

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

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

**АХМЕДОВ ДИЛЬШОТ ДИЛЬМУРАДОВИЧ**

**АТМОСФЕРА ЗАҲАРЛАНИШИНИ МОНИТОРИНГ ВА  
БАШОРАТЛАШ УЧУН АХБОРОТ-ТАҲЛИЛ ТИЗИМИНИНГ  
МАТЕМАТИК ВА ДАСТУРИЙ ТАЪМИНОТИ**

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютар тармоқларининг математик  
ва дастурий таъминоти

**ТЕХНИКА ФАҲЛАР БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)  
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФРАТИ**

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

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

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

**Ахмедов Дильшот Дильмурадович**

Атмосфера заҳарланишини мониторинг ва  
башоратлаш учун ахборот-таҳлил тизимининг математик  
ва дастурий таъминоти.....5

**Ахмедов Дильшот Дильмурадович**

Математическое и программное обеспечение  
информационно-аналитической системы мониторинга и  
прогнозирования загрязнения атмосферы.....23

**Akhmedov Dilshot Dilmuradovich**

Mathematical and software tools of information-analytical  
system for monitoring and forecasting atmospheric  
pollution.....41

**Эълон қилинган ишлар рўйхати**

Список опубликованных работ  
List of published works.....40

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ  
ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ  
DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

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

**АХМЕДОВ ДИЛЬШОТ ДИЛЬМУРАДОВИЧ**

**АТМОСФЕРА ЗАҲАРЛАНИШИНИ МОНИТОРИНГ ВА  
БАШОРАТЛАШ УЧУН АХБОРОТ-ТАҲЛИЛ ТИЗИМИНИНГ  
МАТЕМАТИК ВА ДАСТУРИЙ ТАЪМИНОТИ**

05.01.04 – Ҳисоблаш машиналари, мажмуалари ва компьютар тармоқларининг математик  
ва дастурий таъминоти

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

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2018.2.PhD/Т684 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университети қошидаги 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 Нормакмад  
техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:** Зайнидинов Хакимжон Насриддинович  
техника фанлари доктори, профессор

Раҳманов Хошим Эрданович  
техника фанлари бўйича фалсафа доктори


**Етакчи ташкилот:** Тошкент давлат транспорт университети

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 Илмий кенгашининг 2021 йил «26» ИЮН соат 1100 даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100200, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43, факс: (99871) 238-65-52, e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (207 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100200, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-65-44).

Диссертация автореферати 2021 йил «14» ИЮН куни тарқатилди.  
(2021 йил «10» ИЮН даги 17 рақамли реестр баённомаси).



  
Р.Х. Хамдамов  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш раиси,  
техника фанлари доктори, профессор



Ф.М. Нуралиев  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш илмий котиби,  
техника фанлари доктори, доцент



М.А. Рахматуллаев  
Илмий даражалар берувчи  
илмий кенгаш қошидаги илмий семинар раиси,  
техника фанлари доктори, профессор

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Жаҳонда атмосферани экологик мониторинг қилиш ахборот-таҳлилий тизимларини ишлаб чиқишга катта эътибор қаратилмоқда. Ушбу илмий-техник йўналишга қизиқиш кўп жиҳатдан экологик хизматлари мутахассисларининг касбий талаблари экологик вазиятларни моделлаштириш, баҳолаш ва башоратлаш компьютер тизимларига янги талаблар қўймоқда. Экологик масалаларни ечиш учун ахборот тизимлар математик ва дастурий таъминотининг янада ривожланиши билан боғлиқ муаммолар АҚШ, Германия, Италия, Малайзия, Австралия, Хитой ва Россия Федерацияси каби саноати ривожланган мамлакатларда доимо долзарб бўлган.

Бутун дунёда атмосфера заҳарланишини таҳлил, мониторинг қилиш ва башоратлаш учун математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш, шунингдек содир бўлаётган экологик жараёнлар ҳақида гетероген тақсимланган маълумотларни йиғиш ва қайта ишлаш усуллари ишлаб чиқиш бўйича мақсадли тадқиқотлар олиб борилмоқда. Мазкур изланишларнинг натижалари экологик тадқиқотларда сифат жиҳатдан янги билимлар шакллантириш, санитар нормаларнинг эҳтимолли бузилишлар ва атмосфера заҳарланиш оқибатларни аниқроқ башоратлаш, шу қаторда янги саноат объектлар қурилиш пайтида нормалар бузилишини башоратлашни таъминлашга қодир.

Ўзбекистон Республикасида мустақилликка эришилгандан сўнг атмосфера ҳавосининг сифатини назорат қилиш, экологик жиҳатдан ноқулай ҳудудларда аҳолининг яшаш шароитларини яхшилаш бўйича чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Шунини таъкидлаш лозимки, 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан «...одамларнинг экологик хавфсиз муҳитда яшашини таъминлаш, ...иқтисодиёт, ижтимоий соҳа, бошқарув тизимига ахборот-коммуникация технологияларини жорий этиш...»<sup>1</sup> вазифалари белгиланган. Мазкур вазифаларни муваффақиятли бажарилиши экологик хизматлар фаолиятини санитар нормаларини тезкор назорат қилиш, техноген фалокатлар ҳақида олдиндан огоҳлантириш, экологик вазиятнинг шароитларини башоратлаш ҳисобига самарадорлигини оширишга йўналтирилган ахборот тизимларни ишлаб чиқиш технологиялари ва математик таъминотини янада ривожлантириш заруратини белгилайди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида»ги, 2017 йил 21 апрелдаги ПФ-5024-сон «Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш соҳасида давлат бошқаруви тизимини такомиллаштириш тўғрисида»ги Фармонлари, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2019 йил 5 сентябрдаги 737-сон

---

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

«Ўзбекистон Республикасида атроф табиий муҳитнинг давлат мониторинги тизимини такомиллаштириш тўғрисида» 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.** Атмосферада зарали аралашмалар тарқалиш жараёнини математик моделлаштириш методологиясини ривожлантириш масалалари S.R. Hanna, G.A. Briggs, E. Weber, R. Verzicco, Г.И. Марчук, А.Е. Алоян, М.Е. Берлянд, И.Э. Наац ва бошқа олимларнинг ишларида ўз аксини топган. Ўзбекистонда атмосферада зарарли моддалар кўчиши ва диффузияси жараёнларини таҳлил қилиш ва башоратлаш масалалари ечиш учун математик моделлар, сонли усуллар, алгоритмлар ва дастурий воситаларни ишлаб чиқиш муаммолари Ф.Б. Абуталиев, С. Каримбердиева, Н. Равшанов, М.Л. Арушанов, Б.С. Тлеумуратоваларнинг илмий асарларида батафсил тадқиқ қилинган. Кўпгина тадқиқотчиларнинг ишлари атмосферанинг экологик мониторинги, маълумотларни амалий геоахборот тизимларла қўллаш учун йиғиш ва қайта ишлаш усуллари, тематик темпорал хариталарни тузиш усуллари, фазовий маълумотларни интеллектуал таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш турдош муаммолари билан боғлиқ. Бу борада, жумладан, М. Vedrenne, P. Zambelli, M. Koubarakis, M. Datscu, Г.В. Аверин, А.А. Любимов, Ю.И. Шокин ва бошқа олимларнинг ишларини таъқидлаб ўтиш мумкин.

Кўпгина илмий асарларнинг таҳлили асосида атмосферада зарарли моддаларнинг тарқалиш жараёни бир қатор омиллар, жумладан иқлим шароитлари, зарарли чиқиндилар манбаларининг тавсифи, зарарли моддаларнинг хусусиятлари ва ҳ.к., таъсирида эканлиги ҳақида хулосага келиш мумкин. Моделлаштириш учун зарур маълумотлар йиғиш ва дастлабки тайёрлаш катта меҳнат ва вақт харажатларни талаб қилади. Шунинг учун кўпгина ҳолатларда атмосферада зарарли аралашмалар тарқалиш жараёнининг ахборот моделини ташкил қилувчи маълумотлар батафсилиги паст даражаси эга бўлганлиги учун моделлаштириш аниқлигида ўз аксини топади. Шу билан ҳозирги пайтгача маълумотларни йиғиш, қайта ишлаш ва визуаллаштириш жараёнларини автоматлаштириш масалалари қисман ечилганлиги ҳақида хулосага келиш мумкин. Атмосферанинг экологик ҳолатини мониторинг ва башоратлаш учун замонавий талабларга жавоб берувчи ахборот-таҳлилий тизимларни яратиш доирасида юқорида келтирилган масалалар етарли даражада ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Муҳаммад ал-Хоразмий номидаги

Тошкент ахборот технологиялари университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасининг А-5-001 «Мураккаб тизимларда иссиқлик ва масса кўчишига доир масалаларни ечиш учун тақсимланган алгоритмларни ва веб-йўналтирилган дастурий воситаларни ишлаб чиқиш» (2015-2017); БВ-Атех-2018-9 «Атмосфера ва сув ресурсларини техноген омилларидан химоя қилиш масалаларини ечиш учун моделлар, тақсимланган ҳисоблаш алгоритмлари ва дастурий воситалар яратиш» (2018-2020) мавзуларидаги лойиҳалари доирасида бажарилган.

**Тадқиқотнинг мақсади** саноат ҳудудлари ер юзаси ва ҳаво муҳитинининг экологик ҳолатини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот-таҳлилий тизимининг математик ва дастурий таъминотини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

атмосферада аралашмалар тарқалиш жараён математик модели ҳамда атроф муҳитда зарарли моддалар заррачаларнинг концентрацияси майдонларини ҳисоблаш алгоритминини ишлаб чиқиш;

зарарли моддалар, метеокузатувлар, экологик мониторинг объектлар, фазовий объектлар ва уларнинг атрибутлари бўйича ахборотни сақлаш ва фойдаланиш учун маълумотлар базасини ишлаб чиқиш;

тақсимланган очик тармоқ манбаларидан метеорологик ва фазовий маълумотларини консолидациялаш усулини ишлаб чиқиш;

тақсимланган тармоқ муҳитида ахборот алмашиш имкониятини таъминлаш учун маълумотларини сериаллаш усулини ишлаб чиқиш;

фазовий-вақт хусусиятларига боғланган ҳолда атмосферада аралашмалар тарқалиш жараёни бўйича маълумотларни картографик визуаллаштириш усулини ишлаб чиқиш;

саноат ҳудудларининг ер юзаси ва ҳаво муҳитини экологик ҳолатини таҳлил қилиш, баҳолаш ва башоратлаш масалаларини ечиш учун веб-йўналтирилган дастурий воситасини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** сифатида ер юзаси ва ҳаво муҳити экологик мониторинг қилиш ахборот-таҳлилий тизими қаралган.

**Тадқиқотнинг предмети** атмосферанинг чегаравий қатламида аралашмаларини тарқалиш жараёнини таҳлил қилиш, баҳолаш ва башоратлаш учун математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлар ва дастурий таъминотини ишлаб чиқиш усуллар ташкил этади.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Диссертацион тадқиқот ишини бажариш давомида тизимли таҳлил, ҳисоблаш математикаси, математик ва компьютерли моделлаштириш, ахборот тизимларини лойиҳалаштириш усуллари, шунингдек дастурий маҳсулот ишлаб чиқиш учун объектга йўналтирилган дастурлашнинг технологияларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

ҳудуднинг метеорологик параметрлари ва физик-географик хусусиятларини ҳисобга олган ҳолда координаталар сферик тизимида атмосферада аралашмаларининг тарқалиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган;

ер усти-ҳаво муҳитидаги зарарли аралашмалар заррачаларининг концентрациясини аниқлаш масаласини иккинчи тартибли аниқликдаги ошқормас схемани қўллашга асосланган сонли ечимининг тежамкор алгоритми ишлаб чиқилган;

тақсимланган тармоқ манбаларидан маълумотларни узатиш протоколлари ва амалий дастурлаш интерфейслари воситасидаги алоқани ҳисобга олган ҳолда метеорологик ва фазовий маълумотларни консолидация қилиш усули ишлаб чиқилган;

вақт ва фазовий характеристикаларга боғлиқ ер усти-ҳаво муҳитининг экологик мониторинг қилиш маълумотларини XML/JSON сериаллаштириш ва картографик визуаллаштириш усуллари ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

саноат ҳудудлар ер сатҳи ва ҳаво муҳити экологик мониторинги учун веб-йўналтирилган ахборот-таҳлилий тизими ишлаб чиқилган;

ишлаб чиқилган дастурий восита ёрдамида саноат объектларининг турдош ҳудудларга ташланаётган чиқиндилар бўйича экологик юкломани баҳолаш ва башоратлаш бўйича ҳисоблашлар ўтказилди, бу эса экологик вазият бузилиш билан боғлиқ хавфларни камайтириш бўйича чора-тадбирларни ўтказилган эди.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги геоахборот моделлаштириш ва ҳисоблаш тажрибалари жараёнида олинган маълумотларни саноат ҳудудларида объектларнинг реал маълумотлари билан, шунингдек экология ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш бўйича ахборот тизимларни ишлаб чиқиш, математик моделлаштириш соҳасидаги мутахассис бўлган бошқа муаллифларнинг тадқиқотларида олинган маълумотлар билан таққослаш орқали изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.**

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, улар бир қатор усуллар, шу қаторда турбулент диффузия яримэмпирик тенгламалар асосида математик моделлаштириш; хусусий ҳосилали кўп ўлчовли дифференциал тенгламаларнинг сонли ечимлари; геоахборот тизимлар технологияларидан фойдаланиб экологик мониторинг ўтказиш ахборот тизимларининг дастурий таъминотини лойиҳалаштириш ва ишлаб чиқиш каби усулларини ривожлантиришга тегишли ҳисса қўшиш билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти санитар нормаларни назорат қилиш ва табиат муҳофазасини амалга ошириш бўйича асосли қарорлар қабул қилишни қўллаб-қувватлаш мақсадида ер юзаси ва ҳаво муҳити экологик мониторинги учун ахборот-таҳлилий тизими қўллаш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Саноат ҳудудларининг атмосфера ҳавосининг экологик ҳолатини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот-таҳлилий тизимининг математик ва дастурий таъминотини қўлла асосида:

атмосферада зарарли моддаларнинг концентрацияси даражаларини ҳисоблаш ва визуаллаштиришни автоматлаштириш учун ахборот, математик



ва дастурий таъминоти Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш Самарқанд ва Сирдарё вилоятлардаги бошқармаларига жорий қилинган (Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат қўмитасининг 2020 йил 2 ноябрдаги 02-02/8-1123-сон маълумотномаси). Натижада атмосферада зарарли моддаларнинг концентрацияси даражасини башоратлаш аниқлиги 8-10% оширишга ҳамда табиат муҳофазаси билан боғлиқ чоратадбирларни ўтказишга қаратилган сарф-харажатларни қисқартиришга имкон берган;

атмосфера заҳарланишини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот-таҳлилий тизимининг математик ва дастурий таъминоти Самарқанд вилоятдаги «Жомбой яшил чироклари» МЧЖ объектларига жорий қилинган (Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат қўмитасининг 2020 йил 2 ноябрдаги 02-02/8-1123-сон маълумотномаси). Жорий қилиниши натижасида ноорганик чанг ва углерод оксиди заррачаларининг концентрацияси даражаларини башорат қилиш аниқлигини 8-10% га ошириш ва санитария меъёрларини бузилиши билан боғлиқ харажатларни 5-7% га камайтириш имкон берган;

атмосфера заҳарланишини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот-таҳлилий тизимининг математик ва дастурий таъминоти Самарқанд вилоятдаги «TALIBARZU BUNYOD» МЧЖ объектларига жорий қилинган (Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш давлат қўмитасининг 2020 йил 2 ноябрдаги 02-02/8-1123-сон маълумотномаси). Жорий қилиниши натижасида органик чанг ва ёниш маҳсулотлари заррачаларининг концентрациясини башоратлаш қилиш аниқлигини 9-11% га оширишга эришилган ва рухсат этилган ташланмалар нормаларининг бузилиши билан боғлиқ молиявий харажатларни 6-8% га камайтириш имкон берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Мазкур тадқиқот натижалари, жумладан 20 та халқаро ва 7 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 39 та илмий иш чоп этилган, жумладан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертациялар асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та илмий мақола, 8 таси хорижий ва 2 таси республика журналларида нашр қилинган, ҳамда 2 та ЭҲМ учун яратилган дастурий воситаларни қайд қилиш гувоҳномалари олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 112 саҳифани ташкил этади.

## **ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ**

**Кириш** қисмида диссертация мавзусининг Ўзбекистон Республикаси фани ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мос равишда долзарблиги ва зарурияти асосланган, мақсад ва вазифалар

шакллантирилган, тадқиқотнинг объекти ва предмети кўрсатилган, унинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, назарий ва амалий аҳамиятлари очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга жорий этиш ҳолатлари, шунингдек, тадқиқот натижаларининг чоп этилганлиги ҳамда диссертация тузилиши ҳақида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг «**Ер юзаси ва ҳаво муҳитини экологик мониторинг қилиш ахборот-таҳлилий тизимларини ишлаб чиқиш ҳолати**» деб номланган биринчи бобида атмосферада зарарли моддаларнинг кўчиши ва диффузияси жараёнларини моделлаштириш учун компьютер тизимларининг математик ва дастурий таъминотини ривожлантириш масалалари бўйича илмий манбаларининг таҳлили келтирилган. Хусусан, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси бўйича амалий масалаларни ечишда ахборот-коммуникация технологияларининг роли ва аҳамияти кўриб чиқишган. Атмосферада аралашмаларнинг тарқалиш жараёни математик моделлаштириш объекти сифатида умумий тавсифи берилган. Атмосферада аралашмалар тарқалиш жараёнини математик моделлаштириш асосий усуллари ҳамда маълум компьютер тизимларнинг батафсил таҳлили ўтказилган.

Илмий ишлар бўйича ўтказилган таҳлил асосида саноат ҳудудларнинг ер юзи ва ҳаво муҳитини экологик мониторинг қилиш масалаларини ечиш учун ахборот-таҳлилий тизимининг (АТТ) математик ва дастурий таъминотини ишлаб чиқилган модел ҳамда мавжуд норматив моделлар бўйича ҳисоблаш имконияти, шунингдек замонавий геоахборот тизимларнинг технологиялари имкониятларини ўзида жамлаган ҳолда ишлаб чиқиш.

Диссертациянинг «**Атмосферанинг чегаравий қатламида аралашмалар тарқалиш жараёнини математик моделлаштириш**» деб номланган иккинчи бобида турбулент диффузия яримэмпирик назариясининг ғояларига таянган ҳолда атмосферада координаталар сферик тизимида зарарли аралашмалар кўчиш ва диффузияси жараёнининг математик модели ҳамда атмосферанинг ерга юзасига яқин қатламида ҳамда ер юзасида зарарли аралашмалар заррачаларнинг концентрациясини аниқлаш масалаларисонли ечимининг тежамкор алгоритм ишлаб чиқилган.

Атмосферада зарарли чиқиндилар тарқалиш жараёнигигиш физик хусусиятлари ҳақида тахминлардан келиб чиқиб ҳамда бир қатор таъсир кўрсатувчи омиллар, хусусан иқлим шароитлари; зарарли моддалар (ЗМ) заррачаларининг чўқиш тезлиги; ер юзасидан ЗМ заррачаларнинг такрорий кўтарилиши; кўриб чиқиладиган соҳа чегараси орқали масса алмашинув ҳамда атмосферанинг ҳаво массасининг ютилиш қобилияти каби омилларини ҳисобга олган ҳолда диссертация тадқиқотида сферик координаталарда кўчиш ва диффузиянинг кўп ўлчовли тенглама ва унга мос равишда бошланғич ва чегаравий шартлар билан ифодаланган қуйидаги модел таклиф қилинган:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{u}{r \sin \psi} \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} + \frac{v}{r} \frac{\partial \theta}{\partial \psi} + w_a \frac{\partial \theta}{\partial r} + \sigma \theta =$$

$$= \mu \left( \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \sin \psi \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \delta Q. \quad (1)$$

$$\theta|_{t=0} = \theta^0; \quad (2)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_0} = \xi(\theta_E - \theta); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_N} = \xi(\theta_E - \theta); \quad (3)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \Big|_{\psi=\psi_0} = \xi(\theta_E - \theta); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \Big|_{\psi=\psi_M} = \xi(\theta_E - \theta); \quad (4)$$

$$-\kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = (\beta \theta - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_L} = \xi(\theta_E - \theta). \quad (5)$$

Бу ерда  $\theta$  – атмосферада зарарли аралашмаси заррачалар концентрацияси ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $\theta^0$  – бошланғич концентрация;  $\theta_E$  – масала ечими соҳасидан ташқарида зарарли моддаларнинг концентрацияси;  $\xi$  – ҳисоб чегараси орқали ташқи муҳит билан масса алмашинув коэффиенти;  $r, \psi, \varphi$  – сферик координаталари;  $M, N, L$  – координата йўналишлар бўйича соҳанинг ўлчамлари (м);  $t$  – вақт (с);  $u, v, w$  – координата йўналишлар бўйича шамол тезлиги (м/с);  $w_a = (w - w_g)$ ;  $w_g$  – аралашма заррачаларининг чўқиш тезлиги (м/с);  $\sigma$  – атмосферасини ютилиш қобилиятининг коэффиенти (1/с);  $\mu, \kappa$  – горизонтал ва вертикал йўналишларида турбулентлик коэффицентлари ( $\text{м}^2/\text{с}$ );  $\delta$  – манбани тасвирлаш учун дельта-функция;  $Q$  – манба қуввати ( $\text{кг}/\text{м}^3\text{с}$ );  $f_0$  – ер сатҳидаги аэрозол заррачалар сарфланиши ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $\beta$  – ЗМ заррачаларининг ер сатҳи юзаси билан таъсирланишнинг коэффиенти.

Сферик координаталар тизимининг танланиши масаланинг физик моҳияти ҳамда ҳисоблаш харажатларини тежаш имконияти борлиги билан изоҳланади.

Қуйилган (1)-(5) масаланинг икки босқичда амалга оширилади: фазовий дискретизация ва ҳосилаларнинг вақт кесимида интеграллаш.

Биринчи босқичда атмосферада ер юзасига яқин қатлам параметризацияси амалга оширилади, бу эса бирламчи метеорологик ва фазовий маълумотлар мавжудлиги ҳамда номаълум ҳадлар учун ёпилиш нисбатлар тўпламини талаб қилади.

Иккинчи босқичда қуйилган (1)-(5) масаласини сонли ечиш учун изланаётган ўзгарувчиларнинг узлуксиз ўзгариш майдонини  $\Delta r, \Delta \psi, \Delta \varphi, \Delta t$  қадамларга мос тўр билан қоплаймиз:

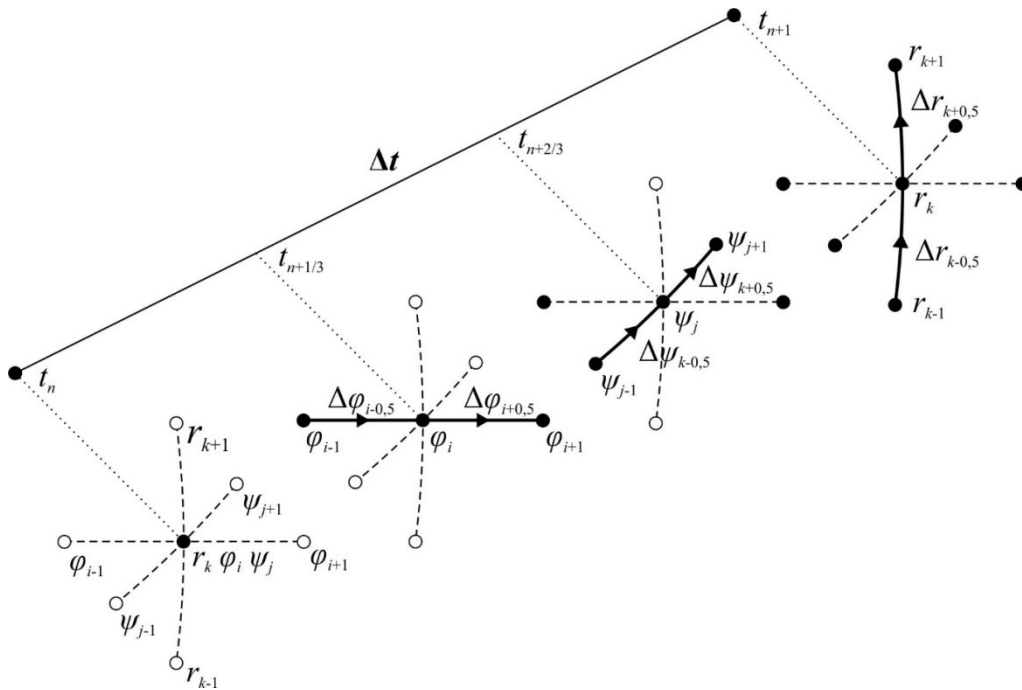
$$\Omega_{r\psi\varphi t} = \left\{ \left( \varphi_i = i\Delta\varphi, \psi_j = j\Delta\psi, r_k = k\Delta r, t_n = n \Delta t \right); \right. \\ \left. i = \overline{0, N}; j = \overline{0, M}; k = \overline{0, L}; n = \overline{0, N_t}; \Delta t = T/N_t \right\}.$$

Кейин, каср қадамлар усулига мувофиқ асл уч ўлчовли масаласи  $[t_n, t_{n+1}]$  элементар вақт оралиғи чегарасида  $\overline{Or}, \overline{\varphi}, \overline{\psi}$  координата йўналишлари бўйлаб субстанция диффузия кўчишига мос содда тузилишга эга тенгламаларгача редукция қилинади. Бунинг учун ошқормас айирмали схемадан фойдаланилади (1-расм).

Аппроксимация натижасида олинган (1)-(5) тенгламаларнинг айирмали аналоглари яқунда чизиқли алгебраик тенгламалар системаси кўринишида ёзишимиз мумкин:

$$a_{i,j,k} \theta_{i-1,j,k}^{n+1/3} - b_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+1/3} + c_{i,j,k} \theta_{i+1,j,k}^{n+1/3} = -d_{i,j,k}; \\ \bar{a}_{i,j,k} \theta_{i,j-1,k}^{n+2/3} - \bar{b}_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+2/3} + \bar{c}_{i,j,k} \theta_{i,j+1,k}^{n+2/3} = -\bar{d}_{i,j,k}; \\ \bar{\bar{a}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k-1}^{n+1} - \bar{\bar{b}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+1} + \bar{\bar{c}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k+1}^{n+1} = -\bar{\bar{d}}_{i,j,k},$$

бунда улар тўғри ва тескари ҳайдаш усули билан кетма-кет ечилади. Диагнола коэффициентлар устунлиги ҳайдаш усули тўғрилиги ҳамда унинг ҳисоблаш хатоликларига бардошлигини белгилайди.



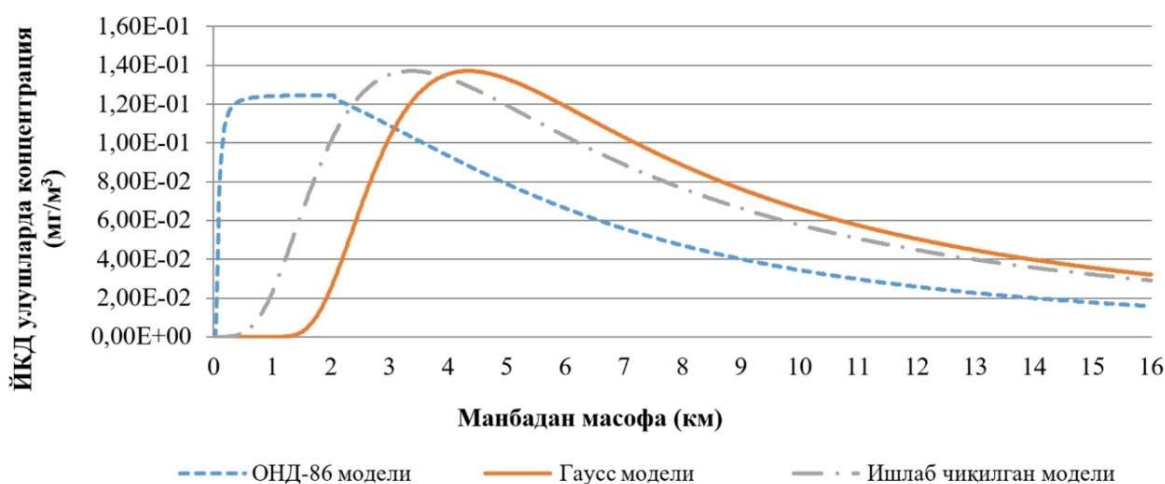
**1-расм. Ошқормас айирмали схеманинг вақт-фазовий шаблони**

$t_{n+1}$  қатлами учун ечим вақт бўйича навбатдаги қатламларида ҳисоблаш учун бошланғич шарт бўлиб хизмат қилади. Алгоритмни  $n$  марта такрорлаб, исталган  $[0, T]$  вақт оралиғи учун (1)-(5) масаласини ечим олиш мумкин, бу эса ўз навбатида кўриляётган ҳудудда экологик юкломани баҳолашнинг бажарилиши имкониятини таъминлайди.

Чизиқли ва шартсиз бардошлиги туфайли чекли айирмали схема яқинлашишга ва вақт ва фазовий ўзгарувчиларга нисбатан иккинчи тартибли аниқлигини эга. Чунки ҳисоблаш операцияларнинг зарур сони тармоқ тугунлар сонига пропорционалдир, яъни ҳисоблаш алгоритми тежамкор ҳисобланади.

Ишлаб чиқилган математик аппарат адекватлиги ҳисоблашлар натижалари экологик экспертизада қўллаш учун тавсия қилинган моделлар бўйича ўхшаш ҳисоблашлар билан таққослаш ёрдамида текширилган (2-расм). Ҳисоблаш тажрибалари саноат объектининг реал маълумотлари ва ҳақиқий иқлимий параметрлари асосида ўтказилган.

Ўтказилган ҳисоблаш тажрибалар натижаларининг таҳлили асосида ишлаб чиқилган модель атмосферада зарарли моддаларнинг қўчиш ва диффузия жараёнини тўғри тасвирлайди ва унинг физик хусусиятларига зид келмайди.



**1-расм. Уч хил математик моделлар бўйича атмосферанинг ерга яқин қатламида NO<sub>2</sub> концентрациясининг тақсимланиши баҳолаш**

Модел ишончлилиги шакллантирилган тенгламалар ва чегаравий шартларнинг масса сақлаш фундаментал қонунига мослиги билан изоҳланади.

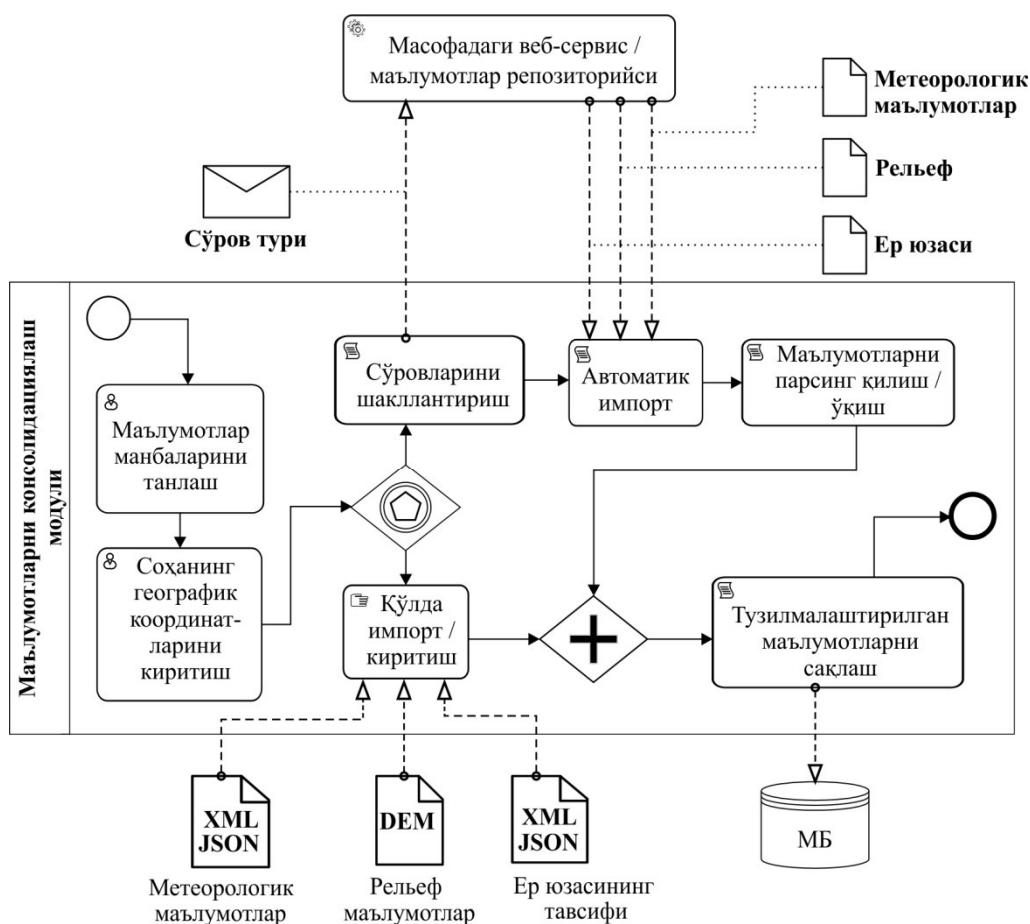
Диссертациянинг «**Тақсимланган тармоқ манбалар фазовий маълумотлари консолидацияси ва қайта ишлашнинг дастурий воситалари**» номли учинчи бобида экологик тадқиқотлар учун геоахборот тизимнинг маълумотлар базаси мазмуни ва тузилишини тавсифи келтирилган. «Борлиқ-алоқа» модели ва маълумотлар базасининг мантиқий моделларининг схемалари келтирилган ва уларни ишлаб чиқишнинг айрим жиҳатлари кўриб чиқилган.

Атмосферанинг экологик мониторингининг ахборот модели ташкил қилувчи маълумотлар синфлари, уларнинг атрибутлар, муносабатлар ва алоқалар расмийлаштиришда мавжуд норматив ҳужжатлар ва маълумотномаларнинг, шу қаторда «Ўзбекистон Республикаси корхоналари

учун атмосфера ҳавосини ифлослантириш манбаларини инвентаризациядан ўтказиш ва унга чиқариб ташланадиган ифлослантирувчи моддаларни меъёрлаш бўйича йўриқнома», ЎзР СанҚН 0293-11-сон «Ўзбекистон Республикаси ҳудудида аҳоли пунктларида атмосфера ҳавосида ифлослантирувчи моддаларнинг йўл қўйиладиган энг кўп даражаси рўйхати» мазмуни ҳисобга олинган.

Бобнинг иккинчи параграфиди тақсимланган тармоқ манбаларидан метеорологик ва фазовий маълумотлар консолидациянинг дастурий усулини ишлаб чиқиш масалалари кўриб чиқилган (3-расм).

Дастурий модул ишининг алгоритми ечилаётган масала ва ҳисоблаш шартларига қараб учта сценарийни кўзда тутди. Биринчи вазиятда дастлабки маълумотларни олиш учун сўровлар танланган етказиб берувчининг веб-хизматига API-сўровлардан фойдаланган ҳолда шакллантирилади. Иккинчисиди – белгиланган ҳудудга энг яқин метеостанция томонидан олинган метеокузатувларнинг соатбай ретроспектив маълумотларнинг (FTP протоколи бўйича) юкланиш бажарилади. Метеорологик ва фазовий маълумотларни йиғиш ва сақлаш учинчи сценарийси уларни фойдаланувчи интерфейси шакллари орқали «кўлда» киритишдан ёки уларни олдиндан тайёрланган (сериаллашган) XML / JSON ҳужжатлардан ахборот ўқиш орқали ярим автомат киритишдан иборат.



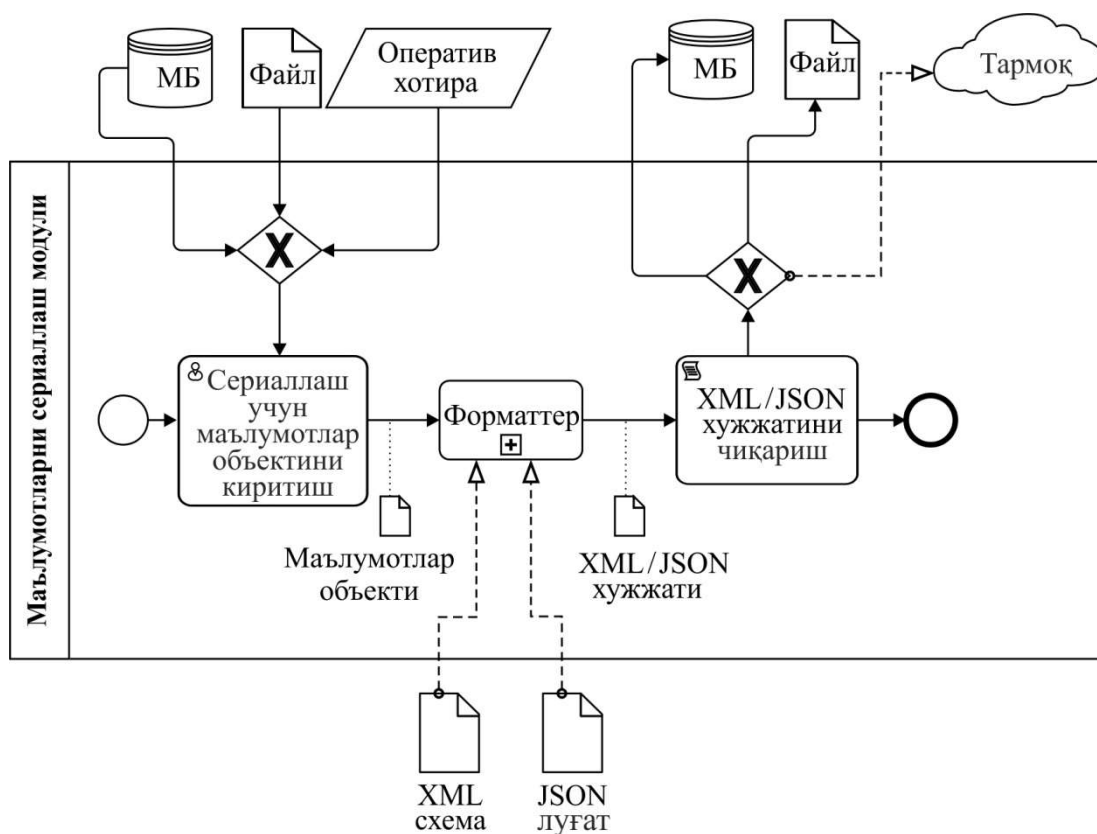
**3-расм. Тақсимланган тармоқ манбалардан метеорологик ва фазовий маълумотларнинг консолидацияси усули**

Маълумотлар етказиб берувчилари сифатида OpenWeatherMap.com, AccuWeather.com ва AerisWeather.com. каби очик веб-хизматлар ва NOAA репозитарийлари ишлатилади.

Бобнинг учинчи параграфида тақсимланган муҳиtida ахборот алмашиш учун маълумотларни сериаллаш усуллари ишлаб чиқиш (4-расм) ҳамда аралашмаларнинг атмосферада тарқалиш жараёни билан боғлиқ маълумотларни картографик визуаллаштиришни масалалари (5-расм) ёритилган.

XML ва JSON форматлар негизида ишлаб чиқилган сериаллаш усули тақсимланган клиент-сервер муҳиtida мураккаб тузилмага маълумотларни ахборот алмашиш имкониятини таъминлайди (4-расм).

Сериаллаш дастурий модулининг жорий версиясида маълумотлар тузилмаларини тасвирлаш XML/JSON схемалари қуйидаги объектлар учун амалга оширилган: атмосферанинг заҳарланиш манбалари, ЗМ ташланиши, тезкор ва ретроспектив метеокузатувлар, шунингдек ЗМ концентрациясининг ҳисобланган майдонлари.

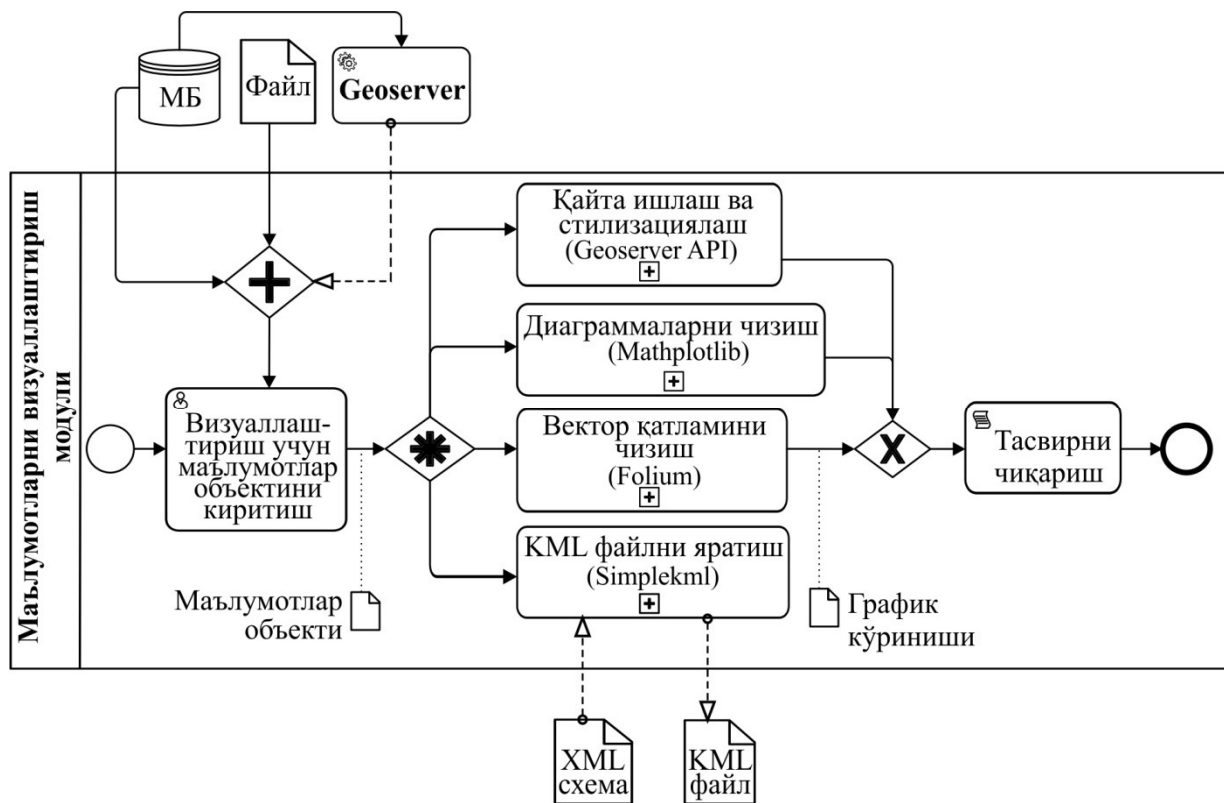


**4-расм. Маълумотлар сериаллаш усули**

Тизим учун ички ҳисобланган маълумотлар турларини сериаллаш усули ишлаб чиқиш ташқи тизимлари билан коммуникация имкониятини таъминлаш билан изоҳланади. Бу эса атмосферада зарарли аралашмалар тарқалиш жараёни моделлаштириш аксарият мавжуд компьютер тизимларида бундай функция йўқлиги туфайли долзарб ҳисобланади.

Ишлаб чиқилган сериаллаш усулининг ўзига хослиги объект-реляцион ўзгаришнинг аниқ технологиясига боғланиш имконияти йўқилигидан иборат.

Мазкур параграфда кўриб чиқилган иккинчи дастурий усул ер юзи ва ҳаво муҳитининг экологик мониторинг маълумотларини картографик визуаллаштиришни бажариш учун мўлжалланган (5-расм).



**5-расм. Маълумотларни картографик визуаллаштириш усули**

Маълум дастурий модул кўринишида амалга оширилган таклиф қилинган усул 3М концентрацияси майдонларини ҳисоблаш натижаларини қуйидаги тўрт усулда визуаллаштириш имконини беради: 1) «Folium» кутубхонасидан фойдаланган ҳолда жадаллик хариталарини куриш; 2) «Matplotlib» кутубхонасидан фойдаланган ҳолда анъанавий диаграммаларни шакллантириш; 3) «Geoserver» геоахборот тизими томонидан WMS протоколи бўйича веб-қатламни юклаш ва чиқариш; 4) бошқа геоахборот тизимларда, хусусан Google Earth дастурида маълумотларни визуаллаштириш учун KML-файллар генерацияси.

Диссертациянинг «**Атмосферанинг экологик ҳолатини мониторинг қилиш ва башоратлаш учун ахборот-таҳлилий тизими**» деб номланган якуний тўртинчи бобида ахборот-таҳлилий тизимни дастурий амалга оширишнинг тавсифи ва асосий жиҳатлари келтирилган.

Веб-иловани амалга ошириш кенг тарқалган уч бўғинли архитектура модели бўйича амалга оширилган эди. Ушбу модель қуйидаги тузилмавий бирликлар мавжудлигини кўзда тутуди: фойдаланувчи интерфейси учун жавоб берувчи такдим қилиш қатлами; алгоритмлар ва бизнес-мантикни

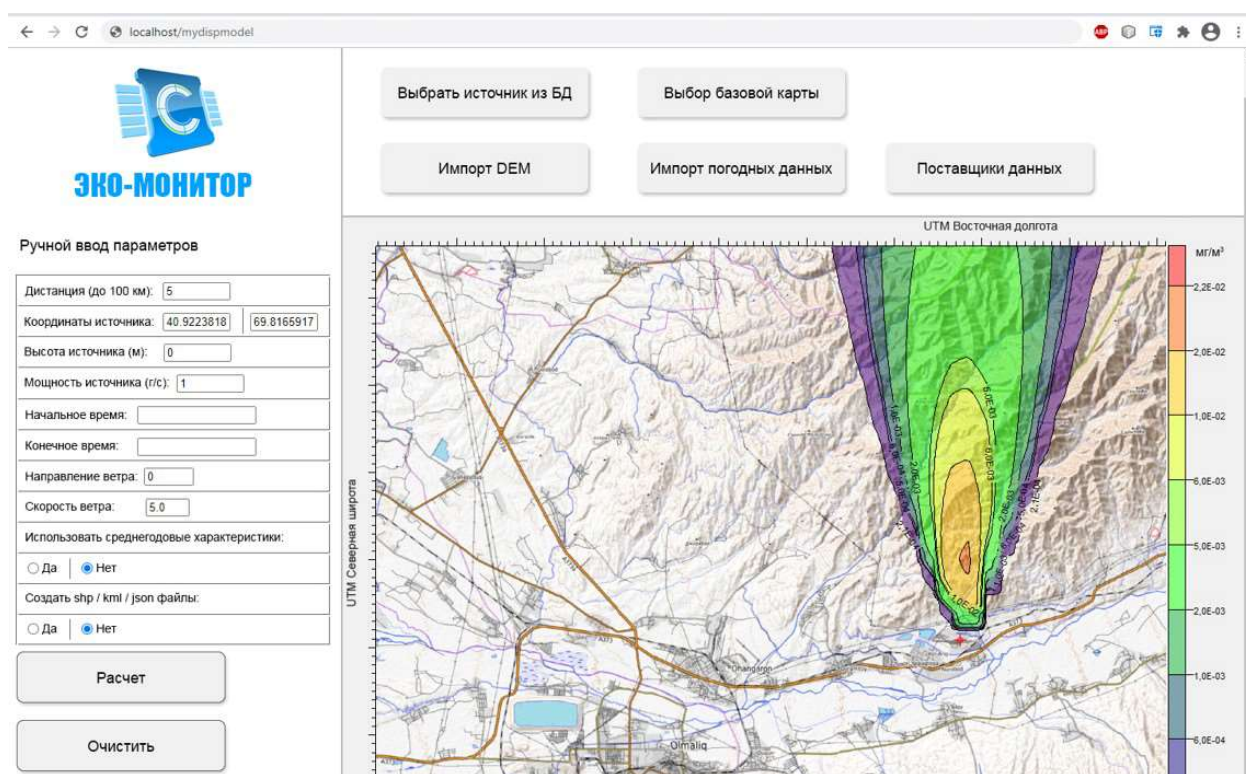


амалга оширувчи илова қатлами; маълумотлардан фойдаланиш ва сақлашни таъминловчи ресурсларни бошқариш қатлами.

Веб-иловани лойиҳалаштиришда платформа мустақилиги, ишлаш самарадорлиги, конфигурацияланиши, кенгайтириш имконияти, интерфейслар ва протоколлар унификацияси, компонентлар автономлиги ва алмаштириш, тестлаш имкониятлари, фойдаланиш ва техник хизмат кўрсатиш қулайлигига бўлган талаблар ҳисобга олинган.

Ишлаб чиқишнинг технологик стеки ўз ичига python 3.7 дастурлаш тили, веб-иловалар яратиш учун Django фреймворки, Postgis кенгайтмаси эга Postgres маълумотлар базасини бошқариш тизими, геомаълумотларни бошқариш, чоп этиш ва кешлаш сервери, метеорологик ва картографик веб-сервислар билан ишлаш учун python кутубхоналарининг тўпламлари, график python кутубхоналари, шунингдек геоахборот контентини бошқариш тизими GeoNode олади. Дастурий кодни ёзиш учун Visual Studio Code интеграллашган ишлаб чиқиш муҳити қўлланилган.

Иккинчи параграфда веб-илованинг фойдаланувчи интерфейси келтирилган (6-расм).



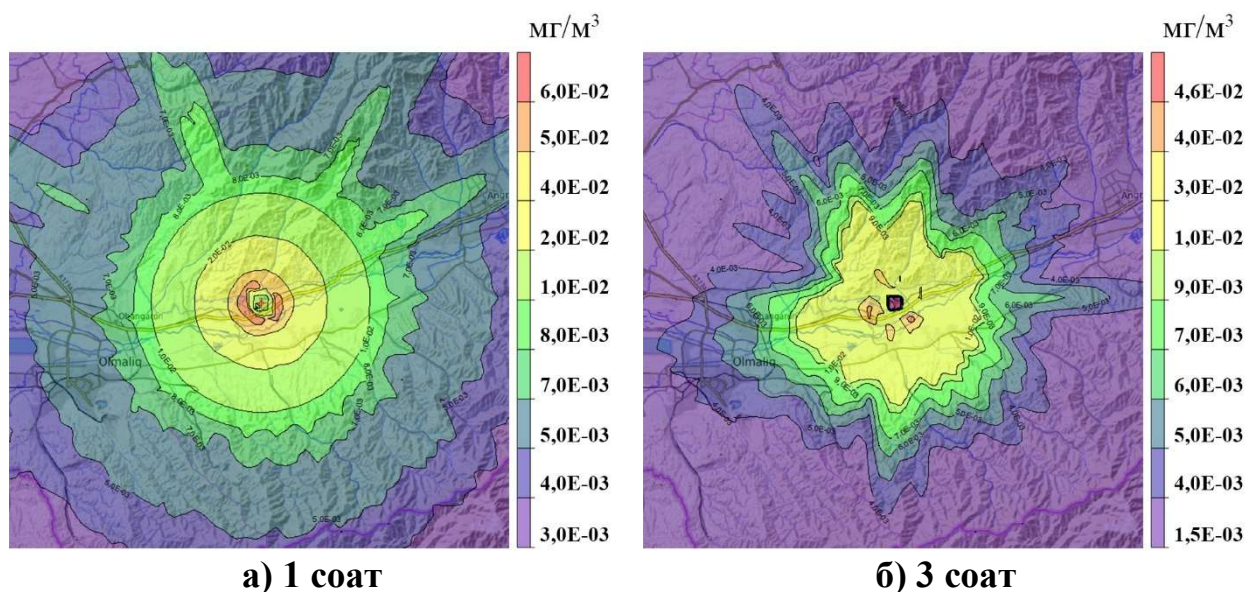
**6-расм. «Эко-Монитор» АТТ фойдаланувчи интерфейси**

Асосий функционал имкониятларига қуйидагилар киради: харитани автоматик юклаш ва аниқ жойлашуви; фазовий объектлар ва атрибутларни импорт қилиш; маълумотлар базасида географик координаталар бўйича метеокузатувларнинг маълумотларини автоматик излаш, юклаш ва сақлаш; кўрилаётган соҳа рельефининг рақамли моделини автоматик излаш ва юклаш; кўрилаётган соҳа чегараларида атмосферада зарарли моддаларнинг

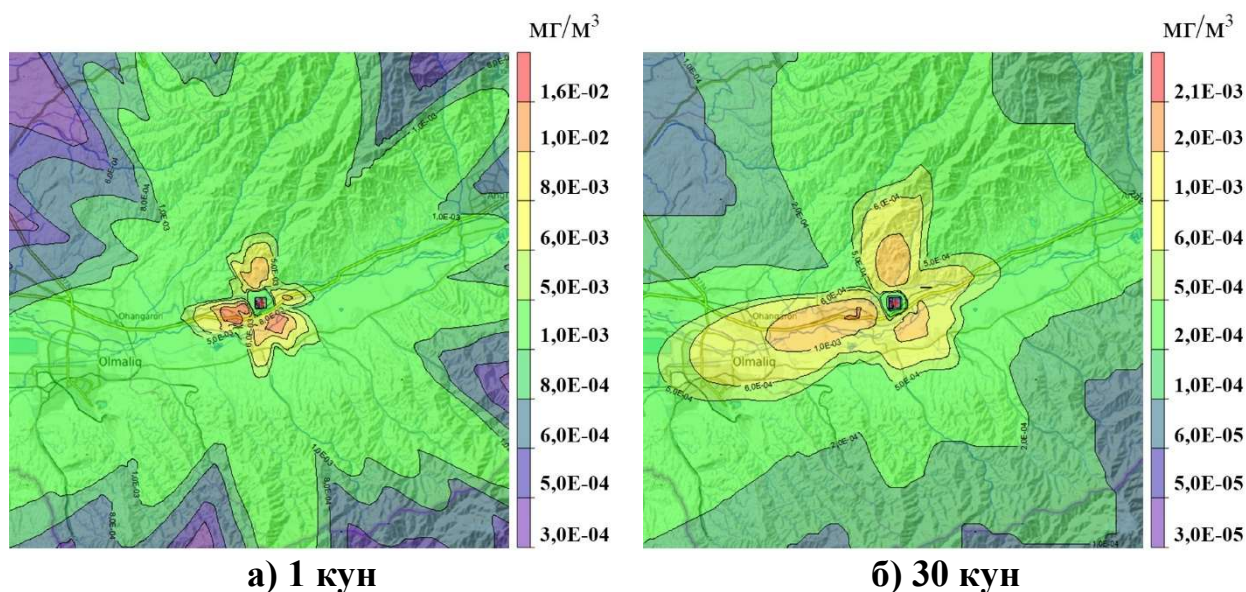
концентрациясини ҳисоблаш; интерактив харитада ярим шаффоф қатламлар кўринишида ҳисоблаш натижаларини визуаллаштириш; ҳисоблаш тажрибаларнинг тарихини маълумотлар базасида сақлаш.

Веб-иловинг бошқарув бўлими маълумотлар базасини тизимнинг ҳар хил турдаги маълумотлар, маълумотлар импорти/экпорти параметралири, фойдаланувчиларни бошқаришни созлаш билан тўлдиришга оид хизмат вазфиларини ўз ичига олади.

Учинчи парагарфда турли метеошароитларда туташ ҳудудларга саноат объектининг чиқиндиларидан экологик юкламанинг тажрибавий таҳлил натижалари келтирилган (7-, 8-расмлар).



7-расм.  $PM_{10}$  концентрациясининг тақсимланиши



8-расм.  $PM_{10}$  концентрациясининг тақсимланиши

Тажрибалар натижаларининг таҳлили шуни кўрсатадики, атмосферада ЗМ заррачаларининг тарқалиш у ёки бу шароитлар пайдо бўлишида асосий омил бўлиб шамоллар такрорланиши ва тезлиги ҳисобланар экан. Ўтказилган ҳисоблашларда майда дисперсли аэрозол аралашманинг концентрацияси белгиланган санитар нормалардан деярли ошгаман бўлсада, кўрилатган ҳудудда кўпроқ учрайдиган 1-3 м/с тезликдаги мўтадил шамолларда ЗМ заррачалар аккумуляцияси жараёнлари фаол равишда ривожланиши мумкин.

ЗМ заррачалари концентрацияси ошиши ёз бошидан сентябрь охиригача бўлган даврда ноқулай об-ҳаво шароитларда кузатилади. Унда ютилиш коэффиценти ҳатто тонгга яқин вақтларда ҳам минимал қийматларга эга бўлади. Аксинча, ЗМ заррачаларнинг максимал ютилиши баҳорда – мартдан – майгача, шунингдек кеч кузда, яъни ёғингарчилик нисбатан кўп бўлган пайтларда, содир бўлади.

Ўртача бир йилда Охангарон водийси учун зарарли моддалар 15% гача ҳажми атмосфера ёғинлари билан ювилиб кетилиши ҳосдир. Аммо минтақада ЗМ концентрацияси даражасига таъсир қилувчи асосий омил бўлиб атмосферанинг ер юзига яқин қатламида шамол оқимларнинг жадаллиги хизмат қилади.

## ХУЛОСА

«Атмосфера заҳарланишини мониторинг ва башоратлаш учун ахборот-таҳлил тизимининг математик ва дастурий таъминоти» мавзусидаги диссертация иши доирасида олинган асосий илмий натижалар куйидагилардан иборат:

1. Атмосферада зарарли аралашмалар тарқалиш физик жараённинг асосий хусусиятлари ҳамда унинг вақт ва фазовий эволюцияси характерига таъсир кўрсатувчи асосий омиллари тадқиқ қилинган.

2. Атмосферада зарарли аралашмалар тарқалиш жараёнини компьютер моделлаштириш муаммолари бўйича илмий манбалар ва уларин ечишга бўлган ёндашувларнинг батафсил таҳлили амалга оширилган.

3. Мавжуд математик моделлар, ҳисоблаш алгоритмлар ва компьютер дастурларнинг афзалликлари ва чекловлари атмосфера экологик ҳолатини мониторинг қилиш башоратлашнинг амалий масалалар учиш нуқтаи назаридан самарадорлиги тадқиқ қилинган.

4. Ҳудуднинг метеорологик шароитлари ва географик хусусиятлари, атмосферанинг ютилиш қобилияти, зарарли моддаларнинг чўқиш тезлиги ва уларнинг ер юзаси билан таъсирланиши, кўриб чиқиладиган соҳа чегараси орқали масса алмашинув каби омилларини ҳисобга олган ҳолда сферик координаталарда атмосферанинг чегаравий қатламида зарарли моддаларнинг тарқалиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган.

5. Вақт ва фазовий ўзгарувчиларга нисбатан иккинчи тартибли аниқликдаги ошқормас чекли айирмали схемани қўллашда асосланган зарарли моддаларнинг заррачалар концентрацияси тарқалишини баҳолаш ва

башоартлаш масалалари ечишнинг самарали сонли алгоритми ишлаб чиқилган.

6. Заҳарловчи моддалар, метеокузатувлар, экологик мониторинг қилиш объектлари, фазовий объектлар ва уларнинг атрибутлари бўйича ахборотни сақлаш ва кўп маротаба фойдаланиш учун маълумотлар базасининг тузилмаси ишлаб чиқилган.

7. Маълумотларни излаш, йиғиш ва бирламчи қайта ишлаш бўйича мунтазам операцияларни автоматлаштиришга имкон берувчи очиқ тармоқ манбаларидан метеорологик ва фазовий маълумотларини консолидация қилиш усули ишлаб чиқилган.

8. Таксимланган клиент-серверли муҳитда ахборот алмашинувини таъминловчи мураккаб тузилишга экаг сериаллаш усули ишлаб чиқилган.

9. Вақт ва фазовий хусусиятларига боғланган ҳолда атмосферада аралашмалар тарқалиши жараёни бўйича маълумотларни картографик визуаллаштириш усули ишлаб чиқилган.

10. Саноат ҳудудларнинг ер юзи ва ҳаво муҳитининг экологик ҳолатини мониторинг қилиш ва башоратлаш масалаларини ечиш учун веб-йўналтирилган дастурий восита ишлаб чиқилган.

11. Ишлаб чиқилган математик таъминоти ва дастурий воситалар Экология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш Самарқанд ва Сирдарё вилоятларидаги бошқармаларига шунингдек «Жомбой яшил чироклари» МЧЖ ва «TALIBARZU BUNYOD» МЧЖ объектларига жорий қилинган жорий қилинган. Натижада атмосферада зарарли моддаларнинг концентрацияси даражасини башоратлаш аниқлиги 8-10% га ошириш ва санитария меъёрларини бузилиши билан боғлиқ харажатларни 5-7% га камайтириш имконини таъминлаган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

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

**АХМЕДОВ ДИЛЬШОТ ДИЛЬМУРАДОВИЧ**

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
АТМОСФЕРЫ**

05.01.04 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,  
комплексов и компьютерных сетей

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

**Ташкент – 2021**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2018.2.PhD/T684.

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.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

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

**Официальные оппоненты:** Зайнидинов Хакимжон Насриддинович  
доктор технических наук, профессор

Рахманов Хошим Эрданович  
доктор философии по техническим наукам


**Ведущая организация:** Ташкентский государственный транспортный университет


Защита диссертации состоится «26» сентября 2021 г. в 11<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100200, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. 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 № 207). (Адрес: 100200, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-65-44).

Автореферат диссертации разослан «14» сентября 2021 года.  
(протокол рассылки № 17 от «10» сентября 2021 г.).



  
Р.Х. Хамдамов  
Председатель научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, профессор

  
Ф.М. Нуралиев  
Ученый секретарь научного совета  
по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, доцент

  
М.А. Рахматуллаев  
Председатель научного семинара  
при научном совете  
по присуждению ученых степеней,  
доктор технических наук, профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире уделяется большое внимание разработке информационно-аналитических систем экологического мониторинга атмосферы. Интерес к данному научно-техническому направлению во многом обусловлен тем, что профессиональные запросы специалистов природоохранных служб выдвигают новые требования к возможностям компьютерных систем моделирования, оценки и прогноза экологических ситуаций. Проблемы, связанные с дальнейшим развитием математического и программного обеспечения информационных систем для решения экологических задач, неизменно актуальны в промышленно развитых странах, таких как США, Германия, Италия, Малайзия, Австралия, Китай и Российская Федерация.

Во всём мире проводятся целевые исследования по разработке математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств для анализа, мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы, а также методов консолидации и обработки разнородных распределенных данных о происходящих экологических процессах. Результаты этих исследований способны обеспечить получение качественно новых знаний в экологических исследованиях, более точное прогнозирование возможных нарушений санитарных норм и последствий загрязнения атмосферы, в том числе, при возведении новых промышленных объектов.

В Республике Узбекистан с момента обретения независимости предпринимаются широкомасштабные меры по контролю качества атмосферного воздуха, улучшению жизненных условий населения на экологически неблагоприятных территориях. В стратегии действий по развитию Республики Узбекистан в 2017-2021 годах отмечен ряд задач, в частности «...обеспечение экологической безопасности проживания людей, внедрение информационно-коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, системы управления...»<sup>1</sup>. Успешное выполнение указанных задач определяет востребованность дальнейшего развития математического обеспечения и технологий разработки информационных систем, ориентированных на повышение эффективности деятельности экологических служб за счет оперативного контроля санитарных норм, раннего предупреждения о техногенных катаклизмах, прогнозирования условий экологической обстановки.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан», №УП-5024 от 21 апреля 2017 года «О совершенствовании системы государственного управления в сфере экологии и охраны окружающей среды»,

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан №УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан №737 от 5 сентября 2019 года «О совершенствовании системы мониторинга окружающей природной среды в Республики Узбекистан» и другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

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

**Степень изученности проблемы.** Вопросам развития методологии математического моделирования процесса распространения вредных примесей в атмосфере посвящены работы многих зарубежных ученых, таких как S.R. Hanna, G.A. Briggs, E. Weber, R. Verzicco, Г.И. Марчук, А.Е. Алоян, М.Е. Берлянд, И.Э. Наац и других. В Узбекистане, проблемы разработки математических моделей, численных методов, алгоритмов и программных средств для решения задач анализа и прогноза процессов переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере подробно исследованы в работах Ф.Б. Абуталиева, С. Каримбердиевой, Н. Равшанова, М.Л. Арушанова, Б.С. Глеумуратовой. Труды значительного числа исследователей связаны со смежными проблемами разработки компьютерных систем экологического мониторинга атмосферы, методов сбора и обработки данных для использования в прикладных геоинформационных системах, методов построения тематических темпоральных карт, методов интеллектуального анализа пространственных данных. Здесь, в частности, можно отметить работы M. Vedrenne, P. Zambelli, M. Koubarakis, M. Datcu, Г.В. Аверина, А.А. Любимова, Ю.И. Шокина и других ученых.

Из анализа многочисленных научных работ можно сделать вывод о том, что процесс рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере подвержен влиянию многих факторов: метеоусловия, рельеф местности, характеристики источников вредных выбросов, свойства загрязняющих веществ и т.д. Сбор и предварительная подготовка данных, необходимых для моделирования, требуют значительных трудовых и временных затрат. Поэтому во многих случаях данные, составляющие информационную модель процесса распространения вредных примесей в атмосфере, имеют низкий уровень детализации, что заметно сказывается на точности моделирования. То есть, можно сделать вывод о том, что задачи автоматизации процессов сбора и обработки и визуализации данных, до настоящего времени, решаются фрагментарно. В контексте создания информационно-аналитических систем для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы, отвечающих современным требованиям эти вопросы недостаточно изучены.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планами научно-исследовательских работ Научно-инновационного центра информационно-коммуникационных технологий при



Ташкентском университете информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проектов: А-5-001 «Разработка распределённых алгоритмов и веб-ориентированных программных средств для решения задач тепломассопереноса в сложных системах» (2015-2017); БВ-Атех-2018-9 «Разработка моделей, алгоритмов распределённых вычислений и программных средств для решения задач защиты атмосферы и водных ресурсов от техногенных факторов» (2018-2020).

**Целью исследования** является разработка математического и программного обеспечения информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования экологического состояния наземно-воздушной среды промышленных территорий.

**Задачи исследования:**

разработка математической модели процесса распространения примесей в атмосфере и вычислительного алгоритма расчета полей концентрации частиц загрязняющих веществ в окружающей среде;

разработка базы данных для хранения и использования информации по загрязняющим веществам, метеонаблюдениям, объектам экологического мониторинга, пространственным объектам и их атрибутам;

разработка метода консолидации метеорологических и пространственных данных из распределённых открытых сетевых источников;

разработка метода сериализации данных для обеспечения возможности информационного обмена в распределённой сетевой среде;

разработка метода картографической визуализации данных по процессу распространения примесей в атмосфере с привязкой к пространственно-временным характеристикам;

разработка веб-ориентированного программного средства для решения задач анализа, оценки и прогнозирования экологического состояния наземно-воздушной среды промышленных территорий.

**Объектом исследования** является информационно-аналитическая система экологического мониторинга наземно-воздушной среды.

**Предметом исследования** являются математические модели, вычислительные алгоритмы и методы разработки программного обеспечения для анализа, оценки и прогнозирования процесса распространения примесей в приземном слое атмосферы.

**Методы исследования.** В ходе исследования применялись методы системного анализа, вычислительной математики, математического и компьютерного моделирования, проектирования информационных систем, а также технологии объектно-ориентированного программирования для разработки программных продуктов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана математическая модель процесса распространения примесей в атмосфере в сферической системе координат с учетом метеорологических параметров и физико-географических характеристик местности;

разработан экономичный алгоритм численного решения задачи по определению концентрации частиц вредных примесей в наземно-воздушной среде, основанный на применении неявной разностной схемы второго порядка точности;

разработан метод консолидации метеорологических и пространственных данных из распределенных сетевых источников с учетом коммуникации посредством протоколов передачи данных и интерфейсов прикладного программирования;

разработаны методы XML/JSON сериализации и картографической визуализации данных экологического мониторинга наземно-воздушной среды с привязкой к пространственно-временным характеристикам.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана веб-ориентированная информационно-аналитическая система для экологического мониторинга наземно-воздушной среды промышленных территорий;

с помощью разработанного программного средства были проведены расчеты по оценке и прогнозированию экологической нагрузки от выбросов промышленных объектов на прилегающие территории, что позволило выработать обоснованные управленческие решения на проведение мероприятий по минимизации рисков нарушения экологической ситуации.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается путем сопоставления результатов, полученных в ходе вычислительных экспериментов и геоинформационного моделирования с реальными данными объектов на промышленных территориях, а также с результатами, полученными в работах других авторов – специалистов в областях математического моделирования, разработки информационных систем, экологии и защиты окружающей среды.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что они вносят определенный вклад в развитие методов: математического моделирования на основе полуэмпирических уравнений турбулентной диффузии; численного решения многомерных дифференциальных уравнений в частных производных; проектирования и разработки программного обеспечения информационных систем экологического мониторинга с использованием ГИС-технологий.

Практическая значимость результатов исследования объясняется применением информационно-аналитической системы для экологического мониторинга наземно-воздушной среды промышленных территорий с целью контроля санитарных норм и поддержки принятия обоснованных решений по реализации природоохранных мероприятий.

**Внедрение результатов исследования.** На основе применения математического и программного обеспечения информационно-аналитической системы для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы промышленных регионов:

информационное, математическое и программное обеспечение для автоматизации расчетов и визуализации уровней концентрации вредных веществ в атмосфере внедрены в Управлениях по экологии и охране окружающей среды Самаркандской и Сырдарьинской областей (Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды №02-02/8-1123 от 2 ноября 2020 года). В результате обеспечена возможность повысить точность прогнозирования уровней концентрации вредных веществ в атмосфере на 8-10% и снизить затраты на проведение природоохранных мероприятий;

математическое и программное обеспечение информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы внедрены на объектах ООО «Жомбой яшил чироклари» (Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды №02-02/8-1123 от 2 ноября 2020 года). В результате внедрения обеспечена возможность повысить точность прогнозирования уровней концентрации частиц неорганической пыли и оксида углерода на 8-10% и снизить затраты, связанные с нарушением санитарных норм, на 5-7%;

математическое и программное обеспечение информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы внедрены на объектах ООО «TALIBARZU BUNYOD» в Самаркандской области (Справка Государственного комитета по экологии и охране окружающей среды №02-02/8-1123 от 2 ноября 2020 года). В результате внедрения достигнуто повышение точности прогнозирования концентрации частиц органической пыли и продуктов сжигания топлива на 9-11% и обеспечена возможность снижения финансовых затрат, связанных с нарушением норм предельно-допустимых выбросов, на 6-8%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты данного исследования были обсуждены на 20 международных и 7 республиканских научных конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 39 научных работ, из которых 10 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций, в том числе 8 в зарубежных и 2 в республиканских журналах, а также получены 2 свидетельства об официальной регистрации программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 112 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, указаны объект и предмет исследования, определено соответствие темы исследования

приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложены научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об опубликованности результатов исследования и их внедрении в деятельности хозяйствующих субъектов.

В первой главе **«Состояние вопросов разработки информационно-аналитических систем экологического мониторинга наземно-воздушной среды»** приведен анализ литературных источников по вопросам разработки и развития математического и программного обеспечения компьютерных систем для моделирования процессов переноса и диффузии загрязняющих веществ в атмосфере.

В частности, обсуждены роль и значение информационно-коммуникационных технологий в решении практических задач экологии и охраны окружающей среды. Дана общая характеристика процесса распространения примесей в атмосфере как объекта математического моделирования. Проведен подробный анализ основных методов математического моделирования процесса распространения примесей в атмосфере, а также соответствующих компьютерных систем.

На основании проведенного анализа научных работ обоснована необходимость разработки математического и программного обеспечения информационно-аналитической системы (ИАС) для решения задач экологического мониторинга наземно-воздушной среды промышленных территорий, сочетающей в себе возможности расчетов, как по разработанной гидродинамической модели, так и по существующим нормативным моделям, а также возможности современных ГИС-технологий.

Во второй главе **«Математическое моделирование процесса распространения примесей в пограничном слое атмосферы»** с опорой на положения полуэмпирической теории турбулентной диффузии, разработаны математическая модель процесса переноса и диффузии вредных примесей в атмосфере в сферической системе координат, а также экономичный алгоритм численного решения задачи по определению концентрации частиц вредных примесей в приземном слое атмосферы и на подстилающей поверхности.

Исходя из предположений о физическом характере процесса распространения вредных выбросов в атмосфере и учитывая такие воздействующие факторы как: метеоусловия; скорость осаждения частиц загрязняющих веществ (ЗВ); повторный вынос частиц ЗВ с подстилающей поверхности; массообмен сквозь границы рассматриваемой области и поглощающая способность воздушной массы атмосферы, в диссертационном исследовании предлагается следующая модель, описываемая многомерным уравнением переноса и диффузии в сферических координатах:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{u}{r \sin \psi} \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} + \frac{v}{r} \frac{\partial \theta}{\partial \psi} + w_a \frac{\partial \theta}{\partial r} + \sigma \theta = \\ & = \mu \left( \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r^2 \sin^2 \psi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left( \sin \psi \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \right) + \delta Q. \end{aligned} \quad (1)$$

с соответствующими начальными и граничными условиями

$$\theta|_{t=0} = \theta^0; \quad (2)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_0} = \xi(\theta_E - \theta); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \Big|_{\varphi=\varphi_N} = \xi(\theta_E - \theta); \quad (3)$$

$$-\mu \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \Big|_{\psi=\psi_0} = \xi(\theta_E - \theta); \quad \mu \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \Big|_{\psi=\psi_M} = \xi(\theta_E - \theta); \quad (4)$$

$$-\kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = (\beta\theta - f_0); \quad \kappa \frac{\partial \theta}{\partial r} \Big|_{r=r_L} = \xi(\theta_E - \theta). \quad (5)$$

Здесь  $\theta$  – концентрация частиц вредной примеси в атмосфере ( $\text{кг}/\text{м}^3$ );  $\theta^0$  – первичная концентрация;  $\theta_E$  – концентрация, поступающая через границы рассматриваемой области;  $\xi$  – коэффициент массообмена через границы области;  $r, \psi, \varphi$  – сферические координаты;  $M, N, L$  – размеры области (м);  $t$  – время (с);  $u, v, w$  – соответственно, составляющие вектора скорости ветра (м/с) по направлениям;  $w_a = (w - w_g)$ ;  $w_g$  – скорость оседания частиц примеси (м/с);  $\sigma$  – коэффициент поглощающей способности атмосферы (1/с);  $\mu, \kappa$  – коэффициенты турбулентности в горизонтальном и вертикальном направлениях ( $\text{м}^2/\text{с}$ );  $\delta$  – дельта-функция для описания источника;  $Q$  – мощность источника ( $\text{кг}/\text{м}^3\text{с}$ );  $f_0$  – объемный расход аэрозольных частиц с подстилающей поверхности ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $\beta$  – коэффициент взаимодействия частиц ЗВ с подстилающей поверхностью.

Выбор в пользу криволинейной системы координат аргументируется более точным соответствием физическому смыслу задачи и возможностью экономии вычислительных затрат.

Решение поставленной задачи (1)-(5), выполняется в два этапа: пространственная дискретизация и временное интегрирование производных.

На первом этапе осуществляется параметризация приземного слоя атмосферы, что требует наличия исходных метеорологических и пространственных данных, а также набора замыкающих соотношений для неизвестных членов.

На втором этапе для численного решения поставленной задачи (1)-(5), область непрерывного изменения искомым переменных заменяется на сеточную с шагами  $\Delta r, \Delta \psi, \Delta \varphi, \Delta t$ :

$$\Omega_{r\psi\varphi t} = \left\{ \left( \varphi_i = i\Delta\varphi, \psi_j = j\Delta\psi, r_k = k\Delta r, t_n = n \Delta t \right); \right. \\ \left. i = \overline{0, N}; j = \overline{0, M}; k = \overline{0, L}; n = \overline{0, N_t}; \Delta t = T/N_t \right\}.$$

Далее, согласно методу дробных шагов, исходная трехмерная задача редуцируется до уравнений более простой структуры, соответствующих диффузионному переносу субстанции вдоль координатных направлений  $\vec{Or}, \vec{\varphi}, \vec{\psi}$ , в пределах элементарного временного интервала  $[t_n, t_{n+1}]$ . Для этого используется неявная разностная схема со вторым порядком точности

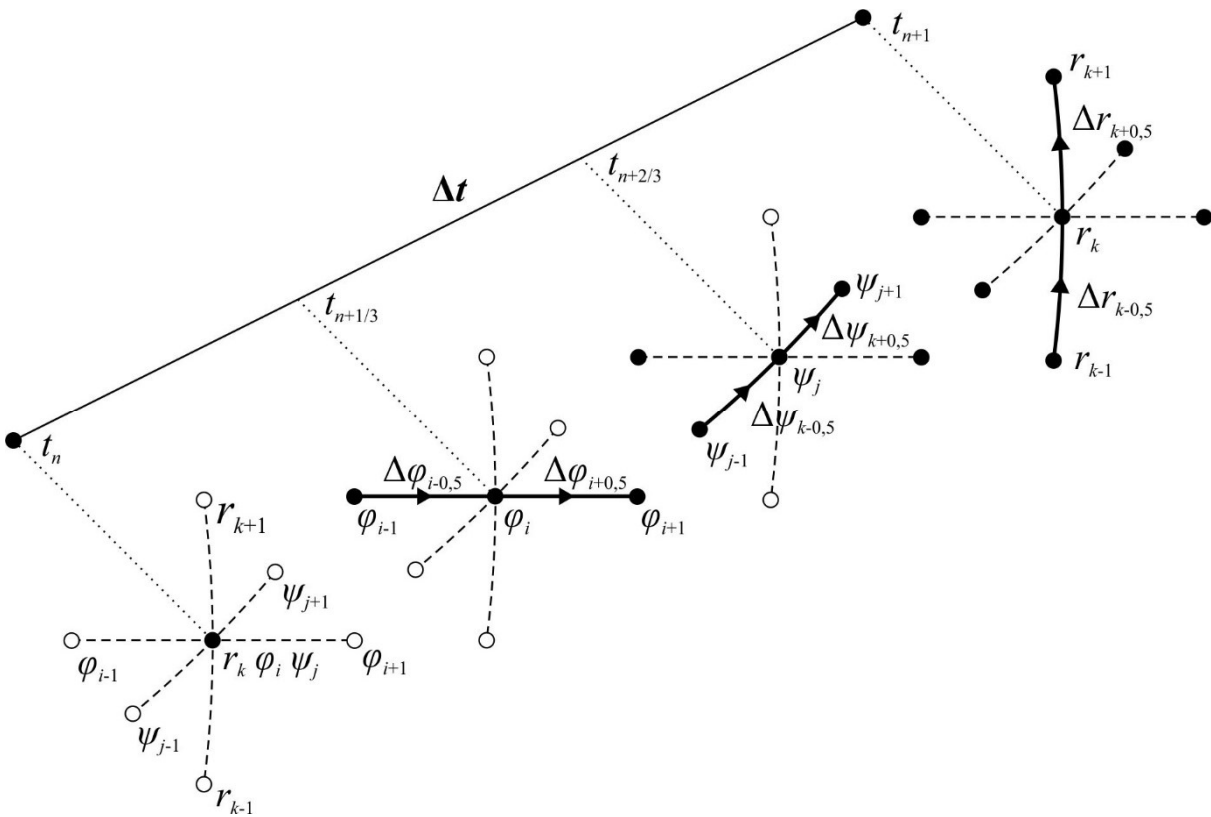
по времени и пространственным переменным (рис. 1).

Полученные в результате аппроксимации разностные аналоги уравнений (1)-(5) в итоге сводятся к системам линейных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned}
 a_{i,j,k} \theta_{i-1,j,k}^{n+1/3} - b_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+1/3} + c_{i,j,k} \theta_{i+1,j,k}^{n+1/3} &= -d_{i,j,k}; \\
 \bar{a}_{i,j,k} \theta_{i,j-1,k}^{n+2/3} - \bar{b}_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+2/3} + \bar{c}_{i,j,k} \theta_{i,j+1,k}^{n+2/3} &= -\bar{d}_{i,j,k}; \\
 \overline{\bar{a}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k-1}^{n+1} - \overline{\bar{b}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k}^{n+1} + \overline{\bar{c}}_{i,j,k} \theta_{i,j,k+1}^{n+1} &= -\overline{\bar{d}}_{i,j,k},
 \end{aligned}$$

которые последовательно решаются методом прямой и обратной прогонки.

Преобладание диагональных коэффициентов обуславливает как корректность метода прогонки, так и его устойчивость к погрешностям вычислительного характера.



**Рис. 1. Пространственно-временной шаблон неявной разностной схемы**

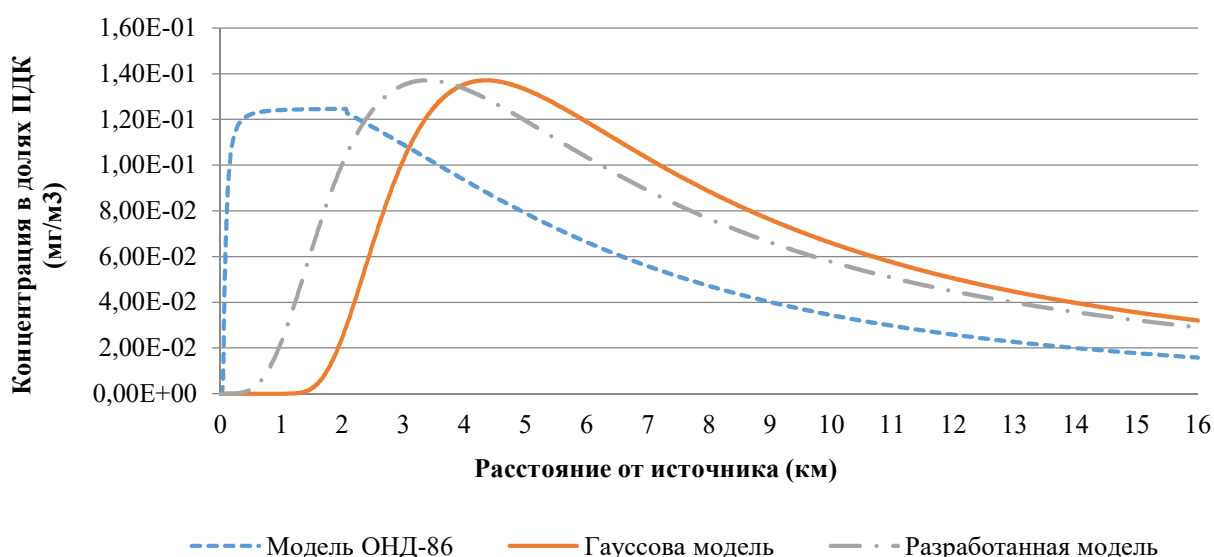
Решение для слоя  $t_{n+1}$  служит начальным условием для вычислений на следующих слоях по времени. Повторяя алгоритм  $n$  раз можно получить решение задачи (1)-(5) для желаемого промежутка времени  $[0, T]$ , что, в свою очередь, обеспечивает возможность выполнения оценки экологической нагрузки на рассматриваемой территории.

В силу линейности и безусловной устойчивости, конечно-разностная схема сходима и имеет второй порядок точности по времени и пространственным переменным. Так как необходимое количество вычислительных операций, пропорционально количеству узлов сетки, то

вычислительный алгоритм является экономичным.

Адекватность разработанного математического аппарата проверялась путем сравнения результатов расчетов с аналогичными расчетами по моделям, рекомендованным к применению в экологической экспертизе (рис. 2). Вычислительные эксперименты проводились на основе реальных данных промышленного объекта и фактических метеопараметров.

На основании анализа результатов проведенных вычислительных экспериментов можно заключить, что разработанная модель адекватно описывает процесс переноса и диффузии загрязняющих веществ в атмосфере и не противоречит его физической природе.



**Рис. 2. Оценка распределения концентрации  $\text{NO}_2$  в приземном слое атмосферы по трем различным математическим моделям**

Достоверность модели также обусловлена соответствием сформулированных уравнений и граничных условий фундаментальному закону сохранения массы.

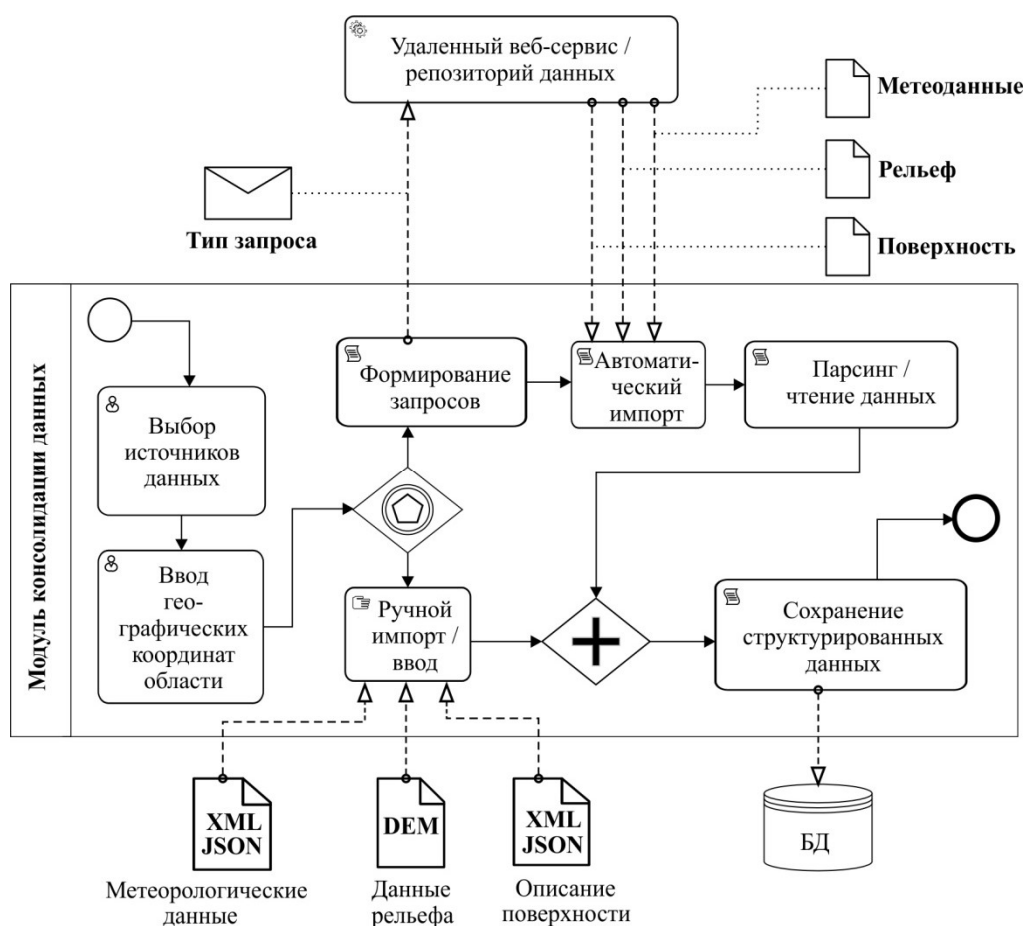
В третьей главе «**Программные методы консолидации и обработки пространственных данных из распределенных сетевых источников**» приведено описание структуры и содержания базы данных геоинформационной системы для экологических исследований. Рассмотрены некоторые аспекты разработки и даны схемы модели «сущность-связь» и логической модели базы данных.

При формализации классов данных, их атрибутов, отношений и связей, непосредственно составляющих информационную модель экологического мониторинга атмосферы, учитывались положения действующих нормативных актов и справочников, в том числе «Инструкция по проведению инвентаризации источников загрязнения и нормированию выбросов загрязняющих веществ в атмосферу для предприятий Республики Узбекистан», СанПиН РУз №0293-11 «Перечень предельно-допустимых

концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест на территории Республики Узбекистан» и др.

Во втором параграфе главы рассмотрена разработка программного метода консолидации метеорологических и пространственных данных из распределенных сетевых источников (рис. 3).

Алгоритм работы программного модуля предусматривает три сценария, в зависимости от решаемой задачи и условий расчета. В первом случае запросы на предоставление исходных данных формируются с использованием API-вызовов к веб-службе выбранного поставщика. Во втором – выполняется загрузка (по протоколу FTP) ретроспективных почасовых данных метеонаблюдений, сгенерированных ближайшей к заданному местоположению метеостанцией. Третий сценарий сбора и сохранения метеорологических и пространственных данных заключается в их ручном вводе посредством форм пользовательского интерфейса либо в их полуавтоматическом вводе путем считывания информации из заранее подготовленных (сериализованных) XML / JSON документов.



**Рис. 3. Метод консолидации метеорологических и пространственных данных из распределенных сетевых источников**

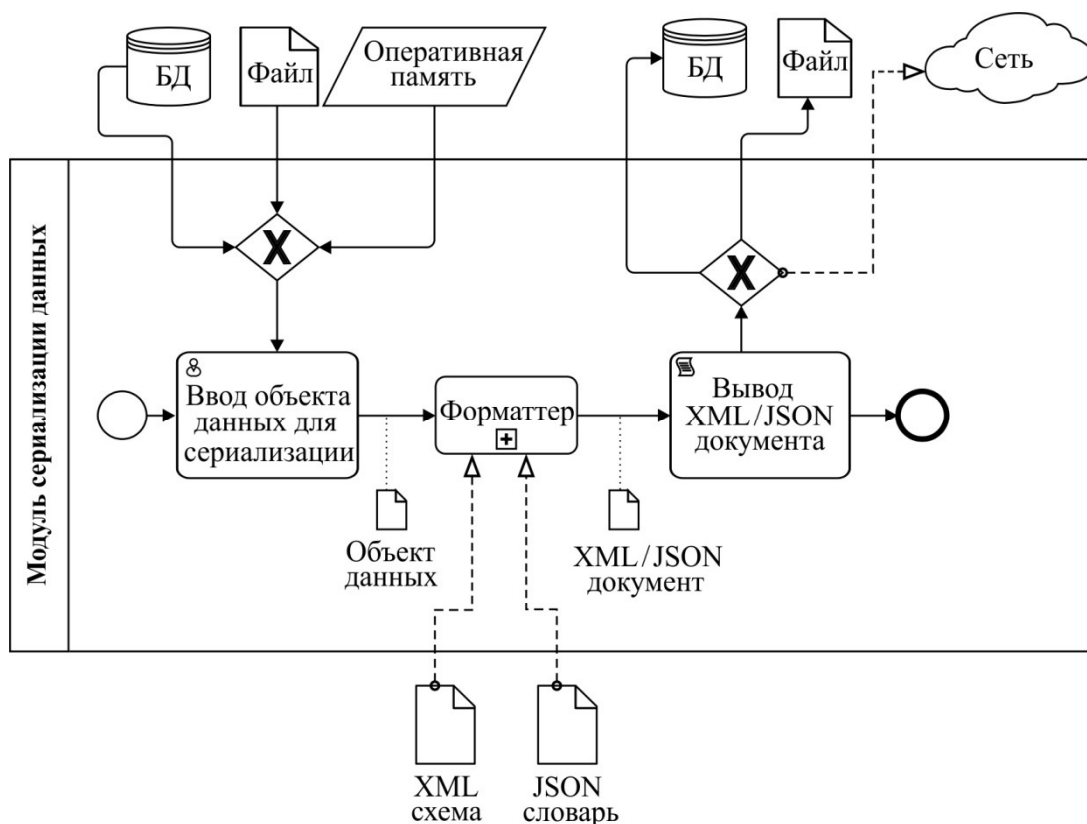
В качестве поставщиков данных используются открытые веб-службы, такие как OpenWeatherMap.com, AccuWeather.com и AerisWeather.com., репозитории NOAA.



В третьем параграфе главы обсуждается разработка методов сериализации данных для информационного обмена в распределённой среде (рис. 4), а также картографической визуализации данных, связанных с процессом распространения примесей в атмосфере (рис. 5).

Разработанный метод сериализации на базе форматов XML и JSON обеспечивает возможность информационного обмена данными со сложной структурой в распределенной клиент-серверной среде (рис. 4).

В текущей версии программного модуля сериализации XML/JSON схемы описания структур данных реализованы для следующих таких типов объектов: источники загрязнения атмосферы, выбросы ЗВ, оперативные и ретроспективные метеонаблюдения, а также и рассчитанные поля концентрации ЗВ.



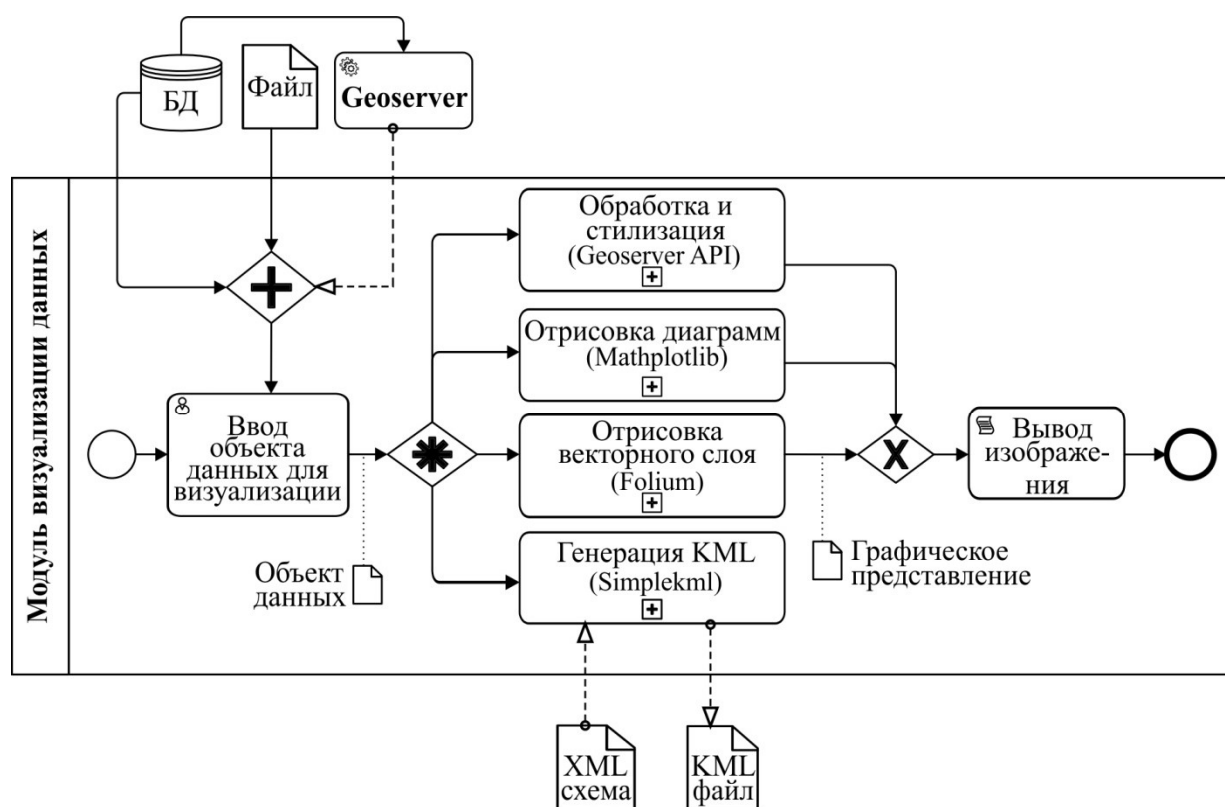
**Рис. 4. Метод сериализации данных**

Разработка метода сериализации внутренних для системы типов данных, была обусловлена обеспечением возможности коммуникации с внешними системами. Что актуально, ввиду отсутствия такой функции в большинстве существующих компьютерных систем моделирования процесса распространения вредных примесей в атмосфере.

Особенность разработанного метода сериализации заключается в том, что в нем исключена жесткая привязка к какой-либо конкретной технологии объектно-реляционного преобразования. Метод остается работоспособным практически при любой технологии ORM.

Второй программный метод, рассматриваемый в данном параграфе,

предназначен для выполнения картографической визуализации данных экологического мониторинга наземно-воздушной среды (рис. 5).



**Рис. 5. Метод картографической визуализации данных**

Предложенный метод, реализованный в виде соответствующего программного модуля, позволяет визуализировать результаты расчетов полей концентрации ЗВ четырьмя способами: 1) построение карт интенсивности с использованием библиотеки «Folium»; 2) формирование традиционных диаграмм с использованием библиотеки «Matplotlib»; 3) загрузка и вывод веб-слоев по протоколу WMS со стороны ГИС «Geoserver»; 4) генерация KML-файлов для визуализации данных в сторонних ГИС системах, в частности, в программе Google Earth.

В заключительной главе диссертации **«Информационно-аналитическая система мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы»** изложены описание и ключевые аспекты программной реализации информационно-аналитической системы.

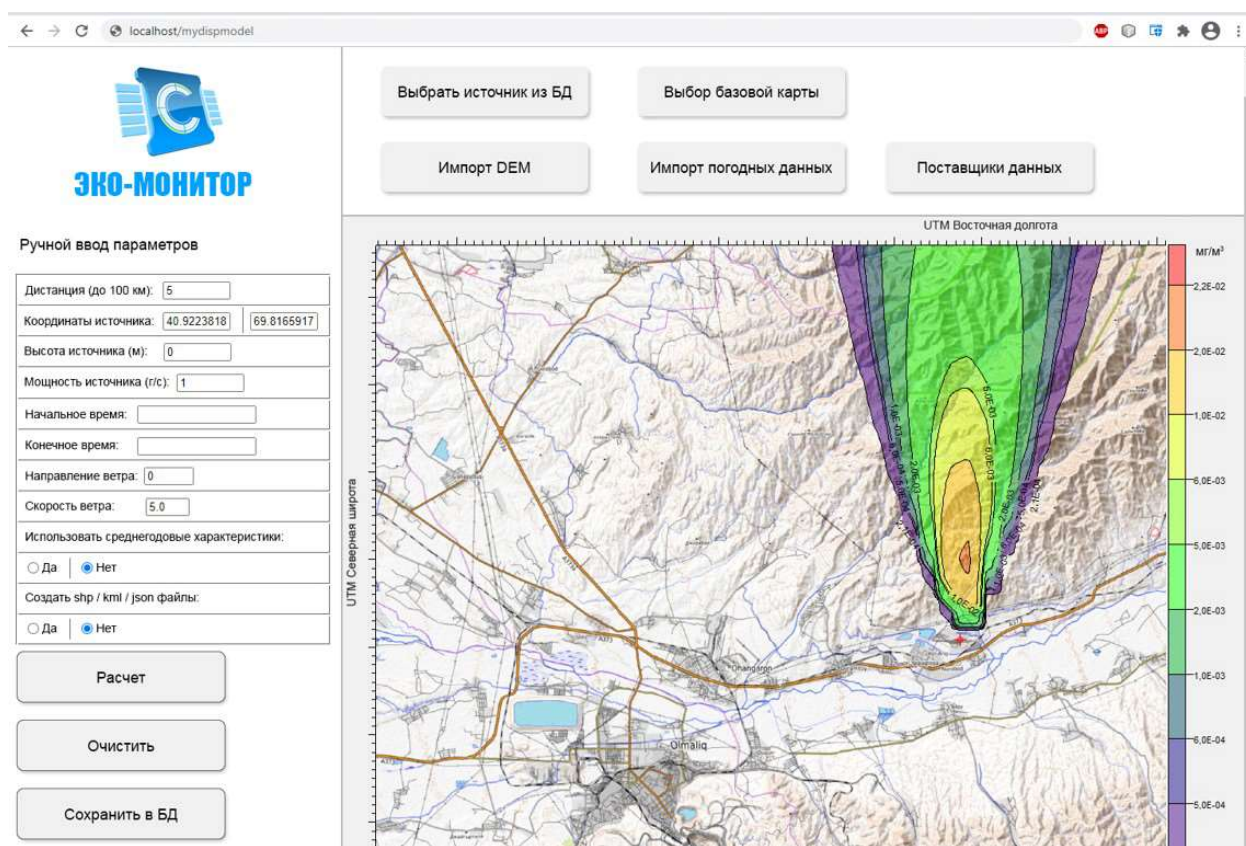
Реализация веб-приложения была осуществлена по распространенной трехзвенной архитектурной модели, предполагающей наличие следующих структурных единиц: слой представления, отвечающий за пользовательский интерфейс; слой приложения, реализующий алгоритмы и бизнес-логику; слой управления ресурсами, обеспечивающий доступ к данным и их хранение.

При проектировании веб-приложения были учтены требования к платформенной независимости, производительности, конфигурируемости,

масштабируемости, унификация интерфейсов и протоколов, независимости и заменимости компонентов, тестируемости, удобства эксплуатации и сопровождения.

Технологический стек разработки включает в себя язык программирования python 3.7, фреймворк для создания веб-приложений Django, СУБД Postgres с расширением Postgis, сервер администрирования, публикации и кеширования геоданных GeoServer, наборы python библиотек для работы с метеорологическим и картографическими веб-сервисами, графические python библиотеки, а также систему управления геоинформационным контентом GeoNode. Для написания программного кода использовалась интегрированная среда разработки Visual Studio Code.

Во втором параграфе приведено описание пользовательского интерфейса веб-приложения (рис. 6).



**Рис. 6. Пользовательский интерфейс ИАС «Эко-Монитор»**

К числу основных функциональных возможностей относятся: автоматическая загрузка и позиционирование карты-подложки; импорт пространственных объектов и атрибутов; интерактивный ввод и сохранение в БД данных об источниках загрязнения атмосферы; автоматический поиск, загрузка и сохранение в БД данных метеонаблюдений по географическим координатам; автоматический поиск и загрузка цифровой модели рельефа рассматриваемой области; расчет концентрации вредных веществ в атмосфере в границах рассматриваемой области; визуализация результатов

расчета в виде полупрозрачных слоев на интерактивной карте; сохранение истории вычислительных экспериментов в базе данных.

Административный раздел веб-приложения содержит только служебный функционал, связанный с наполнением БД всеми типами данных системы, настройкой параметров импорта/экспорта данных, управления пользователями и т.д.

В третьем параграфе приведены результаты экспериментального анализа экологической нагрузки от выбросов промышленного объекта на прилегающую территорию при различных метеоусловиях (рис. 7, 8).

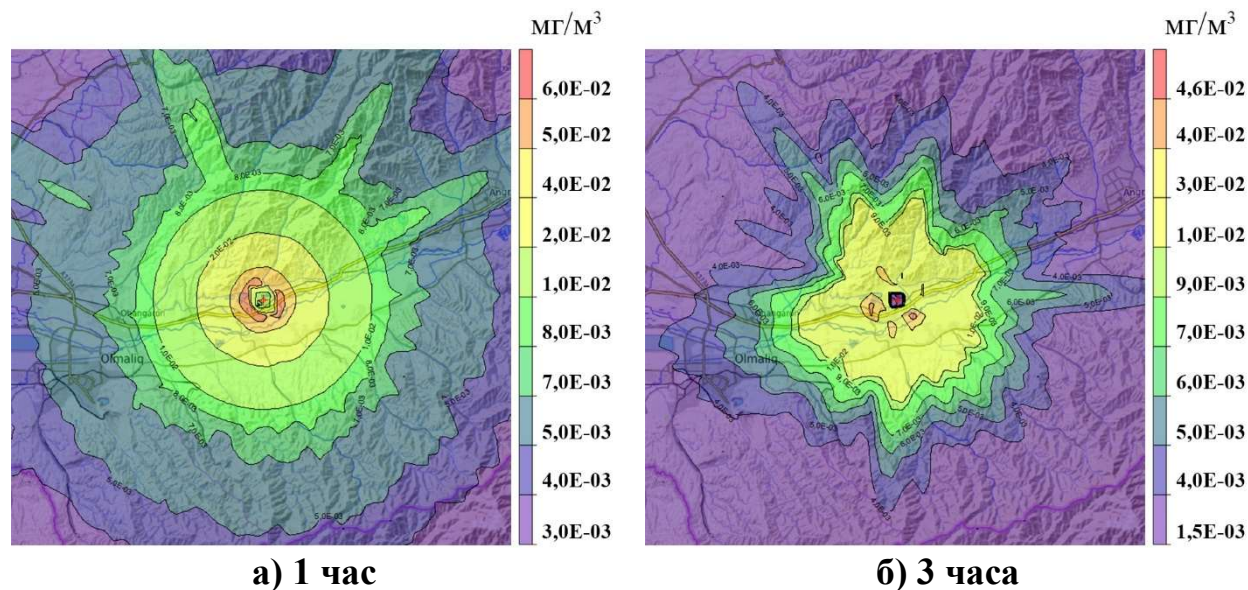


Рис. 7. Распределение концентрации  $PM_{10}$

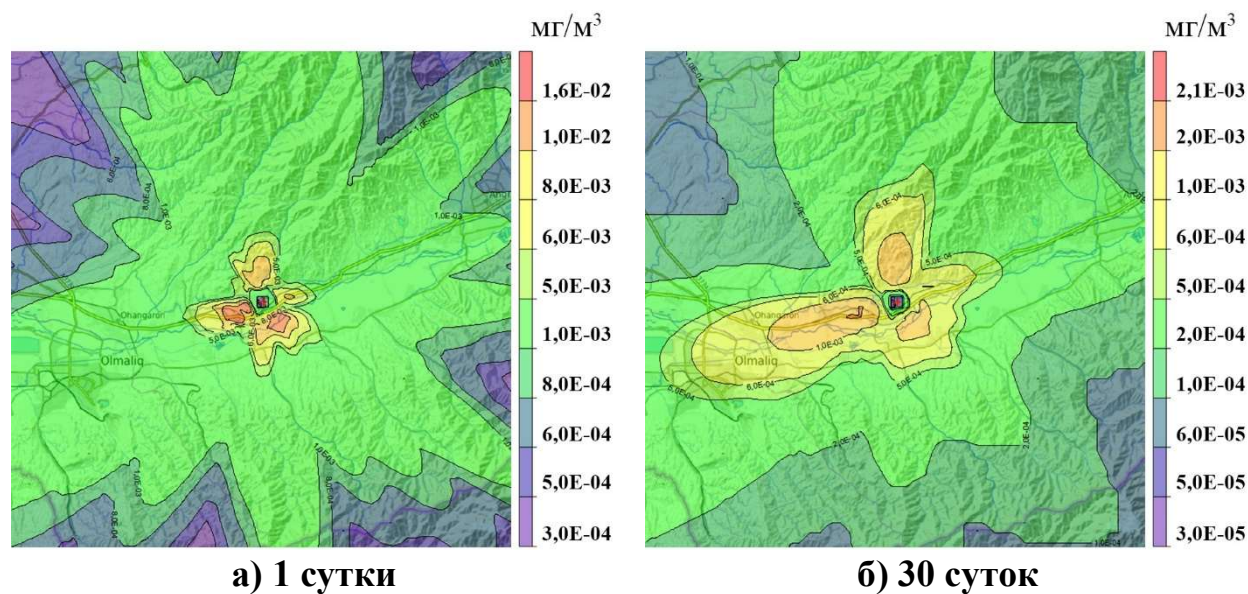


Рис. 8. Распределение концентрации  $PM_{10}$

Анализ результатов экспериментов показывает, что определяющим фактором возникновения тех или иных условий рассеивания частиц ЗВ в атмосфере является повторяемость и скорость ветров. Хотя в проведенных расчетах концентрация мелкодисперсной аэрозольной примеси практически не превышала установленных санитарных норм, тем не менее при умеренных ветрах 1-3 м/с, преобладающих на рассматриваемой территории, могут активно развиваться процессы аккумуляции частиц ЗВ.

Рост концентрации частиц ЗВ наблюдается при неблагоприятных метеоусловиях в период с начала лета и до конца сентября, когда коэффициент поглощения принимает минимальные значения даже в подутренние часы. И напротив, максимальное поглощение частиц ЗВ, происходит весной – с марта по май, а также поздней осенью, когда имеет место относительно большое количество осадков.

В среднем же за год, для Ахангаранской долины характерно вымывание атмосферными осадками до 15% массы вредных выбросов. Но главным фактором, влияющим на уровень концентрации ЗВ в регионе, остается интенсивность циркуляции ветровые потоков в приземном слое атмосферы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Основные результаты, полученные в рамках диссертационной работы «Математическое и программное обеспечение информационно-аналитической системы мониторинга и прогнозирования загрязнения атмосферы», сводятся к следующему:

1. Исследованы основные характеристики физического процесса распространения выбросов вредных примесей в атмосфере, а также основные факторы, влияющие на характер его пространственно-временной эволюции.

2. Проведен подробный анализ литературных источников по проблемам компьютерного моделирования процесса распространения загрязняющих примесей в атмосфере и подходам к их решению.

3. Исследованы достоинства и ограничения существующих математических моделей, вычислительных алгоритмов и компьютерных программ с точки зрения их эффективности для решения практических задач мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы.

4. Разработана математическая модель процесса распространения выбросов загрязняющих примесей в пограничном слое атмосферы в сферической системе координат, учитывающая метеорологические условия и географические характеристики местности, поглощающую способность атмосферы, скорость осаждения частиц загрязняющих веществ и их взаимодействие с подстилающей поверхностью, массообмен сквозь границы рассматриваемой области.

5. Разработан эффективный численный алгоритм решения задач оценки и прогнозирования распределения концентрации частиц загрязняющих веществ в наземно-воздушной среде, основанный на

применении неявной конечно-разностной схемой со вторым порядком точности по времени и пространственным переменным.

6. Разработана структура базы данных для хранения и многократного использования информации по загрязняющим веществам, метеонаблюдениям, объектам экологического мониторинга, пространственным объектам и их атрибутам.

7. Разработан метод консолидации метеорологических и пространственных данных из открытых сетевых источников, позволяющий автоматизировать рутинные операции по их поиску, сбору и первичной обработке.

8. Разработан метод сериализации данных со сложной структурой для обеспечения возможности информационного обмена в распределенной клиент-серверной среде.

9. Разработан метод картографической визуализации данных по процессу распространения примесей в атмосфере с привязкой к пространственно-временным характеристикам.

10. Разработано веб-ориентированное программное средство для решения задач мониторинга и прогнозирования экологического состояния наземно-воздушной среды промышленных территорий.

11. Разработанное математическое обеспечение и программные средства были применены в Управлениях по экологии и охране окружающей среды Самаркандской и Сырдарьинской областей, а также на объектах ООО «Жомбой яшил чироклари» и ООО «TALIBARZU BUNYOD» в Самаркандской области. В результате обеспечена возможность повысить точность прогнозирования уровней концентрации вредных веществ в атмосфере на 8-10% и снизить затраты, связанные с нарушением санитарных норм, на 5-7%.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**SCIENTIFIC AND INNOVATION CENTRE OF INFORMATION  
AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES AT TASHKENT  
UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**AKHMEDOV DILSHOT DILMURADOVICH**

**MATHEMATICAL AND SOFTWARE TOOLS OF AN INFORMATION  
ANALYTICAL SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING  
ATMOSPHERIC POLLUTION**

05.01.04 – Mathematical and software support of computers,  
complexes and computer networks

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

**Tashkent – 2021**

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 B2018.2.PhD/T684.

The dissertation has been prepared at Scientific and Innovation Center of Information and Communication Technologies at 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.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz).

**Scientific adviser:** **Ravshanov Normakhammad**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Zaynidinov Hakimjon Nasriddinovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Rakhmanov Khoshim Erdanovich**  
doctor of philosophy on technical sciences


**Leading organization:** **Tashkent State Transport University**


The defense of dissertation will take place on «26» June 2021 at 1100 at the meeting of Scientific Council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100200, Tashkent, Amir Temur str., 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 Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 207). (Address: 100202, Tashkent, Amir Temur str., 108. Tel.: (+99871) 238-64-43, fax: (+99871) 238-65-52).

Abstract of the dissertation was sent out on «14» June 2021 y.  
(mailing report No 17 of «10» June 2021 y.).



  
**R.Kh. Khamdamov**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor

  
**F.M. Nuraliev**  
Scientific secretary of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, docent

  
**M.A. Rakhmatullaev**  
Chairman of the scientific seminar under  
the scientific council awarding scientific degrees,  
doctor of technical sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract of the PhD thesis)

**The aim of the research work** is to develop mathematical and software tools of information-analytical system for monitoring and forecasting the ecological conditions of the atmosphere over industrial regions and territories with an ineligible ecological situation.

**The object of research work** is the information-analytical system for environmental monitoring.

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

a mathematical model of the process of air pollutants dispersion in spherical coordinates was developed, taking into account meteorological parameters and physical and geographical characteristics of considered regions;

a cost-efficient numerical algorithm for evaluation of harmful impurities concentration in the surface layer of the atmosphere and on the underlying surface was developed based on implicit difference scheme of the second order of accuracy;

a method for consolidating meteorological and spatial data from distributed network sources was developed, taking into account communication through data transfer protocols and application programming interfaces;

software methods for XML/JSON serialization and cartographic visualization of data on environmental monitoring with reference to spatio-temporal features was developed.

**Implementation of the research results.** Based on mathematical and software tools of an information analytical system for monitoring and forecasting the ecological conditions of the atmosphere over industrial regions and territories with an ineligible ecological situation the following results were implemented:

Information, mathematical and software tools for monitoring, forecasting and decision-making on the process of harmful substances spread in the atmosphere, accounting for the wind velocity and direction, as well as the optimal location of new industrial enterprises, were implemented in the Departments of Ecology and Environmental Protection of the Samarkand and Syrdarya Regions (Certificate of the State Committee on Ecology and Environmental Protection dated November 2, 2019 No. 02-02/8-1583). The results of the study made it possible to increase the accuracy of predicting the levels of concentration of harmful substances in the atmosphere by 8-10% and to reduce the cost of environmental protection measures;

mathematical and software tools for analyzing, monitoring and predicting the process of transfer and diffusion of harmful aerosol emissions, accounting for the deposition rate of fine particles, was implemented at «Zhomboy Yashil Chiroklari» LLC (Certificate of the State Committee on Ecology and Environmental Protection dated November 2, 2019 No. 02-02/8-1583). As a result, it became possible to increase the accuracy of predicting the concentration levels of inorganic dust particles and carbon monoxide by 8-10% and to reduce the costs associated with violation of sanitary standards by 5-7%.

mathematical and software tools for analyzing, monitoring and predicting the process of transfer and diffusion of harmful aerosol emissions, accounting for the deposition rate of fine particles, was implemented at «TALIBARZU BUNYOD» LLC (Certificate of the State Committee on Ecology and Environmental Protection dated November 2, 2019 No. 02-02/8-1583). As a result, it became possible to increase the accuracy of predicting the concentration of particles of organic dust and products of fuel combustion by 9-11% was achieved and to reduce financial costs associated with violation of the norms of maximum permissible emissions by 6-8%.

**Structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusion, references and appendices. The volume of the dissertation is 112 pages.

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

**I бўлим (I часть; I part)**

1. Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д. Моделирование процесса загрязнения окружающей среды с учетом рельефа местности и погодноклиматических факторов // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж, 2015. – №3(93). – С. 222-234. (05.00.00; №43).
2. Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д. Моделирование процесса переноса вредных веществ в атмосферу с учётом эрозии почвы // Проблемы информатики и энергетики. – 2015. – №5. – С. 23-32. (05.00.00; №5).
3. Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д. Программно-инструментальный комплекс для проведения вычислительных экспериментов по задаче переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж, 2018. – №6(114). – С. 447-454. (05.00.00; №43).
4. Ravshanov N., Muradov F., Akhmedov D. Mathematical software to study the harmful substances diffusion in the atmosphere // Ponte. – Florence, 2018. – Vol. 74. – No. 8/1. – P. 171-179. (№1; Web of Science, IF=0.08).
5. Таштемирова Н.Н., Ахмедов Д.Д. Математическая модель для исследования и прогнозирования концентрации вредных веществ в атмосфере // Информационные технологии моделирования и управления. – Воронеж, 2019. – №1(115). – С. 50-58. (05.00.00; №43).
6. Sharipov D., Muradov F., Akhmedov D. Numerical Modeling Method for Short-Term Air Quality Forecast in Industrial Regions // Applied Mathematics E-Notes. – Hsinchu, 2019. – № 19. – P. 575-584. (№3; Scopus, IF=0.28).
7. Muradov F., Akhmedov D. Numerical Modeling of Atmospheric Pollutants Dispersion Taking Into Account Particles Settling Velocity // IEEE Int. Conf. on Information Science and Communications Technologies (ICISCT 2019). – Tashkent, 2019. – P. 1-5. (Олий аттестация комиссияси Раёсати қарори №269/8-сон, 30.09.2019 й.).
8. Ravshanov N., Muradov F., Akhmedov D. Operator splitting method for numerical solving the atmospheric pollutant dispersion problem // Journal of Physics: Conference Series. – London, 2020. – Vol. 1441. – P. 1-14. (№3; Scopus, IF=0.54).
9. Ravshanov N., Akhmedov D., Kravets O.Ja. Atmospheric dispersion modeling in ecological engineering problems // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – London, 2020. – Vol. 862. – P. 1-8. (№3; Scopus, IF=0.53).
10. Ахмедов Д.Д. Исследование процесса распространения вредных примесей в атмосфере с учетом влияния типов наземного покрова на характеристики ветра // Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2020. – №3(27). – С. 154-167. (05.00.00; № 23).

## II бўлим (II часть; II part)

11. Равшанов Н., Тоштемирова Н.Н., Ахмедов Д. Информация, информационные технологии и моделирование как инструмент для анализа и прогнозирования экологического состояния окружающей среды // Экологические чтения – 2012 : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2012. – С. 199-207.

12. Равшанов Н., Шарипов Д., Ахмедов Д., Таштемирова Н. IT технология и компьютерное моделирование для мониторинга и прогнозирования экологического состояния окружающей среды // Приоритетные направления в области науки и технологии в XXI веке : сб. статей VII междунар. научн. конф. Т.1. – Ташкент : Chinor ENK, 2014. – С. 46-54.

13. 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 социальноэкономических процессов : материалы V междунар. науч.-практ. конф. – Казань: Отечество, 2014. – С. 221-228.

14. Равшанов Н., Шарипов Д., Ахмедов Д. Компьютерная модель процесса распространения вредных веществ в пограничном слое атмосферы // Инновация-2015 : сб. науч. статей междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2015. – С. 305-306.

15. Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д. Компьютерная модель процесса распространения вредных веществ в пограничном слое атмосферы // Экологические чтения - 2015 : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2015. – С. 89-100.

16. Ахмедов Д. Прогнозирование экологического состояния промышленных регионов // Сучасни проблеми математичного моделювання та обчислювальних методів : матеріали конф. – Ровно, 2015. – С. 192.

17. 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. – Ташкент, 2015. – С. 62-64.

18. Равшанов Н., Шарипов Д., Ахмедов Д. Использование онлайн сервисов для компьютерного моделирования и прогноза экологического состояния регионов // Современные материалы, техника и технологии в машиностроении: сб. науч. статей III междунар. науч.-практ. конф., 19-21 апреля 2016 г. 3-4 Секции. – Андижан : АМИ, 2016. – С. 434-438.

19. Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д. Применение веб-сервисов в разработке систем прогнозирования экологического состояния атмосферы // Современное состояние и перспективы применения информационных технологий в управлении : доклады респуб. науч.-тех. конф., Джизак, 5-6 сентября 2016 г. – Ташкент, 2016. – С. 360-366.

20. Равшанов Н., Муродов Ф., Ахмедов Д. Математическая модель и вычислительный эксперимент для мониторинга и прогнозирования экологического состояния региона // Задачи алгебры, прикладной математики и информационные технологии : материалы респуб. науч. конф., 20-21 декабря 2016. Т.1. – Наманган, 2016. – С. 233-236.

21. Равшанов Н.К., Ахмедов Д.Д. Математическая модель и веб-приложение для мониторинга и прогнозирования экологического состояния промышленных регионов // Экологические проблемы региона и пути их решения : материалы нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием, 13-15 октября 2016 г. – Омск, 2016. – С. 127-129.

22. Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д., Морзицин И.А. Использование онлайн сервисов для моделирования распространения вредных веществ в атмосфере // Проблемы информационных и телекоммуникационных технологий : сб. докладов респуб. науч.-тех. конф. Ч.2. – Ташкент, 2016. – С. 56-59.

23. Ахмедов Д.Д. ArcGIS Web AppBuilder как инструмент поддержки исследований в экологии // Информатика: проблемы, методология, технологии : сб. трудов XVI междунар. конф., 9-10 февраля 2017 г. Т.4. – Воронеж, 2017. — С. 3-7.

24. Ахмедов Д.Д. Визуализация процесса распространения промышленных выбросов средствами ArcGIS Web AppBuilder // Значение информационно-коммуникационных технологий в инновационном развитии реальных отраслей экономики : сб. докладов респуб. науч.-тех. конф., 6-7 апреля 2017 г. Ч.2. – Ташкент, 2017. – С. 128-130.

25. Равшанов Н., Нарзуллаева Н., Ахмедов Д. Модель и веб-приложение для прогнозирования экологического состояния атмосферы // Проблемы анализа и моделирования региональных социально-экономических процессов : материалы VII междунар. очной науч.-практ. конф., – Казань, 2017. – С. 128-131.

26. Akhmedov D.D. GIS based modeling of air pollution // Proceedings of the International Scientific-Practical and Spiritual-Educational Conference, April 5-6, 2018. – Tashkent: TUIT, 2018. – P. 263-267.

27. Ахмедов Д.Д. Моделирование процесса распространения вредных примесей в атмосфере с применением ГИС-технологий // Экологические чтения – 2018 : материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск: ЛИТЕРА, 2018. – С. 19-22.

28. Ravshanov N., Muradov F., Akhmedov D. Air pollution modeling in spherical coordinates // Актуальные проблемы математического моделирования, алгоритмизации и программирования : материалы респ. науч.-практ. конф., 17-18 сентября 2018 г. – Ташкент : Фан ва таълим полиграф, 2018. – С. 210-216.

29. Ravshanov N., Muradov F., Akhmedov D. Atmospheric dispersion modeling in spherical coordinates // Modern problems of applied mathematics and information technologies - Al-Khorezmiy 2018 : abstracts of VI Int. Sci. Conf. – Tashkent, 2018. – P. 92.

30. Мурадов Ф., Ахмедов Д. Моделирование процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере // Инновация-2018 : сб. научных статей междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. – С. 210-211.

31. Равшанов Н., Мурадов Ф., Ахмедов Д. Численное моделирование процесса переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере в сферической системе координат // Проблемы оптимизации сложных систем : материалы XIV международной азиатской школы-семинара, 20-31 июля 2018 г., Кыргызстан : в 2-х ч. Ч. 2. – Алмата, 2018. – С. 142-151.

32. Равшанов Н., Мурадов Ф., Ахмедов Д. Математическое и программное обеспечение для прогнозирования экологического состояния атмосферы промышленных регионов // Информатика: проблемы, методология, технологии: сб. материалов XIX междунар. науч.-метод. конф., 14-15 февраля 2019 г. – Воронеж, 2019. – С. 148-153.

33. Мурадов Ф.А., Ахмедов Д.Д. Моделирование процесса распространения аэрозолей в приземном слое атмосферы с учетом скорости осаждения частиц // Экологические чтения – 2019 : материалы X нац. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Омск, 2019. – С. 271-276.

34. Ахмедов Д. Технологии веб-разработки ГИС-приложений для мониторинга и прогнозирования экологического состояния атмосферы // Современные проблемы и их решения информационно-коммуникационных технологий и телекоммуникаций : сб. докладов респ. науч.-техн. конф., Фергана, 30-31 май 2019. Ч. 1. – Фергана, 2019. – С. 216-218.

35. Ravshanov N., Akhmedov D. Air Quality Dispersion Modeling in Spherical Coordinates // Techno-Societal 2018. – Cham : Springer, 2020. – P. 149-156.

36. Равшанов Н., Ахмедов Д.Д. Моделирование процесса распространения вредных выбросов в атмосфере с учетом вертикального профиля ветра // Modern informatics and its teaching methods (MITM2020), 20 мая 2020 г. Ч.2. – Андижан, 2020. – С. 142-149.

37. Ахмедов Д.Д. Моделирование процесса распространения аэрозольных и газовых примесей в сферической системе координат // Современные проблемы прикладной математики и информационных технологий : материалы междунар. науч.-практ. конф. 15 апреля 2021 г. – Бухара: Изд-во БухГУ, 2021. – С. 170-173.

38. Равшанов Н., Шарипов Д.К., Ахмедов Д.Д. Программа для ЭВМ «Эко-мониторинг» // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 03424. 05.12.2015.

39. Ахмедов Д.Д., Шафиев Т.Р. Программа для ЭВМ «Forecasting the ecology of industrial zones» // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Свидетельство № DGU 07447. 26.12.2019.

Автореферат «Информатика ва энергетика муаммолари Ўзбекистон журнали» таҳририяида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус тилларидаги матнларини мослиги текширилди.