида аппроксимация аниқлиги ва ҳисоблаш жараёнининг яқинлашиш шартлари етарли даражада таъминланганлиги, олинган натижалар физика қонунларига зид эмаслиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти об-ҳавонинг ўзгариши, тупроқ эрозияси, шамолнинг тезликлари, ер орографияси, турбулентлик коэффицентини ҳисобга олган ҳолда атмосферага ташланган захарли моддаларнинг саноат ҳудудларда тарқалишини мониторинг ва башорат этилиши учун математик моделлар ва сонли алгоритмлар ишлаб чиқилганлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти эса тақлиф қилинган дастурий – алгоритмик таъминотдан фойдаланиб, саноат объекти ва ер сатҳидан атмосферага ташланган захарли модда ва газларнинг тарқалиши ва концентрациясини ўзгаришини мониторинг қилиш, башоратлаш ва тўғри қарорлани қабул қилиш учун фойдаланиш мумқунлиги билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Атмосферада захарли моддаларнинг тарқалиши бўйича яратилган моделлар, алгоритмлар ва дастурий мажмуалар асосида:



саноат ҳудудларининг экологик ҳолатини кузатиш ва программалаштириш учун ишлаб чиқилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурий таъминот тизимлари Жиззах ва Самарқанд вилоятлари табиатларини муҳофаза қилиш кўмиталарида жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 4 декабрдаги 33-8/9061-сон маълумотномаси, Ўзбекистон Республикаси экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат кўмитасининг 2019 йил 15 майдаги 02-02/8-159-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижалари саноатли ҳудуднинг экологик ҳолатини олдиндан аниқлаш ва оғохлантириш ҳисобидан 10-12% иқтисодий самарадорликка эришилган;

атмосферанинг ер устки қатламининг саноат ҳудудларидаги экологик ҳолатини кузатиш ва башоратлаш учун ишлаб чиқилган математик моделлар, алгоритмлар ва дастурий таъминот тизимлари Ўзбекистон Республикаси экология ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш давлат кўмитаси ҳузуридаги экология ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш илмий тадқиқот институтида жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 4 декабрдаги 33-8/9061-сон маълумотномаси, Ўзбекистон Республикаси экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат кўмитасининг 2019 йил 15 майдаги 02-02/8-159-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижалари саноатли ҳудуднинг экологик ҳолатини олдиндан аниқлаш ва оғохлантириш ҳисобидан 11-13% иқтисодий самарадорликка эришиш имконини берган;

шамол тезлиги ва йўналишини, захарли моддалар концентрациясининг максимал рухсат берилган нормаларини ва ҳудудий орографияни ҳисобга олган ҳолда саноат объектлари яқинидаги ҳудудларнинг экологик ҳолатини баҳолаш учун дастурий махсулотларни Тошкент вилоятида табиатни муҳофаза қилиш бўйича Ангрен, Олмалик, Чирчиқ табиатни муҳофаза қилиш инспекциялари томонидан жорий қилинган (Ахборот технологиялари ва коммуникацияларини ривожлантириш вазирлигининг 2018 йил 4 декабрдаги 33-8/9061-сон маълумотномаси, Ўзбекистон Республикаси экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат кўмитасининг 2019 йил 15 майдаги 02-02/8-159-сон маълумотномаси). Илмий-тадқиқот натижалари бўйича Оҳангарон водийсида яшайдиган аҳолисига саноат корхоналарининг таъсири ва янги қуриладиган корхоналарни оптимал жойлаштириш ҳисобидан, экологик таъсирини 10-12% га камайтириш имконини берган.

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

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 29 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, 5 та республика ва 2 та хорижий журналларда нашр қилинган,

ЭХМ учун яратилган 3 та дастурий таъминотларни қайд қилиш гувоҳномаси олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 113 саҳифани ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурияти асосланган. Тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари белгилаб олинган ҳамда тадқиқот объекти ва предмети аниқланган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асослаб берилган, уларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалда жорий қилиш ҳолати, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Саноат ҳудудларининг атмосферасини экологик ҳолатини ва уларнинг потенциал манбаларини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот модели**» деб номланган биринчи боби учта параграфдан иборат.

Биринчи параграфда саноат ҳудудларининг ҳаво ҳавзаларининг ифлосланишининг потенциал манбалари кўриб чиқилган. Ишлаб чиқариш ва хом ашёни қайта ишлаш корхоналари жойлашган деярли ҳар бир саноат ҳудудида майда дисперс аэрозол зарраларининг концентрациясини ўсиши кузатилади. Саноат ҳудудларидан атроф-муҳитга аэрозол, майда дисперс захарли чикиндилар чиқарувчи асосий манбалар келтирилган.

Иккинчи параграфда ҳаво, атмосферанинг чегара қатлами, сув ва тупроқни ифлослантирувчи асосий захарли моддалар келтирилган. Уларнинг тавсифлари, физик-кимёвий хусусиятлари, атмосфера ифлосланишининг нормативлари кўриб чиқилган.

Учинчи параграфда саноат ҳудудларининг экологик ҳолатини ўрганиш, башоратлаш ва қарорлар қабул қилиш учун ахборот ва ахборот технологияларини яратишнинг асосий элементлари ва босқичлари келтирилган.

Диссертациянинг «**Атмосферада захарли моддаларни тарқалиш жараёнини моделлаштириш**» деб номланувчи иккинчи боби бешта параграфдан иборат. Атмосферада захарли аэрозол зарраларининг тарқалиш жараёни муаммоси ҳолатини математик моделлаштириш ва уни ечиш йўллари батафсил таҳлил қилинган ва конструктив тизимли методология яратилди.

Тадқиқот объектларига мос келувчи математик моделни ишлаб чиқиш учун қаралаётган бутун жараёнга сезиларли таъсир этувчи асосий параметрлар ва уларнинг ўзгариш оралигини аниқлаш зарур. Ўтказилган тадқиқот давомида шу нарса маълум бўлдики, атмосферанинг чегара қатламида захарли чикиндиларни тарқалиш жараёнига таъсир қилувчи асосий омиллардан бири – бу вертикал ва горизонтал шамол тезликлари, ер юзасининг гадир-будурлигига боғлиқ бўлган турбулентлик коэффициенти,



худуд орографияси, кун давомида шамол йўналишининг ўзгариши, хавонинг нисбий намлиги ва бошқа иқлим омиллари.

Атмосферанинг ер усти қатлами ва тупрок юзасининг экологик ҳолатини ўрганиш, мониторинг қилиш ва башоратлаш учун аэрозол зарраларини тарқалиши ва диффузия жараёнини муҳим параметр – майда дисперс зарраларни чўкиш тезлиги  $w_g$  ни ҳисобга олган ҳолда қараб чиқамиз, бунда математик модел гидромеханика қонунига асосан кўп ўлчовли хусусий ҳосилалар дифференциал тенглама ёрдамида тасвирланади

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + (w - w_g) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \mu \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \delta(x, z) Q; \quad (1)$$

ва унга мос бошланғич ва чегаравий шартлар:

$$\theta(x, z, t) \Big|_{t=0} = \theta_0(x, z); \quad (2)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \gamma(\theta_a - \theta); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \gamma(\theta_a - \theta); \quad (3)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta); \quad k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = \gamma(\theta_a - \theta), \quad (4)$$

$D = (0 < x < L_x, 0 < z < H_z, t > 0)$  соҳада ечилади.

Бунда  $\theta$  - тарқалаётган модда концентрацияси миқдори,  $t$  - вақт,  $x, z$  - координаталар,  $u, w$  - мос равишда  $x, z$  бўйича шамол тезликларини ташкил этувчилари,  $w_g$  - зарранинг чўкиш тезлиги,  $k$  - турбулентлик коэффициенти,  $\mu$  - диффузия коэффициенти,  $\sigma$  - ютилиш коэффициенти,  $\gamma$  - ўлчовсиз параметр,  $\beta$  - ер устки қатлами билан ўзаро таъсир қилувчи коэффициент,  $\delta(x, z)$  - Дирак функцияси,  $Q(x, z, t)$  - манба қуввати.

(1)-(4) масалалар бошланғич ва чегаравий шартлар билан берилган кўп ўлчовли хусусий ҳосилалар дифференциал тенглама бўлгани учун унинг аналитик кўринишдаги ечимини олиш қийиндир. Масалани ечимини топиш учун вақт бўйича иккинчи тартибли ошқормас чекли-айирмалар схемасидан фойдаланамиз ( $w - w_g < 0$  да

$$\frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i,j}^n}{\Delta t / 2} + \frac{1}{2} \frac{\theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i+1,j}^n}{\Delta t / 2} + \frac{1}{2} u \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{1}{2} u \frac{\theta_{i,j}^n - \theta_{i-1,j}^n}{\Delta x} + (w - w_g) \frac{\theta_{i,j+1}^n - \theta_{i,j}^n}{\Delta z} + \sigma \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{\mu}{\Delta x^2} \left( \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{1}{\Delta z^2} \left( k_{j+0.5} \theta_{i,j+1}^n - (k_{j+0.5} + k_{j-0.5}) \theta_{i,j}^n + k_{j-0.5} \theta_{i,j-1}^n \right) + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} \quad (5)$$

(5) тенгламанинг ҳадларини группалаш орқали қуйидагига эга бўламиз:

$$a_{i,j} \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - b_{i,j} \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + c_{i,j} \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = -d_{i,j}.$$

Бунда

$$a_{i,j} = \frac{u}{2 \cdot \Delta x} + \frac{\mu}{\Delta x^2}, \quad b_{i,j} = \frac{1}{\Delta t} + \frac{u}{2 \cdot \Delta x} + \sigma + \frac{2 \cdot \mu}{\Delta x^2}, \quad c_{i,j} = \frac{\mu}{\Delta x^2} - \frac{1}{\Delta t},$$

$$d_{i,j} = \frac{u}{2 \cdot \Delta x} \theta_{i-1,j}^n + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{u}{2 \Delta x} + \frac{w - w_g}{\Delta z} - \frac{k_{j-0.5} + k_{j+0.5}}{\Delta z^2} \right) \theta_{i,j}^n - \frac{1}{\Delta t} \theta_{i+1,j}^n + \frac{k_{j-0.5}}{\Delta z^2} \theta_{i,j-1}^n + \left( \frac{k_{j+0.5}}{\Delta z^2} - \frac{w - w_g}{\Delta z} \right) \theta_{i,j+1}^n + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}.$$

Атмосферада кидириляётган функция қийматини топиш учун вақт бўйича бутун кадам учун ( $w - w_g < 0$  бўлганда қуйидагига эга бўламиз:

$$\frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j}^{n+1} - \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t / 2} + \frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+1} - \theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t / 2} + u \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{w - w_g}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+1} - \theta_{i,j}^{n+1}}{\Delta z} + \frac{w - w_g}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z} + \sigma \theta_{i,j}^{n+1} = \quad (6)$$

$$= \frac{\mu}{\Delta x^2} \left( \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{1}{\Delta z^2} \left( k_{j+0.5} \theta_{i,j+1}^{n+1} - (k_{j+0.5} + k_{j-0.5}) \theta_{i,j}^{n+1} + k_{j-0.5} \theta_{i,j-1}^{n+1} \right) + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+1}.$$

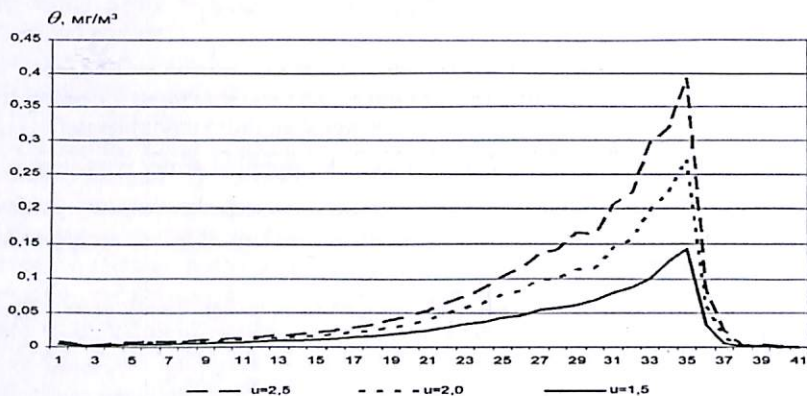
(б) тенгламанинг ҳадларини группалаш орқали қуйидагига эга бўламиз:

$$\bar{a}_{i,j} \theta_{i,j-1}^{n+1} - \bar{b}_{i,j} \theta_{i,j}^{n+1} + \bar{c}_{i,j} \theta_{i,j+1}^{n+1} = -\bar{d}_{i,j},$$

бунда  $\bar{a}_{i,j} = \frac{k_{j-0.5}}{\Delta z^2}$ ,  $\bar{b}_{i,j} = \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_g}{2\Delta z} + \sigma + \frac{k_{j-0.5} + k_{j+0.5}}{\Delta z^2}$ ,  $\bar{c}_{i,j} = \frac{k_{j+0.5}}{\Delta z^2} - \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_g}{2\Delta z}$ ,

$$\bar{d}_{i,j} = \left( \frac{u}{\Delta x} + \frac{\mu}{\Delta x^2} \right) \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{u}{\Delta x} + \frac{w-w_g}{2\Delta z} - \frac{2\mu}{\Delta x^2} \right) \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{\Delta t} \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_g}{2\Delta z} \right) \theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+1}.$$

Худди шундай, дифференциал операторларни  $w - w_g > 0$  да аппроксимациялаймиз ва унга мос чегаравий шартларни чекли айирмаларга қўйсақ, натижада изланаётган ўзгарувчиларни топиш учун уч диагоналли алгебраик тенгламалар системасига эга бўламиз.

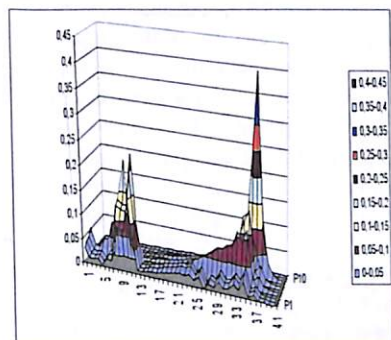


1-расм. Атмосферадаги ҳаво массасининг горизонтал тезлигига қараб атмосферада захарли моддаларнинг концентрациясининг ўзгариши

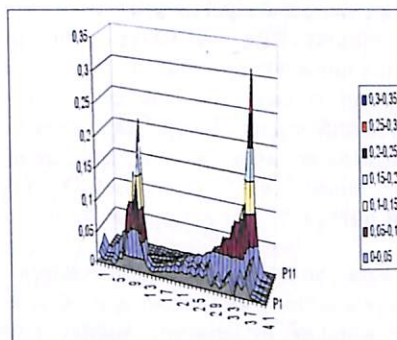
Ишлаб чиқилган сонли алгоритм асосида ЭХМда ҳисоблаш тажрибаларини ўтказиш учун C++да дастурий восита тузилган. 1-4 расмларда ечилган масаланинг ҳисоблаш тажрибаларининг натижалари график кўринишда келтирилган.

ЭХМда амалга оширилган сонли ҳисоблашлар натижасидан кўринадики, атмосферадаги ҳаво массасининг горизонтал тезлиги ошиши билан ер устки қатламида захарли моддалар концентрацияси тарқалиш ҳудуди вақт буйича ортиб боради. Бу ҳолат айниқса шамол тезлиги  $u \geq 2.5$  м/с бўлганда сезилади (1, 2 расмлар).



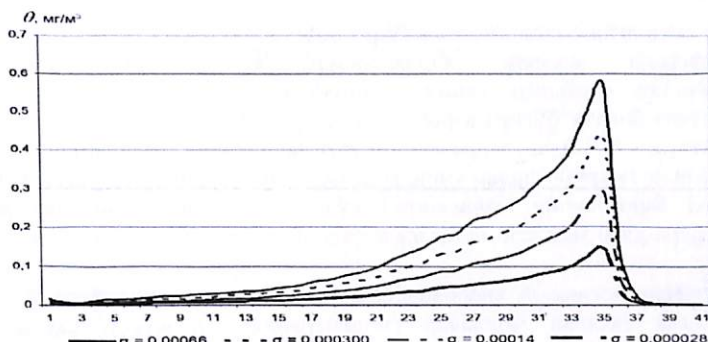


a)



б)

2-расм. Атмосферада захарли моддаларнинг концентрациясининг ўзгариши а)  $u=1.5$  м/с ; б)  $u=2.5$  м/с бўлганда

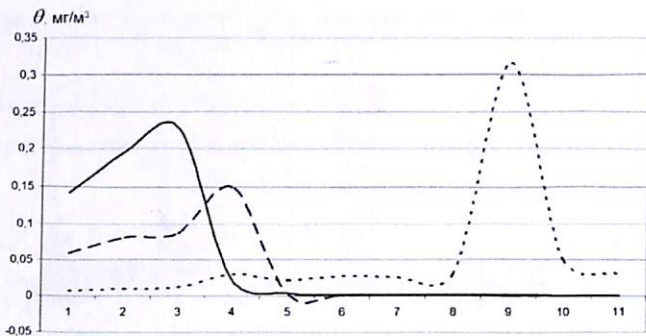


3-расм. Атмосферада захарли моддаларнинг концентрациясининг ўзгариши захарли моддаларнинг ютилиш коэффициентига боғлиқлиги

Атмосферада захарли аэрозол зарраларининг тақсимланишига таъсир килувчи омиллардан бири – бу захарли моддаларни ютилиш коэффициенти  $\sigma$ . Захарли моддаларни ютилиш коэффициенти атмосфера ҳаво массасининг ҳолатига боғлиқ бўлиб кун ва йил давомида ўзгаради. Бу параметрга боғлиқ ҳолда атмосферада аэрозол зарраларнинг концентрацияси ўзгаради (3-расм).  $\sigma$  нинг ўсиши билан ер устки катламида захарли моддаларнинг концентрацияси камаяди.

Ўтказилган сонли ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, нам ҳавода 70% дан 80% гача захарли моддаларнинг концентрацияси атмосферада ютилади.

Ғани ҳисоблашлар турли қувватларга эга бўлган битта, иккита ва учта манбалар учун ўтказилди (4 расм). 4 - расмлардаги эгри чизиклардан кўринадики, вақт ўтиши билан атмосферада захарли моддаларнинг концентрацияси ўсади.



**4-расм. Атмосферада захарли моддаларнинг концентрациясининг атмосфера қатламининг баландлиги бўйича ўзгариши (захарли чикиндиларни чиқарувчи 3 та манба)  $t = 7.30$**

Ўтказилган сонли ҳисоблашлар таҳлили шуни кўрсатадики, вақт бўйича атмосферада захарли моддаларнинг концентрациясини ўзгариши биринчидан, манбалар сонига; иккинчидан, атмосфера ҳаво массасининг намлигига боғлиқ бўлган аэрозол зарраларнинг ютилиш коэффицентининг киймати; учинчидан, зарраларнинг вертикал чўкиш тезлигига боғлиқ.

Сонли тажрибалардан аниқландики, атмосферанинг ер устки қатламида аэрозол зарраларнинг горизонтал кўчиш жараёнига сезиларли равишда атмосфера ҳаво массасининг ҳаракатланишининг горизонтал тезлиги таъсир қилади.

Ўтказилган сонли ҳисоблашлардан кўринадики, атмосферада 70% дан 80% гача захарли моддалар концентрацияси ютилади, қачонки ҳаво массасининг намлиги 90% ва ундан кўп бўлса, ютилиш коэффиценти максимал киймат қабул қилади.

Ўтказилган сонли тажрибалар кўрсатадики, ҳудуд атмосферасининг санитар нормаларига сезиларли таъсир қилувчи асосий параметрлар бу – атмосфера ҳаво массасининг тезлиги, атмосферада захарли моддаларнинг ютилиш коэффиценти, ишлаётган манбалар сони ва уларнинг қуввати, координатлари, аэрозол зарраларнинг физик-кимёвий хусусиятлари, шунингдек чизикли ўлчамлари.

Диссертациянинг учинчи боби «Атмосферада захарли моддалар диффузияси ва кўчиш жараёнини моделини такомиллаштириш» деб номланади ва учта параграфдан иборат.

Объектни математик моделлаштиришда асосий саволлардан бири масала ечимининг мавжудлиги ва ягоналигини аниқлаш ҳисобланади. Ишда атмосферада аэрозол зарраларнинг диффузияси ва кўчиши масаласининг ечими мавжудлиги ва ягоналиги текширилган.

Ер юзидаги ўсимлик қоплами, ишлаб чиқариш объектлари, фуқаролик иншоотлари, ҳудуд рельефи ва бошқа орографик элементлар сезиларли

равишда шамолнинг йўналиши ва тезлигининг ўзгаришларига таъсир қилади, атмосферанинг чегара қатламида шамолнинг турбулент кўзғалишига олиб келади. Қаралган объектларга кўра, турбулент ҳаракатнинг кўзғалиш радиуси бир неча юз метргача бориши мумкин. Кўпинча ҳаво массасининг турбулент ҳаракатланиши тупроқ эрозиясига олиб келади ва атмосферага майда дисперс зарраларни чиқаради. Шу сабабли, атмосферадаги заҳарли моддаларнинг стационар ва ностационар манбаларига кўшимча равишда ернинг юзаси, муайян шароитларда заҳарли заррачаларнинг чиқиши учун генератор бўлиб хизмат қилади.

Атроф-мухитда аэрозолларни тарқалишини мониторинг қилишда, қаралаётган  $D$  соҳада аэрозол миқдорини башоратлашда ва текислик юзасига тушган аэрозол миқдорини аниқлашда тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда ўрганилаётган объектнинг кўп ўлчамли математик модели ишлаб чиқилди:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + (w - w_{\varepsilon}) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \mu \Delta \theta + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + Q \delta(x, y, z); \quad (7)$$

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta_0(x, y, z); \quad (8)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad (9)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad (10)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \gamma(\beta \theta - F_0); \quad (11)$$

$$k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H} = (\theta - \theta_a). \quad (12)$$

$z = H$  бўлганда баландликдаги манбага эга бўлаемиз ( $F_0 = 0$ ). Ердаги манбаларда  $F_0 \neq 0$  ( $Q = 0$ ).

Манба ер усти қатламида жойлашганда (5-расм), (7)-(12) масала  $D = (0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < H_z)$  соҳада қаралган. Ер устидаги атмосферани ифлословчи манбалар 5-расмда «крестиклар билан» белгиланган.

$F_0$  миқдор  $x, y, z, t$  ларга боғлиқ бўлган функция. Турбулентлик коэффициенти ҳам мос равишда метеорологик шароитларга боғлиқ ва қуйидаги ҳолатларни қараймиз:

1.  $k = const, u, v, w = const$

$$2. k = \begin{cases} v + k_1 \frac{z}{z_1}, & z \leq h, \\ v + k_1 \frac{h}{z_1}, & z > h, \end{cases} \quad v = |v| z^n;$$

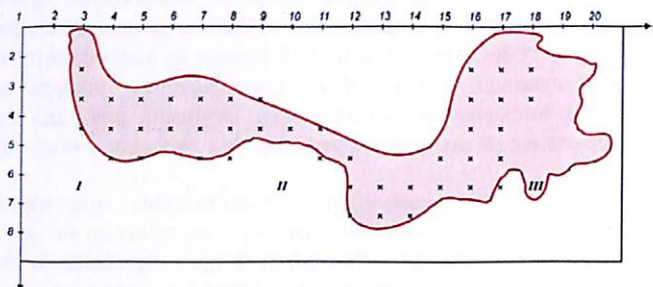
3.  $k = k(z), v = v(z), w = w(z),$

бу ерда  $h$  – ер қатлами баландлиги,  $v$  – турбулентликнинг ёпишқоклиги.

Шамол тезлиги ва тупроқ намлиги атмосферада заҳарли моддаларнинг тарқалишига ва тупроқ эрозиясининг ривожланишига ҳар хил таъсир қилади.



Агар келаётган шамол оқими тезлигининг ошиши эрозия жараёнини кучайтирса, тупроқ намлигини ортиши эса уни камайтиради.



5-расм. Оролбўйи минтақасининг қуриган қисмдаги ер сатҳида жойлашган манбалар

К.М.Мирзажоновнинг ишида кўрилганидек ер усти қатламидаги манбани қуйидагича ифодалаш мумкун:

$$F_0 = f(u, w). \quad (13)$$

Бунда  $F_0$  – атмосфера фронти билан олиб кетиладиган зарраларнинг ҳажми, м<sup>3</sup>/с.

(13) функцияни қийматини аниқлаш учун тупроқни кўпорилишига ва бу кўпорилишга қарши ҳаракат қилувчи кучларни таҳлил қилишга ўтамиз. Бунинг учун кўпоровчи кучни  $F$  билан белгилаймиз. Унга ҳар доим қарши турувчи, таркибига тупроқнинг намлиги ва бошқа физик-механик хоссалари кирувчи қаршилик кучини  $R$  билан ифодалаймиз.

$F$  куч  $R$  кучдан устун бўлганда тупроқ эрозияси жараёни ва ер устидаги захарли зарраларнинг кўчиши бошланади. Назарий боғлиқликни топиш учун тенг кучли жараёни қараймиз. Динамик тенг кучлиликда  $F$  ва  $R$  кучларнинг айирмаси нолга тенг бўлиши керак, яъни

$$F - R = 0. \quad (14)$$

У ҳолда  $F_0$  олиб кетиладиган зарралар ҳажми билан оқим тезлиги орасидаги муносабатни қуйидагича ифодалаш мумкун

$$F = \frac{\partial F_0}{\partial u} \chi, \quad (15)$$

бу ерда  $\chi$  – уринма кучланиши, кг/м<sup>2</sup>.

Қаршилик кучи  $R$  учун  $F$  каби

$$R = c_0 \frac{\mu_c}{l} \frac{\partial F_0}{\partial \zeta} \quad (16)$$

ифодани оламиз, бунда  $\mu_c$  – аралашма ёпишқоқлиги (хаво + тупроқ), кг\*с/м<sup>2</sup>;  $l$  – алоҳида зарралар орасидаги масофа, м;  $c_0$  – тупроқ доимилик коэффициентини.

(15) ва (16) ларни (14) га ўрнига қўйсак қуйидагига эга буламиз

$$\frac{\partial F_0}{\partial u} - c_0 \frac{\mu_c}{l \chi} \frac{\partial F_0}{\partial \zeta} = 0 \quad \text{ёки} \quad \frac{\partial F_0}{\partial u} - k_r \zeta \frac{\partial F_0}{\partial \zeta} = 0.$$



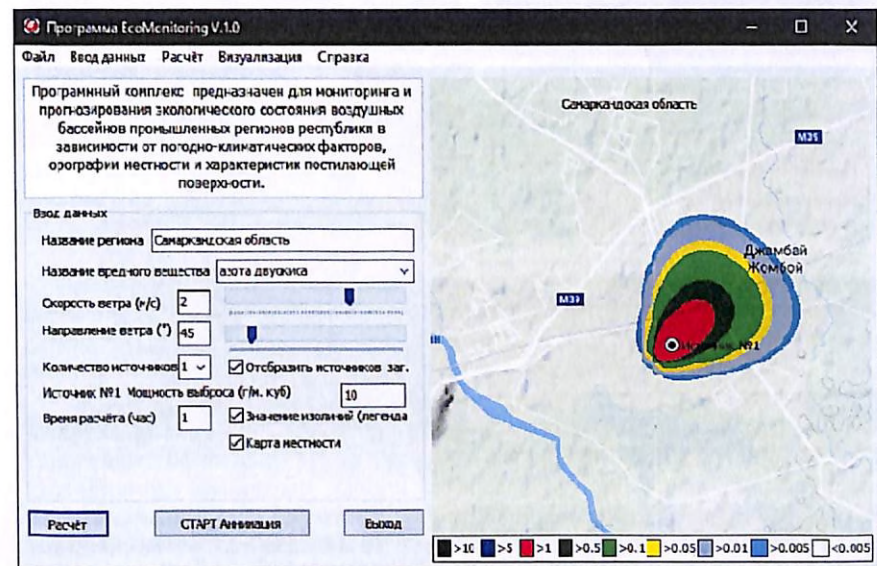
Шундай қилиб, шамол тезлиги ва тупроқ намлигига боғлиқ бўлган ер сатҳидан кўчадиган зарраларнинг ҳажми тенгламаси олинди.  $F_0$  олиб кетиладиган зарралар ҳажми ҳисобланган натижаларига кўра, атмосферада заҳарли чиқиндиларни кўчиши ва диффузияси масаласини (11) чегаравий шартлар билан ечиш мумкун.

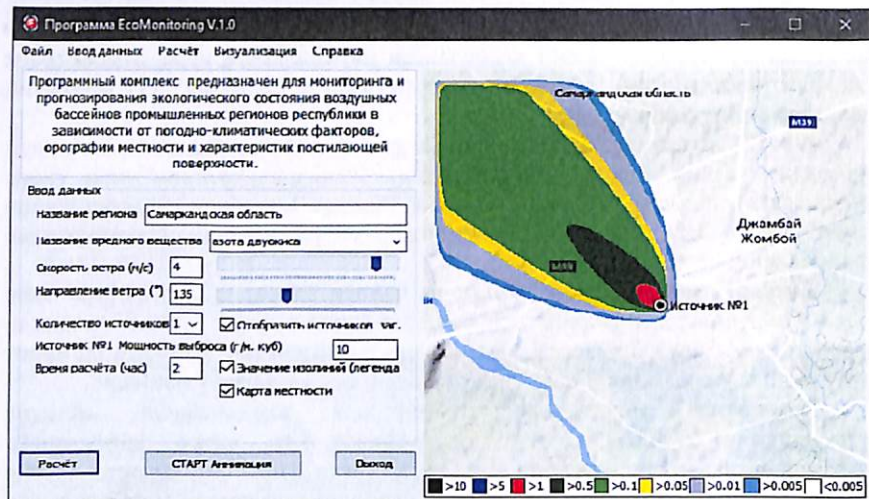
(7)-(12) масалалар бошланғич ва чегаравий шартлар билан берилган кўп ўлчовли хусусий ҳосилали дифференциал тенглама бўлгани учун унинг аналитик кўринишдаги ечимини олиш қийиндир. Масалани ечимини топиш учун вақт бўйича иккинчи тартибли ошқормас чекли-айирмалар схемасидан фойдаланилган.

**Диссертация ишнинг тўртинчи бобида** саноат худудларининг ҳаво бассейнинларини мониторинг ва башорат қилиш учун ишлаб чиқилган математик моделлар, самарали сонли алгоритмлар асосида дастурий таъминот яратилди ва у ёрдамида ЭХМларда ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди.

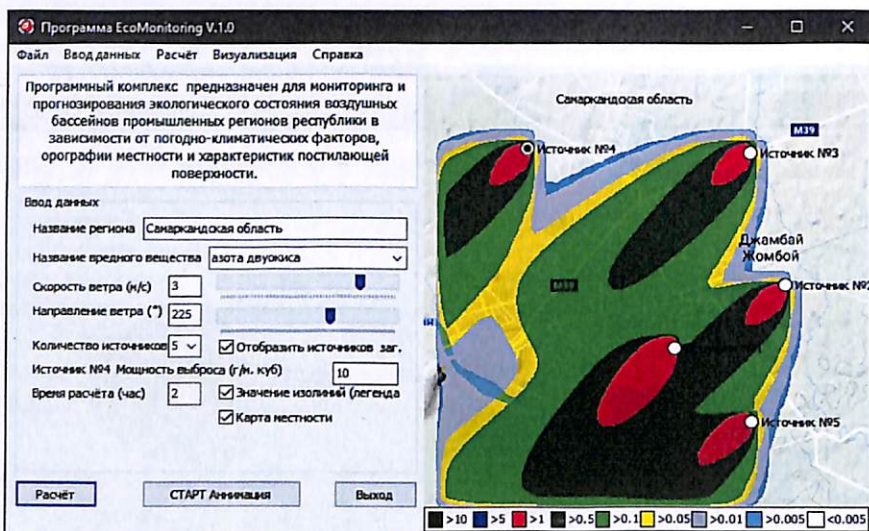
Компьютер мониторида атмосферада аэрозолларни динамик тарқалишини об-ҳаво, худуд орографияси, ер устки қатламнинг характеристикаси ва жараёнга таъсир қилувчи бошқа омилларга боғлиқ ҳолда кузатиш имконини берадиган дастурий комплекс «EcoMonitoring ver\_1» ишлаб чиқилди.

«EcoMonitoring ver\_1» дастурий комплекс асосида сонли ҳисоблашлар амалга оширилган, олинган натижалар 6- расмда кўрсатилган.





б)



в)

б-расм. Азот диоксидаининг ўзгариш концентрацияси а) №1 объектдан шамол тезлиги 2 м/с ва башорат вакти  $t=1$  соат; б) №1 объектдан шамол тезлиги 4 м/с, шамол йўналиши 135° ва башорат вакти  $t=2$  соат; в) бешта манбадан шамол тезлиги 3 м/с бўлганда, шамол йўналиши 225° ва башорат вакти  $t=2$  соат



Дастурий комплекс қаралаётган ҳудуднинг экологик ҳолатини мониторинг ва башорат қилиш ҳамда янги саноат объектларини оптимал жойлаштириш мақсадида ишлатилиши мумкин.

Яратилган дастурий таъминот ёрдамида ҳисоблаш тажрибалари ўтказилди. Сонли ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, кўчиш ва диффузия жараёни метеорологик шароитларга, зарраларнинг хоссаларига нисбатан сезиларли равишда ҳамда турбулентлик коэффициентининг тақсимланишига боғлиқ ҳолда ўзгаради.

Оролбўйининг қуриган қисмида чанг ва тузни тарқалишини башоратлаш учун 3-моделдан фойдаланамиз. Сонли тажрибалар давомида аниқландики, манбалар жанубий Оролбўйининг қуриган қисмининг шимоли-шарқида ёки қуриган майдоннинг ўрта қисмида жойлашганда кучсиз стабил бўлмаган стратификацияда, шамол шимолдан эсганда – аэрозол Нукус шахригача етиб бормаганлиги, шамол шимоли-шарқдан эсганда Нукусга етганлиги аниқланди.

Манбалар шимоли-шарқий қисмда жойлашганда Нукусга тушган аэрозол миқдори  $5 \cdot 10^{-8}$  г/м<sup>2</sup> га, манбалар ўрта қисмида жойлашганда  $15 \cdot 10^{-8}$  г/м<sup>2</sup> га тенг бўлди.

Ўтказилган ҳисоблаш тажрибалари кўрсатдики, тупроқ ер усти қатламидан майда дисперс зарраларининг кўчиш ҳажмига сезиларли равишда қуйидагилар таъсир қилади:

а) ер юзасида шамолнинг ташкил этувчилари, бу параметрнинг ўсиши билан атмосферадаги аэрозол зарраларининг кўчиш ҳажми экспоненциал кўринишда ўсди;

б) тупроқ намлиги, бу параметрнинг ўсиши билан атмосферага захарли моддаларнинг ташланиши кескин камайди;

с) ер ғадир-будирлигининг коэффициентига нисбатан ўзгарди.

## ХУЛОСА

«Тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда атмосферада захарли моддалар тарқалишини башорат қилишнинг математик моделини ва ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш» мавзусида олиб борилган диссертация тадқиқотининг асосий натижалари қуйидагилардан иборат:

1. Саноат ҳудудлари атмосферасининг экологик ҳолатини мониторинг ва башорат қилиш учун ахборот модели яратилди, унинг атмосфера, сув ва тупроғини ифлослантирувчи асосий потенциал манбаларнинг таҳлили келтирилган, шунингдек ҳавони ифлослантирувчи асосий моддаларнинг батафсил тавсифи, уларнинг физик-кимёкий хоссалари ўрганилган ва булар объектни тўғри акслантирувчи математик моделларни ишлаб чиқиш учун хизмат қилади.

2. Атмосферада заҳарли аэрозол зарраларининг тарқалиш жараёнини математик моделлаштириш учун муаммо ҳолати, уни ечиш йўллари батафсил таҳлил қилинди ва конструктив тизимли методология ишлаб чиқилди.

3. Тадқиқот объектининг математик моделини яратиш учун атмосферада заҳарли моддаларнинг диффузияси ва кўчиш жараёнида саноат худудларининг экологик ҳолатига асосий об-ҳаво омилларининг таъсири батафсил ўрганилди.

4. Тадқиқот объектига об-ҳаво ҳамда бошқа факторларни таъсирини ҳисобга олган ҳолда атмосферанинг чегара қатламида тарқалаётган заҳарли моддаларнинг концентрация миқдорини ҳисоблаш имконини берадиган сонли модел ишлаб чиқилди.

5. Атмосферада аэрозол заррачаларнинг тарқалиш жараёнини математик моделлаштириш учун уларни кўчиши ва диффузияси масаласининг ечимини мавжудлиги ва ягоналиги текширилди.

6. Тупроқ эрозиясини ҳисобга олган ҳолда атмосферада майда дисперс заррачаларнинг диффузияси ва кўчиш жараёнини математик модели ва масаланинг ечими учун сонли алгоритмлар ишлаб чиқилди. Ишлаб чиқилган модел ва ҳисоблаш алгоритми қаралаётган худуднинг экологик ҳолатини башоратлаш ва зарур чораларни кўриш имконини беради.

7. Ишлаб чиқилган математик модел, сонли алгоритмлар асосида ЭХМда ҳисоб тажрибалари ўтказилди ва ҳисоблаш натижаларини таҳлили шунини кўрсатдики, атмосферада аэрозол зарраларни ёйилишига ер устки қатламидаги атмосферанинг ҳаво массасини тезлиги таъсир қилиши аниқланди. Ер сатҳининг пастки қатламларида шамол тезлигининг ўзгариш динамикасига ернинг ғадир-будурлик коэффиценти сезиларли таъсир қилади. Шунингдек, ҳисоблашлар натижаларидан аниқландики, аэрозол зарраларни чўкиш тезлигида турбулентлик коэффиценти муҳим рол ўйнайди ва у вертикал бўйича чизикли қонуният асосида ўсганлиги аниқланди. Бу натижалар башоратлаш аниқлигини 10-13% га оширди.

8. Ҳисоблашлар натижаларидан аниқландики, атмосферанинг ер устки қатламида аэрозолли зарраларни горизонтал кўчиш жараёнига атмосферанинг ҳаво массаси горизонтал тезлиги сезиларли таъсир қилади. Ўтказилган сонли ҳисоблашлар кўрсатдики, динамик ишқаланишнинг ошиши билан вертикал йўналишдаги шамол тезлиги пропорционал равишда ўсади, ер ғадир-будирлиги коэффицентининг ўсишидан эса шамол тезлигининг горизонтал ташкил этувчиси пропорционал равишда камаяди. Бу эса тадқиқот натижаларини амалга оширишдан қутилган ижтимоий ва иқтисодий самара худуднинг экологик ҳолатини башорат қилиш аниқлигини 11-13% га оширға хизмат қилди.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**НАУЧНО-ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННО-  
КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

**ТАШТЕМИРОВА НАДИРА НЕМАТИЛЛАЕВНА**

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ЧИСЛЕННЫХ  
АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА  
РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРЕ С  
УЧЕТОМ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ**

05.01.07 – Математическое моделирование. Численные методы и комплексы программ

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

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2017.2.PhD/Т195.

Диссертация выполнена в Научно-инновационном центре информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице научного совета ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)).

**Научный руководитель:** **Равшанов Нормухмад**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Кабулов Анвар Восилович**  
доктор технических наук, профессор  
**Джуманов Жамолжон Худойкулович**  
доктор технических наук

**Ведущая организация:** **Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Защита диссертации состоится 25 сентября 2019 г. в 16<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.27.06.2017.Т.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Ташкентский университет информационных технологий. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № 1587). (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан 23 сентября 2019 года.

(реестр протокола рассылки № 14 от 27 сентября 2019 года.)



**Р.Х.Хамдамов**  
Председатель научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

**Ф.М.Нуралиев**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.т.н., доцент

**А.М.Полатов**  
Заместитель председателя научного семинара  
при научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

## ВВЕДЕНИЕ (Аннотация диссертации доктора философии(PhD))

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется созданию математических моделей, эффективных численных алгоритмов и программных комплексов, связанных с процессами переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере, выбрасываемых из объектов производства и транспортных систем. Математические модели, разработка вычислительных алгоритмов и создание программных средств для мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы промышленных регионов имеют важное значение в таких развитых странах мира, как Германия, Великобритания, Финляндия, Российская Федерация, Индия и др.

В мировых высших учебных заведениях и передовых научно-исследовательских центрах ведутся научные исследования, направленные на создание адекватных математических моделей для процесса распространения вредных веществ в атмосфере, на разработку алгоритмов и систем программного обеспечения для расчёта количества концентрации загрязнителей воздуха, на проведение вычислительных экспериментов для исследования процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц, а также на исследование полученных результатов. В этом направлении, в частности, особое внимание уделяется таким аспектам, как разработка математических моделей процесса распространения вредных веществ в приземном атмосферном пограничном слое с учетом природных и климатических факторов, создание программных комплексов, позволяющих определить оптимальное, с точки зрения экологии, размещение объектов и визуализацию результатов расчетов с учетом наибольшей допустимой концентрации вредных веществ.

В нашей Республике наряду с развитием отраслей производства проводится ряд широкомасштабных исследований по возможным нарушениям экологического баланса в промышленных регионах и разработке математических моделей и численных алгоритмов по мониторингу и прогнозированию процессов распространения вредных веществ в атмосфере, выбрасываемых предприятиями в окружающую среду. В стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан на 2017-2021 годы определены такие задачи, как «... регулирование экологического баланса и рациональное использование природных ресурсов в условиях устойчивого развития ... обеспечение качества охраняемых природных территорий, объектов животного мира и защиты от антропогенного воздействия»<sup>1</sup>. При реализации этих задач важными вопросами являются разработка интегрированных вычислительных алгоритмов и автоматизированных систем для мониторинга и прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере с учётом эрозии почвы на основе современных информационных технологий.

Полученные результаты проведенных исследований в диссертационной

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии дальнейшего развития Республики Узбекистан».



работе вносят определённый вклад в претворение в жизнь указов высших органов государственной власти РУз, в том числе: Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-1989 от 27 июня 2013 г. «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан», Указ Президента Республики Узбекистан № УП-5024 от 21 апреля 2017 года «О совершенствовании системы государственного управления в сфере экологии и охраны окружающей среды», Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 310 от 23 мая 2017 года «Об утверждении Положения о Государственном комитете Республики Узбекистан по экологии и охране окружающей среды».

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Настоящая работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан IV - «Информатизация и развитие информационно-коммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** Обзор научных публикаций за последние годы показывает, что в перечне актуальных задач, решаемых с помощью математического моделирования, вопросы экологии занимают особое место. Научные исследования, направленные на разработку математических моделей и вычислительных алгоритмов для систем мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы промышленных регионов, проводятся в передовых научных центрах и высших учебных заведениях мира, в число которых входят Karlsruhe Institute of Technology, Institute of Applied Geosciences (Германия), Centre for Ecology and Hydrology, Centre for Water Science (Великобритания), Finnish Meteorological Institute (Финляндия), National Institute of Hydrology, Waterloo Hydro Geologic (Индия), Институт атмосферы физики им. А.М.Обузова, Институт вычислительной математики и математической геофизики (Россия), Научно-исследовательский и проектно-технологический институт «Атмосфера», Национальный университет Узбекистана, Ташкентский университет информационных технологий и др.

Фундаментальные аспекты методологии математического моделирования процесса переноса и диффузии вредных мелкодисперсных частиц и углекислых газов в атмосфере сформулированы в работах Р.И.Оникула, Н.Л.Бызовой, Ю.А.Анохиной, М.Е.Берлянда, академика С.А.Солодкова, Е.Л.Гениховича, Т. Iversen, Т.Е. Nordeng, R. Lange, M. Pekar и др.

В работах М.Л.Арушанова и его учеников проведены подробные исследования, связанные с процессами выноса соле-пылевых частиц из осушённой части Аральского региона.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационная работа выполнена в рамках НИР

Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при Ташкентском университете информационных технологий и Института математики АН РУз, в частности, по проектам: ЕА7-001 «Разработка эффективных вычислительных алгоритмов и программного средства для мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов» (2014-2015); А-5-12 «Разработка математического обеспечения мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов» (2015-2017); БВ-Атех-2018-9 «Разработка моделей, распределённых вычислительных алгоритмов и программных обеспечений для решений задач охраны атмосферы и водных ресурсов от техногенных факторов»(2018-2020).

**Цель исследования** заключается в разработке и усовершенствовании математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов.

**Задачи исследования:**

создание информационной модели для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы промышленных регионов, изучение физико-химических свойств загрязнителей воздуха и исследование влияний основных погодных-климатических факторов на экологическое состояние промышленных регионов;

разработка математической модели для мониторинга и исследования процесса распространения вредных аэрозольных частиц в пограничном слое атмосферы;

математическое моделирование процесса переноса и диффузии мелкодисперсных частиц в атмосфере с учётом эрозии почвы;

исследование существования и единственности решения задачи переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере;

разработка численных алгоритмов для решения задач распространения вредных аэрозольных частиц в атмосфере и программных средств для проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ.

**Объектом исследования** являются процесс переноса вредных веществ и мелкодисперсных частиц в атмосфере, выбрасываемых из промышленных объектов и других источников загрязнения, и их диффузия.

**Предмет исследования** – математические модели, вычислительные алгоритмы и программные средства для проведения вычислительного эксперимента на ЭВМ.

**Методы исследования.** В процессе исследования применяются методы вычислительной математики, математического и компьютерного моделирования и вычислительного эксперимента, а также способы технологии программирования для разработки программных продуктов.

**Научная новизна исследования:**

разработана математическая модель для мониторинга и исследования процесса распространения вредных аэрозольных частиц в пограничном слое



атмосферы на основе основных законов гидромеханики;

разработана математическая модель процесса переноса мелкодисперсных частиц в атмосфере с учётом эрозии почвы и их диффузии;

исследованы существование и единственность решения задачи переноса аэрозольных частиц в атмосфере и их диффузия;

разработаны численные алгоритмы для решения задач распространения вредных аэрозольных и мелкодисперсных частиц в атмосфере.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

результаты исследования направлены на проведение мониторинга и прогноза экологического состояния промышленных регионов, для оптимального проектирования новых промышленных и гражданских объектов с учётом санитарных норм;

разработан метод и алгоритм для прогнозирования экологического состояния региона, где ожидаем социальный и экономический эффект от внедрения полученных результатов;

разработан алгоритм и программное обеспечение результаты которых дают возможность прогнозирования экологического состояния и при своевременном предупреждении предотвращают экономические затраты;

результаты программного обеспечения позволили контролировать количество концентрации вредных веществ в атмосфере для населения Ахангаранской долины при оптимальном размещении новых производственных объектов;

создано программное обеспечение «EcoMonitoring ver\_1».

**Достоверность результатов исследования** обосновывается тем, что уравнение переноса вредных веществ в атмосфере и его краевые условия сформированы строго по законам сохранения массы и импульса энергии. При использовании численных методов обеспечены необходимые точности аппроксимации и сходимости вычислительного процесса, а результаты расчётов не противоречат законам природы.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов заключается в том, что в разработанных математических моделях и численных алгоритмах, для мониторинга и прогнозирования распространения выброшенных вредных веществ в атмосферу в промышленных регионах, учитываются изменение погоды, эрозия почвы, орография местности и коэффициент турбулентности.

Практическая значимость заключается в том, что при помощи предложенного программного обеспечения можно провести мониторинг, прогнозирование и принять правильные решения по процессу распространения и изменения концентрации вредных веществ и газов, выброшенных в атмосферу из объекта производства и уносимых с поверхности земли.

**Внедрение результатов исследования.** На основе математических моделей, вычислительных алгоритмов и комплекса программного обеспечения для мониторинга и прогнозирования экологического состояния



промышленных регионов:

математическая модель, численный метод, вычислительный алгоритм и комплекс программного обеспечения для проведения мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов внедрены в Джизакском и Самаркандском областных комитетах по охране природы (Справка Министерства развития информационных технологий и коммуникаций № 33-8/9061 от 04 декабря 2018 года, а также Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды № 02-02/8-159 от 15 мая 2019 года). Результаты исследования позволили достичь экономического эффекта на 10-12% за счёт прогнозирования экологического состояния и своевременного оповещения о возможных рисках;

математическая модель, численный метод, вычислительный алгоритм и комплекс программного обеспечения для проведения мониторинга и прогнозирования экологического состояния приземного слоя атмосферы промышленных регионов одобрены Научно-исследовательским институтом экологии и охраны окружающей среды при Госкомэкологии РУз (Справка Министерства развития информационных технологий и коммуникаций № 33-8/9061 от 04 декабря 2018 года, а также Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды № 02-02/8-159 от 15 мая 2019 года). Социальный и экономический эффект от внедрения научно-исследовательских результатов достигается за счёт увеличения на 11-13% достоверности прогнозирования и своевременного предупреждения о повышении концентрации вредных веществ в окружающей среде региона;

программные продукты для оценки экологического состояния территорий вблизи промышленных объектов с учётом скорости и направления ветров, предельно-допустимых норм концентрации вредных веществ и орографии местности внедрены в деятельности Ангренской, Алмалыкской и Чирчикской инспекций по охране природы Ташкентской области (Справка Министерства развития информационных технологий и коммуникаций № 33-8/9061 от 04 декабря 2018 года, а также Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды № 02-02/8-159 от 15 мая 2019 года). Результаты исследования позволили снизить на 10-12% вредное воздействие на население Ахангаранской долины от деятельности вновь строящихся предприятий за счёт их оптимального размещения.

**Апробация результатов исследования.** Результаты диссертационной работы обсуждены на 8 международных и 8 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 29 научных работ, 13 журнальных статей, в том числе 2 в иностранных, 5 в республиканских журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, а также получены 3 свидетельства о регистрации программных продуктов для ЭВМ.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация содержит 113 страниц и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованной

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении работы обоснована актуальность и востребованность исследований, сформулированы цели и задачи исследования и дана общая характеристика, в том числе краткое содержание, работы.

Первая глава диссертации «**Информационная модель для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы промышленных регионов и их потенциальных источников**» состоит из трех параграфов.

В первом параграфе рассматриваются потенциальные источники загрязнения атмосферных бассейнов промышленных регионов, а также отмечается рост концентрации мелкодисперсных загрязняющих аэрозольных частиц, наблюдаемых в атмосфере практически каждого промышленного региона, где расположены объекты производства и переработки сырья. Приведены основные потенциальные источники загрязнения атмосферы промышленных регионов, выбрасывающие в окружающую среду аэрозольные, мелкодисперсные вредные частицы.

Во втором параграфе приведены нормативные показатели основных загрязняющих веществ в воздухе, пограничном слое атмосферы, воде и почвах грунта и их свойства.

В третьем параграфе дана информация, информационная технология, как инструмент для исследования, прогнозирования и принятия решения по экологическому состоянию окружающей среды.

Вторая глава диссертации «**Моделирование процесса распространения вредных веществ в атмосфере**» состоит из пяти параграфов. Подробно проанализировано состояние проблемы по математическому моделированию процесса распространения вредных аэрозольных частиц в атмосфере и пути ее решения.

Создана конструктивная системная методология для математического моделирования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере.

Для разработки адекватных математических моделей объектов исследования необходимо определить основные параметры и их диапазоны изменения, которые существенно влияют на рассматриваемый процесс в целом. Как выяснилось в ходе проведенных исследований, существенными параметрами, которые влияют на процесс распространения вредных веществ в пограничном слое атмосферы, являются скорость ветра по вертикали и горизонтали, коэффициент турбулентности, зависящий от шероховатости поверхности земли, орография местности, изменение направления ветра в сутках, относительная влажность воздуха и другие погодно-климатические факторы.

Для исследования, мониторинга и прогнозирования экологического состояния приземного слоя атмосферы и поверхности почвы и грунта



рассмотрен процесс переноса и диффузии аэрозольных частиц с учётом существенного параметра – скорости осаждения мелкодисперсных частиц  $w_g$ . Математическая модель описывается на основе закона гидромеханики с помощью многомерного дифференциального уравнения в частных производных

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + (w - w_g) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \mu \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \delta(x, z) Q \quad (1)$$

с соответствующими им начальными и граничными условиями:

$$\theta(x, z, t) \Big|_{t=0} = \theta_0(x, z); \quad (2)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = (\theta - \theta_s); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = (\theta - \theta_s); \quad (3)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = (\beta \theta); \quad k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H_z} = (\theta - \theta_s) \quad (4)$$

и решается в области  $D = (0 < x < L_x, 0 < z < H_z, t > 0)$ .

Здесь  $\theta$  - количество концентрации распространяющегося вещества;  $t$  - время;  $x, z$  - координаты;  $u, w$  - составляющие скорости ветра по направлениям  $x, z$  соответственно;  $w_g$  - скорость осаждения частицы;  $k$  - коэффициент турбулентного перемешивания;  $\mu$  - коэффициент диффузии;  $\sigma$  - коэффициент поглощения;  $\gamma$  - безразмерный параметр;  $\beta$  - коэффициент взаимодействия с подстилающей поверхностью;  $Q(x, z, t)$  - мощность источников.

Так как задача (1)-(4) описываются многомерными дифференциальными уравнениями в частных производных с соответствующими начальными и краевыми условиями, получить её решение в аналитической форме затруднительно. Для решения задачи используем неявную конечно-разностную схему со вторым порядком точности по времени при  $w - w_g < 0$ :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i,j}^n}{\Delta t / 2} + \frac{1}{2} \frac{\theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i+1,j}^n}{\Delta t / 2} + \frac{1}{2} u \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{1}{2} u \frac{\theta_{i,j}^n - \theta_{i-1,j}^n}{\Delta x} + (w - w_g) \frac{\theta_{i,j+1}^n - \theta_{i,j}^n}{\Delta z} + \sigma \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} = \\ & = \frac{\mu}{\Delta x^2} \left( \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{1}{\Delta z^2} \left( k_{j+0.5} \theta_{i,j+1}^n - (k_{j+0.5} + k_{j-0.5}) \theta_{i,j}^n + k_{j-0.5} \theta_{i,j-1}^n \right) + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Группируя члены уравнения (5), в конечном итоге получаем

$$a_{i,j} \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} - b_{i,j} \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + c_{i,j} \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} = -d_{i,j}.$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь} \quad a_{i,j} &= \frac{u}{2 \cdot \Delta x} + \frac{\mu}{\Delta x^2}, & b_{i,j} &= \frac{1}{\Delta t} + \frac{u}{2 \cdot \Delta x} + \sigma + \frac{2 \cdot \mu}{\Delta x^2}, & c_{i,j} &= \frac{\mu}{\Delta x^2} - \frac{1}{\Delta t}, \\ d_{i,j} &= \frac{u}{2 \Delta x} \theta_{i-1,j}^n + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{u}{2 \Delta x} + \frac{w - w_g}{\Delta z} - \frac{k_{j-0.5} + k_{j+0.5}}{\Delta z^2} \right) \theta_{i,j}^n - \frac{1}{\Delta t} \theta_{i+1,j}^n + \frac{k_{j-0.5}}{\Delta z^2} \theta_{i,j-1}^n + \left( \frac{k_{j+0.5}}{\Delta z^2} - \frac{w - w_g}{\Delta z} \right) \theta_{i,j+1}^n + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}. \end{aligned}$$

Для вычисления значения искомой функции (концентрация взвешенных частиц) в атмосфере для целого шага по времени аналогично  $(w - w_g) < 0$  получаем



$$\frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j}^{n+1} - \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t/2} + \frac{1}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+1} - \theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t/2} + u \frac{\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x} + \frac{w-w_{\varepsilon}}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+1} - \theta_{i,j}^{n+1}}{\Delta z} + \frac{w-w_{\varepsilon}}{2} \frac{\theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} - \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta z} + \sigma \theta_{i,j}^{n+1} = \quad (6)$$

$$= \frac{\mu}{\Delta x^2} \left( \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - 2\theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} \right) + \frac{1}{\Delta z^2} \left( k_{j+0,5} \theta_{i,j+1}^{n+1} - (k_{j+0,5} + k_{j-0,5}) \theta_{i,j}^{n+1} + k_{j-0,5} \theta_{i,j-1}^{n+1} \right) + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+1}.$$

Группируя схожие члены уравнения (6), в конечном итоге имеем

$$\bar{a}_{i,j} \theta_{i,j-1}^{n+1} - \bar{b}_{i,j} \theta_{i,j}^{n+1} + \bar{c}_{i,j} \theta_{i,j+1}^{n+1} = -\bar{d}_{i,j},$$

где

$$\bar{a}_{i,j} = \frac{k_{j-0,5}}{\Delta x^2}, \quad \bar{b}_{i,j} = \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_{\varepsilon}}{2\Delta z} + \sigma + \frac{k_{j-0,5} + k_{j+0,5}}{\Delta z^2}, \quad \bar{c}_{i,j} = \frac{k_{j+0,5}}{\Delta z^2} - \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_{\varepsilon}}{2\Delta z},$$

$$\bar{d}_{i,j} = \left( \frac{u}{\Delta x} + \frac{\mu}{\Delta x^2} \right) \theta_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{u}{\Delta x} + \frac{w-w_{\varepsilon}}{2\Delta z} - \frac{2\mu}{\Delta x^2} \right) \theta_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{\Delta t} \theta_{i+1,j}^{n+\frac{1}{2}} + \left( \frac{1}{\Delta t} - \frac{w-w_{\varepsilon}}{2\Delta z} \right) \theta_{i,j+1}^{n+\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \delta_{i,j} Q_{i,j}^{n+1}.$$

Аналогично при  $(w-w_{\varepsilon}) > 0$  аппроксимируем дифференциальные операторы и соответствующие им краевые условия на конечно-разностные и, в конечном итоге, получаем систему из трёх диагональных алгебраических уравнений для нахождения искомых переменных.

На основе разработанного численного алгоритма для проведения вычислительного эксперимента (ВЭ) на ЭВМ составлено программное средство на С++. Результаты ВЭ показаны графически на двух- и трехмерных объектах (рис.1-4).

Согласно результатам проведённых численных расчётов на ЭВМ (рис.1, 2), с ростом горизонтальной скорости воздушной массы атмосферы концентрация вредных веществ в приземном слое растёт. Это особенно заметно при скорости ветра  $u \geq 2.5$  м/с.

Одним из существенных параметров, воздействующих на распределение концентрации вредных аэрозольных частиц в атмосфере, является коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере  $\sigma$ . Он зависит от состояния воздушной массы атмосферы, времени года и изменяется в течение суток. В зависимости от этого параметра изменяется концентрация аэрозольных частиц в атмосфере (рис.2). С ростом значения  $\sigma$  уменьшается концентрация вредных веществ в приземном слое атмосферы.

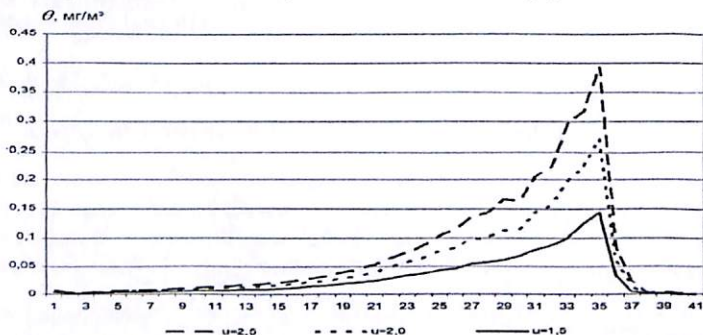
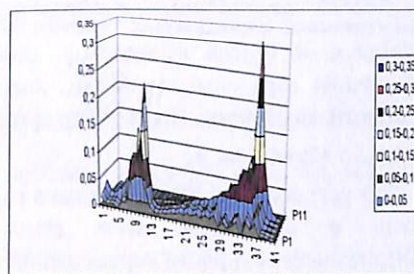
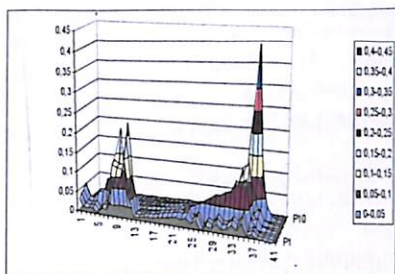


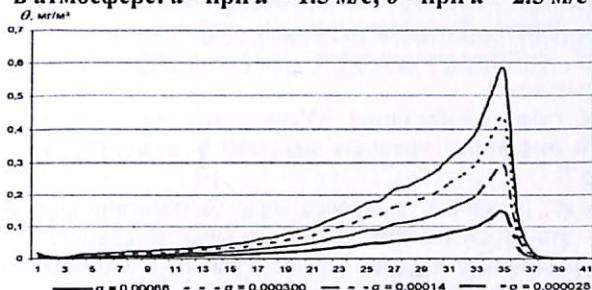
Рис. 1. Изменение концентрации вредных веществ в атмосфере в зависимости от горизонтальной скорости воздушной массы атмосферы



a)

b)

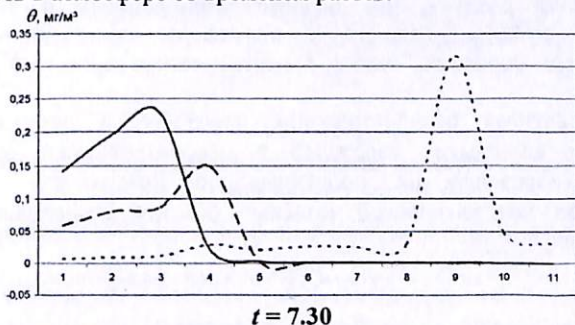
**Рис. 2. Изменение концентрации вредных веществ в атмосфере: а - при  $u = 1.5$  м/с; б - при  $u = 2.5$  м/с**



**Рис. 3. Изменение концентрации вредных веществ в атмосфере в зависимости от коэффициента поглощения вредных веществ**

Проведёнными численными расчётами установлено, что от 70 до 80% концентрации вредных веществ поглощается в атмосфере, когда воздушная масса насыщена до 90% и более влагой, и коэффициент поглощения принимает максимальное значение.

ВЭ были проведены при наличии одного, двух и трёх источников с различными мощностями (рис. 4). Согласно кривым на рис. 4, концентрация вредных веществ в атмосфере со временем растёт.



**Рис. 4. Изменение концентрации вредных веществ по высоте слоя атмосферы (при наличии трех источников выброса вредных веществ)**



Анализ проведённых численных расчётов показал, что изменения концентраций аэрозольных частиц в атмосфере по времени зависят, во-первых, от числа источников; во-вторых, от значения коэффициента поглощения аэрозольных частиц, которое изменяется в зависимости от влажности воздушной массы атмосферы; в-третьих, от скорости осаждения частиц по вертикали  $w_g$ .

ВЭ установлено, что на процесс горизонтального переноса аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы существенно воздействуют горизонтальные скорости перемещения воздушной массы атмосферы.

Проведёнными ВЭ установлено, что на санитарные нормы атмосферы региона существенно воздействуют такие основные параметры, как скорость воздушной массы атмосферы, коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере, число функционирующих источников и их мощности и координаты, физико-механические свойства аэрозольных частиц, а также их линейные размеры.

Третья глава диссертации «Усовершенствование модели процесса переноса и диффузия вредных веществ в атмосфере» состоит из трёх параграфов.

Один из основных вопросов при математическом моделировании объекта – это исследование существования и единственности решения задачи. В работе исследовано существование и единственность решения задачи переноса и диффузия аэрозольных частиц в атмосфере.

Растительный покров на поверхности земли, объекты производства, гражданская застройка, рельеф местности и прочие орографические элементы существенным образом влияют на изменение направления и скорости ветра, приводят к турбулентному перемещению ветра в пограничном слое атмосферы. В зависимости от указанных объектов толщина действия турбулентного перемещения может достигать сотен метров. Зачастую турбулентное перемещение воздушной массы влечёт эрозию почвы с выносом мелкодисперсных частиц в атмосферу. Из данного обстоятельства следует, что помимо стационарных и нестационарных источников вредных веществ в атмосфере, поверхность земли, при определённых условиях, также является генератором выброса вредных частиц.

Для прогноза распространения аэрозолей в окружающей среде, нахождения количества аэрозолей в рассматриваемой области  $D$  и выпавших аэрозолей на подстилающую поверхность воспользуемся многомерной математической моделью объекта исследования с учётом эрозии почвы:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} + (w - w_g) \frac{\partial \theta}{\partial z} + \sigma \theta = \mu \Delta \theta + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + Q \delta(x, y, z); \quad (7)$$

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta_0(x, y, z); \quad (8)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = \gamma(\theta - \theta_a); \quad (9)$$



$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = \gamma(\theta - \theta_s); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=L_x} = \gamma(\theta - \theta_s); \quad (10)$$

$$-k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=0} = \gamma(\beta\theta - F_0); \quad (11)$$

$$k \frac{\partial \theta}{\partial z} \Big|_{z=H} = (\theta - \theta_s). \quad (12)$$

При  $H=0$  имеем приподнятый источник на уровне  $z = H$  ( $F_0 = 0$ ). При наземных источниках  $F_0 \neq 0$  ( $Q = 0$ ).

Задача (7)-(12) рассмотрена в области  $D = (0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < H_z)$ , когда источник расположен в приземном слое (рис. 5). На рис. 5 «крестиками» обозначены наземные источники загрязнения атмосферы.

Величина  $F_0$  является функцией от  $x, y, z, t$ . Соответственно коэффициент турбулентности также зависит от метеорологических условий.

Для определения коэффициента турбулентности рассмотрим следующие модели:

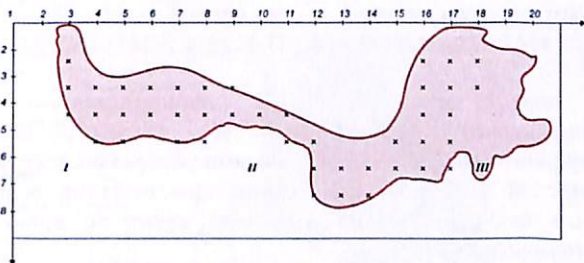
1.  $k = const, u, v, w = const;$

2.  $k = \begin{cases} v + k_1 \frac{z}{z_1}, & z \leq h, \\ v + k_1 \frac{h}{z_1}, & z > h, \end{cases}$

3.  $k = k(z), v = v(z), w = w(z), v = |v|z^n;$

здесь  $h$  – высота приземного слоя,  $v$  – турбулентная вязкость.

Скорость ветра и влажность почвы по-разному влияют на процесс распространения вредных частиц в атмосфере и развитие эрозии почвы. Если увеличение скорости набегающего потока ветра усиливает процесс эрозии, то повышение влажности почвы подавляет его.



**Рис. 5. Расположение источников на наземном слое в осушенной части Приаралья**

Согласно работе К.М.Мирзажанова, наземный источник записываем в виде

$$F_0 = f(u, w), \quad (13)$$

где  $F_0$  – объемный расход уносимых атмосферным фронтом частиц,  $m^3/c$ .

Для определения вида функции (13) переходим к анализу действующих сил, обуславливающих разрушение почвы и сопротивляющихся этому разрушению. Разрушающие силы обозначаем через  $F$ . Им всегда

противостоят силы сопротивления  $R$ , в состав которых входят влажность и другие физико-механические свойства почвы.

При превышении силы  $F$  над силой  $R$  начинается процесс эрозии почвы и уноса вредных частиц с поверхности земли. Для получения теоретической зависимости будем рассматривать равновесный процесс. При динамическом равновесии разность сил  $F$  и  $R$  должна равняться нулю:

$$F - R = 0. \quad (14)$$

Тогда связь между объёмным расходом  $F_0$  уносимых частиц и скоростью потока принимает вид

$$F = \frac{\partial F_0}{\partial u} \chi. \quad (15)$$

где  $\chi$  - касательное напряжение, кг/м<sup>2</sup>.

Для силы сопротивления  $R$ , по аналогии с  $F$ , возьмем выражение

$$R = c_0 \frac{\mu_c}{l} \frac{\partial F_0}{\partial \zeta}. \quad (16)$$

где  $\mu_c$  - вязкость смеси (воздух + почва), кг\*с/м<sup>2</sup>;  $l$  - расстояние между отдельными частицами, м;  $c_0$  - константа почвы.

Подставляя (15) и (16) в (14), имеем

$$\frac{\partial F_0}{\partial u} - c_0 \frac{\mu_c}{l \chi} \frac{\partial F_0}{\partial \zeta} = 0.$$

И в конечном итоге получаем

$$\frac{\partial F_0}{\partial u} - k_r \zeta \frac{\partial F_0}{\partial \zeta} = 0.$$

Итак, получено уравнение для определения объёма уносимых частиц с поверхности земли в зависимости от скорости ветра и влажности почвы. По результатам вычисленного значения  $F_0$  - объёмного расхода уносимых атмосферным фронтом частиц - можно решить задачу по процессу переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере с помощью граничного условия (11).

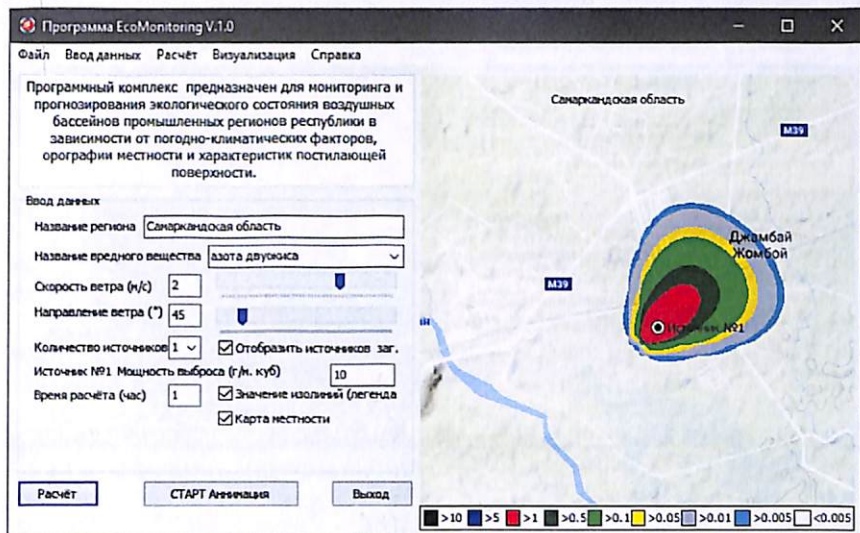
Так как задачи (7)-(12) описываются многомерными дифференциальными уравнениями в частных производных с соответствующими начальными и краевыми условиями, получить её решение в аналитической форме затруднительно. Для решения задачи аналогично использована неявная конечно-разностная схема по времени со вторым порядком точности по времени.

**В четвертой главе диссертации «Программно-инструментальный комплекс для проведения вычислительных экспериментов на ЭВМ для решения задач переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере» для мониторинга и прогнозирования воздушных бассейнов промышленных регионов на основе разработанных математических моделей, эффективных численных алгоритмов разработан программный комплекс для проведения ВЭ на ЭВМ.**

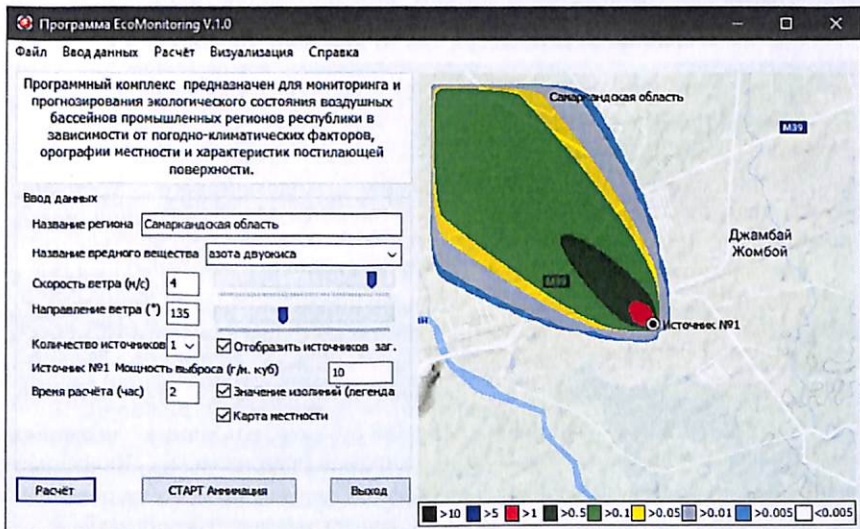
Программный комплекс «EcoMonitoring-ver1» позволяет на мониторе компьютера вести наблюдения за динамическим распределением аэрозолей в



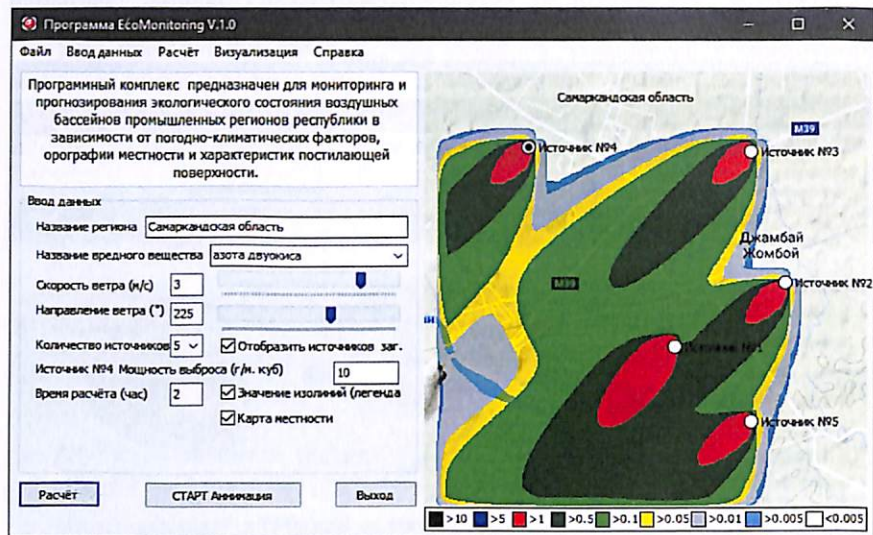
атмосфере в зависимости от погодно-климатических данных, орографии местности, характеристики подстилающей поверхности земли и других возмущений, действующих на процесс в целом.



а)



б)



в)

**Рис. 6. Изменение концентрации двуокиси азота, выброшенной из**  
**а - объекта № 1 при скорости ветра 2 м/с и времени прогноза  $t = 1$  ч;**  
**б - объекта № 1 при скорости ветра 4 м/с, направлении ветра  $135^\circ$  и**  
**времени прогноза  $t = 2$  ч; в - пяти источников при скорости ветра**  
**3 м/с, направление ветра  $225^\circ$  и времени прогноза  $t = 2$  ч**

На основе разработанного программного комплекса «EcoMonitoring ver\_1» проведены численные расчеты на ЭВМ, результаты которых представлены на рис. 6. Программный комплекс может быть использован при мониторинге и прогнозировании экологического состояния рассматриваемого региона, а также при оптимальном размещении новых промышленных объектов.

Для прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере в зависимости от перечисленных выше параметров, погодных-климатических факторов и эрозии почвы на основе разработанного программного комплекса проведены ВЭ. Расчеты проводились для области  $D(0 < x, y < 21 \cdot 10000 \text{ м}, 0 < z < 2000 \text{ м})$  с шагом сетки  $h_x = h_y = 10000 \text{ м}, L_z: 150, 300, 600, 1200, 2400 \text{ м}$ , шаг по времени  $\Delta t = 3600 \text{ с}$ , при различных значениях коэффициента турбулентности  $k(z)$  и скорости осаждения  $w_r$ . Численные расчёты показывают, что перенос и диффузия осуществляются в зависимости от метеорологических условий, свойств частиц и существенно зависят от распределения коэффициента турбулентности по вертикали.



Для прогноза распространения пыли и соли над осушенной частью Аральского моря воспользуемся моделью 3. Для  $k(z)$  применяется характерное значение при слабой неустойчивой стратификации, а для скорости ветра – степенной закон изменения. В ходе ВЭ установлено, что, когда источники находятся в северо-восточной части осушенной зоны Южного Приаралья или в средней части осушенной зоны при слабой неустойчивой стратификации, в случае с северным ветром аэрозоль не доходит до города Нукуса, а при северо-восточном ветре – достигает Нукуса.

Количество аэрозоля, выпавшего на Нукус, составило  $5 \cdot 10^{-8}$  г/м<sup>2</sup>, когда источники находятся в северо-восточной части, и  $15 \cdot 10^{-8}$  г/м<sup>2</sup> – когда источники находятся в средней зоне.

Анализ проведённых ВЭ показал, что на объем уноса мелкодисперсных частиц с поверхности осушенной части Аральского моря существенно воздействуют:

а) составляющие скорости ветра на поверхности земли, с ростом этого параметра экспоненциально растёт объем уносимых аэрозольных частиц в атмосферу;

б) влажность почвы, с ростом этого показателя резко уменьшается количество выброса вредных веществ в атмосферу;

с) коэффициент шероховатости земли.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертационной работе на тему «Разработка математической модели и численных алгоритмов для прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере с

1. Создана информационная модель для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы промышленных регионов, проведён анализ основных потенциальных источников загрязнения атмосферы, воды и почвы грунта в промышленных регионах и их физико-химических свойств. Полученные данные способствовали построению адекватной модели процесса распространения вредных веществ в атмосфере.

2. Подробно проанализированы состояние проблемы по математическому моделированию процесса распространения вредных аэрозольных частиц в атмосфере, пути их решения и создана конструктивная системная методология для математического моделирования процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере.

3. Детально исследовано влияние основных погодных-климатических факторов на экологическое состояние промышленных регионов при процессе переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере, которое способствовало построению математической модели объекта исследования.

4. Разработана численная модель процесса распространения вредных аэрозольных частиц в пограничном слое атмосферы, используя которую,

можно вычислить концентрацию вредных веществ в атмосфере по времени в зависимости от погодно-климатических и других факторов, действующих на объект исследования в целом.

5. Исследованы существование и единственность решения задачи переноса аэрозольных частиц в атмосфере и их диффузия для математического моделирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере.

6. Разработаны математическая модель процесса переноса и диффузии мелкодисперсных частиц в атмосфере с учётом эрозии почвы и численные алгоритмы для решения задач. Разработанная модель и вычислительный алгоритм позволяют прогнозировать экологическое состояние рассматриваемого региона с учетом эрозии почвы и служат для принятия управленческого решения.

7. На основе разработанных математических моделей и численных алгоритмов проведены ВЭ на ЭВМ, на основании которых установлено, что на рассеивание аэрозольных частиц в атмосфере оказывают влияние скорости воздушной массы атмосферы в приземном слое. На динамику изменения скорости ветра в нижних слоях поверхности земли существенно воздействует коэффициент шероховатости. Также ВЭ установлено, что на скорость осаждения аэрозольных частиц важную роль оказывает коэффициент турбулентности, и он растёт по вертикали по линейному закону, а его определение повышает точность прогноза на 10-13 %.

8. ВЭ установлено, что на процесс горизонтального переноса аэрозольных частиц в приземном слое атмосферы существенно воздействуют горизонтальные скорости перемещения воздушной массы атмосферы. Проведёнными численными расчётами установлено, что с ростом скорости динамического трения пропорционально растёт скорость ветра по вертикали, а с ростом коэффициента шероховатости земли горизонтальная составляющая скорости ветра пропорционально уменьшается. Определение скорости ветра существенно влияет на ожидаемый социальный и экономический эффект. В результате внедрения полученных результатов достигается увеличение точности прогнозирования на 11-13%.



**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.27.06.2017.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**SCIENTIFIC AND INNOVATION CENTER OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION TECHNOLOGIES AT THE TASHKENT  
UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**TASHEMIROVA NADIRA NEMATILLAEVNA**

**DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL AND NUMERICAL  
ALGORITHMS FOR PREDICTING THE PROCESS OF THE  
DISTRIBUTION OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE ATMOSPHERE  
TAKING INTO ACCOUNT SOIL EROSION**

05.01.07 – Mathematical modeling, Numerical methods and software complexes

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

The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2017.2.PhD/T195.

The dissertation has been prepared at Scientific and Innovation Center of Information and Communication Technologies at the Tashkent University of Information Technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.tuit.uz](http://www.tuit.uz) and on the website of «ZiyoNet» Information and Educational portal [www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz).

**Scientific adviser:** **Ravshanov Normahmad**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Qobulov Anvar Vosilovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Djumanov Jamoljon Hudaykulovich**  
Doctor of Technical Sciences

**Leading organization:** **Tashkent Institute of Railway Engineers**

The defense will take place "24" September 2019 at 16<sup>00</sup> the meeting of Scientific council No. DSc.27.06.2017.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of the Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 1587). (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of dissertation sent out on "13" September 2019 y.

(mailing report No. 14 on "24" August 2019 y.).



**R. Kh. Khamdamov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**F.M. Nuraliev**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, Docent

**A.M. Polatov**  
Chairman of the academic seminar under  
the scientific council awarding scientific  
degrees, Doctor of Physical and  
Mathematical Sciences, Professor



## INTRODUCTION (abstract of the PhD thesis)

**The aim of the research work.** The development of a mathematical model and numerical algorithms for predicting the process of distribution of harmful substances in the atmosphere considering soil erosion.

**The objects of research** is to develop and improve adequate mathematical models, computational algorithms and software for monitoring and forecasting the ecological state of industrial regions.

**The object of the research** is the process of transfer and diffusion of harmful substances and fine passive active particles in the atmosphere emitted from industrial facilities and other sources of pollution.

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

a numerical model of the process of propagation of harmful passive and active aerosol particles in the boundary layer of the atmosphere has been developed;

a mathematical model of the process of transfer and diffusion of fine particles in the atmosphere taking into account soil erosion has been developed;

The existence and uniqueness of the solution of the transport problem and the diffusion of aerosol particles in the atmosphere are investigated;

Numerical algorithms have been developed for solving problems of the propagation of harmful aerosol and fine particles in the atmosphere.

**Implementation of the research results.** Based on the mathematical models, computing algorithms and a complex of the software for monitoring and forecasting of an ecological status of industrial regions:

As a result, it was possible to carry out monitoring and forecasting of an ecological condition of the air basin of industrial regions of the republic depending on weather and climatic factors, orography of the area, characteristic of the spreading earth's surface, etc.;

the mathematical model, the numerical method, computing algorithm and complex of the software for carrying out monitoring and forecasting of an ecological status of industrial regions are implemented in the Jizzakh and Samarkand regional committees on conservation (The reference of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications dated December 04, 2018 for No. 33-8/9061, the State Committee on Ecology and Environmental protection dated May 15, 2019 for No. 02-02/8-159). With the results of the research it was possible to achieve 10-12% of the economic effect due to forecasting of an ecological status and the timely notification about possible risks;

mathematical model, the numerical method, computing algorithm and complex of the software for carrying out monitoring and forecasting of an ecological status of a ground layer of the atmosphere of industrial regions are approved by the Research Institute of Ecology and Environmental Protection under the Goskomecology of the Republic of Uzbekistan (Certificate of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications dated December 04, 2018 for No. 33-8/9061, the State Committee on Ecology and Environmental Protection dated May 15, 2019 for No. 02-02/8-159). Social and economic effect

of implementation of the research results reaches due to increase by 11-13% of reliability of forecasting and timely warning of increase in concentration of harmful substances in the environment of the region;

software products for assessment of an ecological condition of territories near industrial facilities taking into account speed and the direction of winds, maximum-permissible standards of concentration of harmful substances and orography of the area are implemented in the activity of Angren, Almalyk, Chirchiq inspectorates for conservation of the Tashkent region (Certificate of the Ministry for Development of Information Technologies and Communications dated December 04, 2018 for No. 33-8/9061, the State Committee on Ecology and Environmental Protection dated May 15, 2019 for No. 02-02/8-159). The results of the research allowed to reduce harmful effects to 10-12% for the population of the Akhangaran valley from the activities of newly under construction enterprises due to their optimum placement.

**The outline of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion, list of literature and applications. The total volume of the dissertation consists of 113 pages.



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

1. Равшанов Н., Таштемирова Н., Равшанов З. Исследование распространений вредных выбросов в атмосферу в зависимости от суточных изменений погоднo-метеорологических факторов // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2012.- №1. - С.9-15. (05.00.00; №5)
2. Равшанов Н., Тоштемирова Н., Мурадов Ф. Атмосферадаги аэрозол заррачаларининг кучиши ва диффузияси масаласини ечимини мавжудлиги ва ягоналигини тадқиқ қилиш // Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари. – Тошкент, 2017. - №1 54-68 б. (05.00.00; №23)
3. Равшанов Н., Шарипов Д.К., Тоштемирова Н.Н. Математическая модель для контролирования санитарной нормы региона и оптимального размещения новых промышленных объектов // Научно-практический журнал «Отраслевые аспекты технических наук». – Москва, 2012. – № 6(18). – С. 5-9. (05.00.00; № 60.)
4. Ravshanov N., Sharipov D.K., Narzullaeva N., Toshtemirova N. Online servers application for mathematical and computer modelling of spread of harmful substances in the atmosphere // Scientific - technical and information-analytical journal «TUIT BULLETIN». – Tashkent, 2016. – № 1 (37). – Pp. 40-48. (05.00.00; № 10.)
5. Таштемирова Н.Н., Ахмедов Д.Д. Математическая модель для исследования и прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере // Научно-технический журнал «Информационные технологии моделирования и управления» - Воронеж, 2019 - №1(115) с. 50-59. (05.00.00; № 43.)
6. Таштемирова Н. Моделирование процесса распространения мелкодисперсных аэрозольных частиц с учётом эрозии почвы. // Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари. – Тошкент, 2019. - №3- 54-68б.
7. Равшанов Н., Таштемирова Н., Шафиев Т. Нелинейная математическая модель для мониторинга и прогнозирования процесса распространения аэрозольных частиц в атмосфере// Научный журнал Вестник ТУИТ- Ташкент, 2019. - №2(50) с. 45-60. (05.00.00; № 31.)
8. Равшанов Н., Шарипов Д., Таштемирова Н. Заҳарли моддаларни атмосферада тарқалиш жараёнини компьютер моделлаштириш // Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари. – Тошкент, 2015. - №1- 16-28б.
9. Шарипов Д., Таштемирова Н., Нарзуллаева Н. Ер сатҳи рельефини ҳисобга олган ҳолда заҳарли моддаларни атмосферада тарқалишини сонли моделлаштириш // Ҳисоблаш ва амалий математика муаммолари. – Тошкент, 2016. - №1- 60-71 б.
10. Равшанов Н., Тоштемирова Н., Нарзуллаева Н. Компьютерная модель для мониторинга и прогнозирования экологического состояния

атмосферы промышленных регионов // Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус» Сборник научных публикаций V международная Научно-практическая конференция «Наука в современном мире» (21 января 2016 г) Киев – 2016

11. Равшанов Н., Шарипов Д., Таштемирова Н. Метод физического расщепления для решения задачи распространения вредных веществ в атмосфере // Научно – практический журнал «Приволжский научный вестник». - г. Ижевск, 2013. - №12(28). - С. 39-44.

12. Ravshanov N., Shertaev M., Toshtemirova N. A Mathematical Model for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Modeling and Optimization. – 2015.- Vol. 3. No. 2. – Pp.35-39

13. N. Ravshanov , N. Tashtemirova Advansed model of transfer process and diffusion of harmful substances in the atmospheric boundary layer // International Scientific Journal «Theoretical & Applied Science». – 2017. –Vol.46. – Issue 2. Pp.128-139

14. Равшанов З., Тоштемирова Н., Мухамадиев А. Усовершенствованная математическая модель процесса распространения мелкодисперсных частиц в атмосфере Theoretical & Applied Science № 09(65) 2018 p.63-68

15. Шарипов Д., Таштемирова Н. Компьютерное моделирование процесса переноса и диффузий аэрозольных выбросов в атмосфере // Материалы XIII Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» - Воронеж, 7-8 февраля 2013г. - С. 427-432.

16. Равшанов Н., Шарипов Д., Таштемирова Н. Математическое моделирование контроля и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов. 179-182 стр. Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов: материалы докладов IV Международный научно-практической конференции. Казань, 2013г. – Казань: изд-во «Отечество», 2013.

17. Равшанов Н., Таштемирова Н., Ахмедов Д. Информация, информационные технологии и моделирование как инструмент для анализа и прогнозирования экологического состояния окружающей среды // Материалы III Открытой научно-практической конференции с международным участием Экологические чтения-2012.- Омск. 5 июня 2012г.- С. 199-207.

18. Равшанов Н., Исламов Ю.Н., Каршиев Д., Тоштемирова Н. Веб-технологии и методы прогнозирования и контроля экологического состояния промышленных регионов // Экология и развитие общества. / материалы XV-й Международной научно-практической конференции (20-24 июля 2014 года) - Санкт- Петербург - С.16-22

19. Равшанов Н., Шарипов Д., Ахмедов Д., Таштемирова Н. Математическая модель, методы распределённых вычислений и веб-



технологии для мониторинга, контроля и охраны окружающей среды // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов: Материалы V Международной научно-практической конференции. – Казань: Отечество, 2014. – С. 221-228.

20. Равшанов Н., Таштемирова Н., Равшанов З. Компьютерная модель для исследования и прогнозирования концентраций вредных веществ в атмосфере // Информатика: ПРОБЛЕМЫ, МЕТОДОЛОГИЯ, ТЕХНОЛОГИИ Материалы XV Международной научно-методической конференции - Воронеж, 12-13 февраля 2015г. Том I

21. Равшанов Н., Мурадов Ф., Тоштемирова Н. Численное моделирование процесса переноса и диффузии аэрозольных частиц в пограничном слое атмосферы // «Информатика: проблемы, методология, технологии» Материалы XVII Международной научно-методической конференции - Воронеж - 9-10 февраля 2017 - С. 346-351

22. Жабборов Н.М., Равшанов З.Н., Тоштемирова Н. Исследование влияния основных погодных-климатических факторов на процесс переноса и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере на основе статистической обработки данных // Материалы Республиканской научной конференции «Современные проблемы теории вероятностей и математической статистики» –Ташкент- 30 апреля- 1 мая 2019г. – С. 17-21

23. Равшанов Н., Таштемирова Н. Исследование распространений вредных выбросов в атмосфере в зависимости от суточных изменений погодных-метеорологических факторов // «Ўзбекистонда ёқилги-минерал хомашёлари кимёвий йўл билан комплекс қайта ишлаш ютуқлари ва истиқболлари» номи Республика илмий-техника анжуманининг мақолалар тўпламида - Тошкент, 2013. - 88-90 б.

24. Б. Ю.Палванов, Н.Тоштемирова. Ионли аралашмаларни тозалаш жараёнининг математик модели ва атроф-мухит химояси // ТАТУ хузуридаги ДМАДМЯМ «Ишлаб чиқариш ва олий таълимда инновациялар ва инновацион технологиялар» республика илмий-амалий конференцияси материаллари 2013 йил 16-17 май (2-қисм)

25. Равшанов Н., Шарипов Д., Д.Ахмедов, Таштемирова Н. IT технология и компьютерное моделирование для мониторинга и прогнозирования экологического состояния окружающей среды // Сборник статей VII международной научной конференции «Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке» Ташкент издательство «Chinor ENK» - 2014 - том I С. 46-54

26. Ахмедов Д., Тоштемирова Н., Исламов Ю.Н. Информационная модель для прогнозирования и контроля экологического состояния промышленных регионов // Актуальные проблемы физико-химической биологии : материалы научно-практической конференции. – Т., 2015. – С. 62-64.

27. Равшанов Н., Шарипов Д., Таштемирова Н. Компьютерное моделирование процесса переноса и диффузии вредных веществ в

пограничном слое атмосферы. Республиканская научно-техническая конференция «Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении» (7-8 сентября 2015г., Ташкент)

28. Ravshanov N., Toshtemirova N., Muradov F. Математическое и программное обеспечение задач транспорта и диффузии аэрозольных частиц в атмосфере // СБОРНИК ДОКЛАДОВ Республиканской научно-технической конференции Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии реальных отраслей экономики -Ташкент часть 1 6-7 апреля 2017 г.

29. Ravshanov N., Toshtemirova N. Численное моделирование процесса распространения аэрозольных частиц в пограничном слое атмосферы с учетом эрозии почвы // Tashkent University of Information Technologies named after Muhammad Al-Khwarazmi International conference on importance of information-communication technologies in innovative development of sectors of economy April 5-6, 2018 p. 311-314

30. Ravshanov N., Sharipov D.K., Tashtemirova N. Sanoat regionlarining ekologik holatini bashoratlash va monitoring qilish uchun «Эко-контроль» dasturi // O'zbekiston respublikasi Intellektual mulk agentligi EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 03438. 05.12.2015 й.

31. Muradov F., Tashtemirova N., Zokirov M., Nuriev X. Atmosferadagi zaharli moddalarning konsentratsiyasini eroziyani hisobga olgan holda bashoratlashni amalga oshiruvchi dasturiy vosita // O'zbekiston respublikasi Intellektual mulk agentligi EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 05055. 12.02.2018 й.

32. Ravshanov N., Sharipov D.K., Muradov F., Tashtemirova N. Sanoat regionlarining ekologik holatini bashoratlash va monitoring qilish uchun «EcoMonitoring ver\_1» EHM uchun dastur // O'zbekiston respublikasi Intellektual mulk agentligi EHM uchun yaratilgan dasturning rasmiy ro'yxatdan o'tkazilganligi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 05762. 02.11.2018 й.



Автореферат "Информатика ва энергетика муаммолари" илмий журнали тахририятида тахрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84<sup>1/16</sup>. Рақамли босма усули. Times гарнитураси.  
Шартли босма табоғи: 3. Адади 100. Буюртма № 89.

Гувоҳнома reestr № 10-3719  
"Тошкент кимё технология институти" босмахонасида чоп этилган.  
Босмахона манзили: 100011, Тошкент ш., Навоий кўчаси, 32-уй.