

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

ИСАБЕКОВ СЕРИК РИСБЕК ЎҒЛИ

**ЎЗБЕКИСТОНДА АТМОСФЕРА ЁҒИНЛАРИ КИМЁВИЙ ВА
ИЗОТОП ТАРКИБИНИНГ ҲУДУДИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ**

11.00.03 – Қуруқлик гидрологияси. Сув ресурслари. Гидрокимё

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

Тошкент – 2026

УЎК: 551.577+556.12+504.3.054+54.027

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

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

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

Исабеков Серик Рисбек ўғли

Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари кимёвий ва изотоп таркибининг
худудий хусусиятлари.....3

Исабеков Серик Рисбек угли

Пространственные особенности химического и изотопного состава
атмосферных осадков в Узбекистане21

Isabekov Serik

Spatial features of chemical and isotopic composition of atmospheric
precipitation in Uzbekistan.....39

Нашр қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....43

**ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ
ХУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ ИЛМИЙ-ТАДҚИҚОТ ИНСТИТУТИ

ИСАБЕКОВ СЕРИК РИСБЕК ЎҒЛИ

**ЎЗБЕКИСТОНДА АТМОСФЕРА ЁҒИНЛАРИ КИМЁВИЙ ВА
ИЗОТОП ТАРКИБИНИНГ ҲУДУДИЙ ХУСУСИЯТЛАРИ**

11.00.03 – Қуруқлик гидрологияси. Сув ресурслари. Гидрокимё

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

Тошкент - 2026

География фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Олий таълим, фан ва инновациялар вазирлиги ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2025.2.PhD/Gr391 рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-сайтида (www.nigmi.uz) ва “Ziyonet” Ахборот-таълим порталида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Нишонов Баҳриддин Эркинович

техника фанлари номзоди, катта илмий ходим

Расмий оппонентлар:

Муродов Шухрат Одилевич

техника фанлари доктори, профессор

Хайдаров Сафарбой Абдирашитович

география фанлари бўйича фалсафа доктори

Этакчи ташкилот:

Ўзбекистон миллий университети

Диссертация ҳимояси Гидрометеорология илмий-тадқиқот институти ҳузуридаги Илмий даражалар берувчи DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2026 йил «17» апрель соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100052, Тошкент ш., Бодомзор йўли 1-тор кўчаси, 72. Тел.: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319, e-mail: info@nigmi.uz).

Диссертация билан Гидрометеорология илмий-тадқиқот институтининг Илмий-техника кутубхонасида танишиш мумкин (№238 рақами билан рўйхатга олинган). Манзил: 100052, Тошкент ш., Бодомзор йўли 1-тор кўчаси, 72. Тел.: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319.

Диссертация автореферати 2026 йил «3» апрель куни таркатилди.
(2026 йил «___» _____ даги рақамли реестр баённомаси).



[Handwritten signature]

Б.М.Холматжанов

Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш раиси, г.ф.д.

[Handwritten signature]

Э.Ю.Сафаров

Илмий даражалар берувчи
Илмий кенгаш илмий котиби в.в.б, т.ф.д.

[Handwritten signature]

Д.М.Турғунов

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

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Дунёда шаҳарлар ва саноатлашган худудларда атмосфера ҳавосининг ифлосланишини ортиши натижасида атмосфера ёғинларининг кимёвий таркиби ўзгармоқда ҳамда иқлим ўзгариши шароитида атмосфера ёғинларининг глобал сув айланишидаги аҳамияти ортиб бормоқда. Бу борада Атом энергияси бўйича халқаро агентлик ҳисоботида “Иқлим ўзгаришининг сув ресурсларига потенциал таъсири, кўплаб халқаро илмий дастурлар доирасида ўрганилаётган хавотирли масалалардан бири ҳисобланади. Маҳаллий ёғинлардаги намлик манбаларининг хусусиятларини аниқлаш иқлимий боғлиқликларни тушунишни яхшилаш учун муҳим аҳамиятга эга”¹ деб таъкидланади. Бу ҳолат дунёнинг турли минтақаларида атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби ўзгаришларини ўрганиш, атмосфера ёғинларининг дарёлар сув ресурсларига ҳиссаларини баҳолаш усулларини такомиллаштириш, бунда сувнинг стабил изотопларидан фойдаланиш бўйича илмий тадқиқотларни амалга оширишни тақазо этмоқда.

Жаҳонда мазкур йўналишдаги, жумладан, атмосфера ёғинларининг кимёвий таркиби, уларнинг антропоген ва табиий таъсирлар натижасида ўзгариши, кислотали ёмғирларнинг атроф-муҳит компонентлари ҳолатига таъсирини аниқлашга қаратилган тадқиқотлар олиб борилмоқда. Шунингдек, иқлим ўзгариши шароитида атмосфера ёғинлари изотоп таркибининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгариш хусусиятларини ўрганиш, шу асосда уларнинг сув ресурсларининг шаклланишидаги ҳиссасини баҳолаш ҳамда глобал сув айланишининг маҳаллий хусусиятларини аниқлаш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Республикамизда атмосфера ҳавоси ифлосланишини камайтириш, сув ресурсларининг қўшимча манбаларини аниқлаш, атмосфера ёғинларидан сув таъминотида фойдаланишга қаратилган қатор чора-тадбирлар амалга оширилмоқда ва бу борада муайян ижобий натижаларга эришилмоқда. «Ўзбекистон–2030» Стратегиясида «атмосфера ҳавоси ифлосланишининг олдини олиш, унинг табиий таркибини сақлаш бўйича кескин чоралар кўриш» ҳамда «узоқ муддатга мўлжалланган республиканинг сув ресурслари балансини ишлаб чиқиш ва унинг устидан доимий мониторинг ўрнатиш тизимини жорий қилиш»² бўйича муҳим вазифалар белгиланган. Бу борада республикамизда атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби ўзгаришларини атмосфера ҳавоси ифлосланишига боғлиқлигини аниқлаш, ёғинлар кимёвий ва изотоп таркиби ўзгаришларининг ҳудудий хусусиятларини баҳолаш, изотоп маълумотлари асосида дарёлар сув ресурслари манбаларини аниқлаш муҳим илмий ва амалий аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2023 йил 11 сентябрдаги ПФ-158-сон «Ўзбекистон–2030 стратегияси тўғрисида»ги, 2025 йил

¹ Water and climate change. <https://www.iaea.org/topics/climate-change-and-the-water-cycle>

² Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2023 йил 11 сентябрдаги ПФ-158 сон «Ўзбекистон-2030» стратегияси тўғрисидаги» Фармони. <https://www.lex.uz/ru/docs/6600404>

24 ноябрдаги ПФ-229-сон «Тошкент шаҳрида экологик вазиятни яхшилаш бўйича кечиктириб бўлмайдиган чора-тадбирлар тўғрисида»ги Фармонлари, 2020 йил 17 ноябрдаги ПҚ-4896-сон «Ўзбекистон Республикаси гидрометеорология хизмати фаолиятини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида»ги Қарори, Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2021 йил 3 июндаги 343-сон «Атроф-муҳитнинг ифлосланиш даражасини баҳолаш тизимини янада такомиллаштириш тўғрисида»ги 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 йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожланишининг V. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, экология ва атроф-муҳит муҳофазаси» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Атмосфера ёғинлари кимёвий ва изотоп таркибининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгаришларини ўрганишга қаратилган тадқиқотлар кўплаб хорижий олимлар, жумладан, Н.С.Срайг, М.Г.Кендалл, В.Г.Мук, Ж.Р.Гат, М.Розански, Р.Фритц, К.К.Мурата, Ж.С.Фонте ва бошқалар томонидан олиб борилган.

Собиқ Иттифоқ ва МДХ мамлакатларида Ю.А.Израэль, И.М.Назаров, И.Д.Еремина, Н.И.Толстихин, А.А.Матвеев, П.Ф.Свистов каби олимларнинг тадқиқотларида атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби, унга атмосфера ҳавоси ифлосланишининг таъсири ўрганилган. А.М.Никаноров, Ю.А.Федоров, О.И.Башмаков, В.И.Ферронский, В.А.Поляков, Г.В.Симонова ва бошқаларнинг тадқиқотлари атмосфера ёғинлари изотоп таркибининг ўзгаришлари масалаларига бағишланган.

Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари минерализацияси, физик-кимёвий кўрсаткичларининг ўзгаришларига оид тадқиқотлар Г.А.Толкачева, Т.Ю.Смирнова, Ю.И. Ковалевская, О.А.Агафонова каби тадқиқотчилар томонидан олиб борилган. Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар бўйича авваллари тадқиқотлар деярли ўтказилмаган. Ҳозирда Ўзбекистоннинг асосан тоғли ҳудудларидаги музликлар, дарёлар ва ёғинлар сувининг изотоп таркибини тадқиқотлари билан Б.Э.Нишонов ва Ғ.Ў.Умирзаков каби олимлар шуғулланишмоқда.

Мазкур диссертация иши Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари физик-кимёвий кўрсаткичларини ва кимёвий таркибининг ҳудудий хусусиятларини, уларнинг вақт бўйича ўзгаришларини ҳамда Ўзбекистонда илк бор атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар (водород-2 (дейтерий) ва кислород-18) қийматларининг ҳудуд ва вақт бўйича тақсимотини ўрганиш масалаларига бағишланганлиги билан юқоридаги ишлардан фарқ қилади.

Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Гидрометеорология илмий-тадқиқот

институту илмий-тадқиқот ишлари режасининг ИЗ-2020113030 “Ўзбекистонда стабил изотоплардан фойдаланиб сув ресурслари ва уларнинг ифлосланишини мониторинг қилиш бўйича дастурий маҳсулот яратиш” (2022-2025 йй.) мавзусидаги амалий лойиҳаси ҳамда Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг UZB-26411 “Ўзбекистонда ёғинлар ва дарёлардаги ^2H ва ^{18}O изотопларининг фазовий ва вақт бўйича тақсимотини аниқлаш” (2022-2024 йй.) лойиҳаси доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади Ўзбекистон ҳудудидаги атмосфера ёғинларининг кимёвий ва изотоп таркибининг ҳудудий хусусиятларини ва вақт бўйича ўзгаришларини баҳолашдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби бўйича маълумотларни тўплаш, умумлаштириш ва маълумотлар базасини яратиш;

Ўзбекистон ҳудудида атмосфера ёғинларидан намуналар олиш, уларни кимёвий ва изотоп таркибини таҳлил қилиш;

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари кимёвий таркибининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгаришларини аниқлаш;

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги ^2H ва ^{18}O изотоплари қийматлари маълумотлари базасини яратиш;

Ўзбекистонда атмосфера ёғинларидаги ^2H ва ^{18}O изотоплари қийматларининг вақт ва ҳудуд бўйича ўзгаришларини аниқлаш;

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари учун маҳаллий метеорик сув чизиқларини тузиш ва уларнинг ҳудудий хусусиятларини баҳолаш.

Тадқиқотнинг объекти Ўзбекистон ҳудудидаги атмосфера ёғинлари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предмети Ўзбекистон ҳудудидаги атмосфера ёғинларининг кимёвий ва вақт изотоп таркиби ўзгаришларининг ҳудудий хусусиятларини аниқлаш масалалари ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Диссертацияда гидрометеорологик ҳисоблашлар ва баҳолашлар, умумлаштириш, математик статистика, регрессион таҳлил усулларида фойдаланилган. Атмосфера ёғинларинининг физик-кимёвий кўрсаткичлари ва кимёвий таркибини аниқлашда физик-кимёвий таҳлил усуллари, изотоп таркибини аниқлашда сув стабил изотопларини таҳлил қилишнинг замонавий усуллари қўлланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари (рН, электр ўтказувчанлик) ва кимёвий таркиби (минерализация, ионлар миқдори)нинг ҳудудий хусусиятлари баҳоланган;

атмосфера ёғинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари ва кимёвий таркибининг 2000-2024 йиллардаги мавсумий, йил давомида ва йиллараро ўзгаришлари аниқланган;

илк бор Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) қийматларининг ҳудудий ва вақт бўйича (ойлик, мавсумий, йиллик) ўзгаришлари аниқланган;

илк бор Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) учун маҳаллий метеорик сув чизиқларининг ҳудудий хусусиятлари баҳоланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари ҳудудий тақсимланишининг ойлик, мавсумий ва кўп йиллик ўзгаришлари баҳоланган;

турли (шаҳар, саноатлашган ҳудуд, тоғли ва тоғ олди) ҳудудлардаги атмосфера ёғинларининг минерализацияси ва ионлар миқдорлари орасидаги боғлиқлик аниқланган ва регрессия тенгламалари олинган;

Ўзбекистоннинг турли ҳудудларидаги атмосфера ёғинларидаги стабил изотоплар – дейтерий ва кислород-18 қийматлари аниқланган ва уларнинг ҳудудий тақсимланиш хусусиятлари баҳоланган;

илк бор Ўзбекистоннинг турли ҳудудларидаги атмосфера ёғинлари учун маҳаллий метеорик сув чизиқлари олинган;

Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) қийматлари ҳақидаги 2022-2024 йилдаги маълумотлар Жаҳон метеорология ташкилоти ва Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи” (ЁИГТ) маълумотлар базасига киритилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги диссертация ишини бажаришда Ўзбекистон Республикаси Экология ва иқлим ўзгариши миллий қўмитаси ҳузуридаги Гидрометеорология хизмати агентлиги (Ўзгидромет) тизимида стандарт усулларда амалга оширилган гидрометеорологик ва гидрокимёвий маълумотлардан фойдаланилганлиги, изотоп таҳлиллари Атом энергияси бўйича халқаро агентлик лабораториясида амалга оширилганлиги, маълумотларни қайта ишлашда умумқабул қилинган тадқиқот усуллари, жумладан, математик статистика усуллари қўлланилганлиги, тадқиқотда олинган изотоп қийматлари маълумотлари Жаҳон метеорология ташкилоти ва Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи” (ЁИГТ) маълумотлар базасига киритилганлиги, олинган натижаларнинг мазкур тадқиқот йўналишидаги бошқа муаллифларнинг натижалари билан мослиги ва амалиётга жорий қилинганлиги билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.

Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти, эришилган натижалар ва олинган асосий илмий хулосалар, жумладан, Ўзбекистон ҳудуди учун олинган атмосфера ёғинлари изотоп таркиби маълумотлари ва олинган маҳаллий метеорик сув чизиқлари дунёдаги ёғинлардаги изотоплар қийматлари бўйича мавжуд бўшлиқларни тўлдириши ҳамда қўлланилган усуллар ва илмий ёндашувлардан бошқа ҳудудлардаги ёғинларнинг кимёвий ва изотоп таркиби мониторингида фойдаланиш имкониятлари мавжудлиги билан изоҳланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, олинган асосий хулосалар ва натижалардан атмосфера ҳавосини ифлосланишини

камайтириш бўйича чора-тадбирларни белгилашда, ёгинлардаги изотоп маълумотлари ва маҳаллий метеорик сув чизиғидан дарёлар тўйиниш манбаларини аниқлашда, шунингдек, республикамиз олий таълим тизимининг гидрология ва атроф-муҳит муҳофазаси соҳасига тегишли йўналишлари ва мутахассисликларида янги муҳим манба бўлиб хизмат қилиши билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.

Ўзбекистон ҳудудидаги атмосфера ёгинларининг кимёвий ва изотоп таркибининг ҳудудий ва вақт бўйича тақсимланиши бўйича олинган илмий натижалар асосида:

Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари (рН, электр ўтказувчанлик) ва кимёвий таркиби (минерализация, бош ионлар миқдори)нинг ҳудудий хусусиятларини баҳолаш натижаларидан Гидрометеорология хизмати агентлигида республика ҳудудида атмосфера ҳавоси ифлосланишининг атмосфера ёгинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари ва кимёвий таркибига таъсирини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Экология ва иқлим ўзгариши миллий қўмитаси ҳузуридаги Гидрометеорология хизмати агентлигининг 2025 йил 15 декабрдаги №01-15/2033-сон маълумотномаси). Натижада, атмосфера ҳавоси ифлосланиши ва атмосфера ёгинлари кимёвий таркиби бўйича қўшимча маълумотлар олиш имконияти яратилган;

атмосфера ёгинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари ва кимёвий таркибининг аниқланган мавсумий, йил давомида ва йиллараро ўзгаришлари маълумотларидан Гидрометеорология хизмати агентлигида республика ҳудудида атмосфера ҳавоси ифлосланиши бўйича даврий ҳисоботларни тайёрлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Экология ва иқлим ўзгариши миллий қўмитаси ҳузуридаги Гидрометеорология хизмати агентлигининг 2025 йил 15 декабрдаги №01-15/2033-сон маълумотномаси). Натижада, атмосфера ҳавоси ифлосланиши бўйича ҳисоботларнинг мазмуни ва қўламини кенгайтириш имконини берган;

Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) қийматларининг аниқланган ҳудудий ва вақт бўйича (ойлик, мавсумий, йиллик) ўзгаришлари маълумотларидан Гидрометеорология хизмати агентлигида атмосфера ёгинлари таркибидаги стабил изотоплар маълумотлар базасини шакллантиришда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Экология ва иқлим ўзгариши миллий қўмитаси ҳузуридаги Гидрометеорология хизмати агентлигининг 2025 йил 15 декабрдаги №01-15/2033-сон маълумотномаси). Натижада, Жаҳон метеорология ташкилоти ва Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг “Ёгинлардаги изотоплар глобал тармоғи”да Ўзбекистонни қатнашиши ва ушбу тармоққа республикадаги атмосфера ёгинлари таркибидаги стабил изотоплар қийматлари ҳақидаги маълумотларни киритиш имконини берган;

Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари таркибидаги стабил изотоплар учун маҳаллий метеорик сув чизиқларининг ҳудудий хусусиятлари маълумотларидан Гидрометеорология хизмати агентлигида республика

худудидаги дарёлар сув ресурслари манбаларини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Экология ва иқлим ўзгариши миллий қўмитаси хузуридаги Гидрометеорология хизмати агентлигининг 2025 йил 15 декабрдаги №01-15/2033-сон маълумотномаси). Натижада, дарёлар тўйинишининг манбалари ҳақида тўлиқроқ маълумот олиш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Мазкур тадқиқот натижалари 6 та халқаро ва 1 та республика миқёсидаги илмий-амалий анжуманларда муҳокамадан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 15 та илмий иш чоп этилган, шулардан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашрларда 6 та мақола, жумладан, 4 таси республика ва 2 таси хорижий журналда нашр қилинган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш, учта боб, хулоса ва фойдаланилган адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертациянинг ҳажми 102 бетни ташкил этган.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида бажарилган тадқиқот мавзусининг долзарблиги ва зарурати асосланган, мавзунинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, ишнинг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режаси билан боғлиқлиги қайд этилган, муаммонинг ўрганилганлик даражаси баҳоланган, диссертациянинг мақсади ва вазифалари, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, уларнинг амалиётда жорий қилиниши, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг таркибий тузилиши ҳақида маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **биринчи боби “Атмосфера ёғинлари кимёвий ва изотоп таркибини ўрганиш масалалари”** деб номланади. Диссертациянинг ушбу бобида атмосфера ёғинлари миқдорларининг ҳудуд бўйича тақсимланиши, уларнинг кимёвий ва изотоп таркибини ўрганишнинг илмий-амалий аҳамияти, “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи” (ЁИГТ) ва унда Ўзбекистоннинг иштироки кўриб чиқилган.

Ўзбекистон худудида атмосфера ёғинлари миқдори турлича тақсимланган, ўртача йиллик ёғинлар миқдори текислик ҳудудларида 80-100 мм, тоғларда 800-900 мм гача етади. Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари вақт (ойлар ва фасллар) бўйича ҳам турлича тақсимланган: март-апрель ёғинлар энг кўп ёғадиган ойлар ҳисобланади. Йиллик ёғинларнинг 40 % баҳорга, 30 % қишга ва 15-20 % эса куз фаслига тўғри келади. Ёзда эса ёғинлар миқдори кескин камайиб, республикамиз жанубида йиллик ёғин миқдорининг 2-3 % ини, шимолида эса 5-10 % ини ташкил этади.

Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби бўйича тадқиқотлар 1990-йиллар охири ва 2000-йиллар бошларида Г.А.Толкачева, Т.Ю.Смирнова, Ю.И. Ковалевская, О.А.Агафонова томонидан олиб борилган. Ушбу тадқиқотларда Тошкент вилояти ҳудудида атмосфера ёғинларининг таркиби, унинг саноат корхоналари ажратмалари таъсири натижасида ўзгариши масалалари кўриб чиқилган.

Атмосфера ёғинларининг кимёвий таркиби атмосферага чиқарилаётган зарарли газларнинг таъсирида шаклланади. Атмосферага олтингугурт диоксиди ва азот оксидларини чиқарилиши ёғинлар муҳитини кислотали бўлишига ва “кислотали ёмғирлар” ёғишига сабаб бўлади. “Кислотали ёмғирлар” атроф-муҳит компонентлари ҳолатига, сув ва тупроққа, биолар ва иншоотларга салбий таъсир кўрсатади. Атмосферага аммиакни чиқарилиши эса ёғинлар муҳитининг ишқорий бўлишига олиб келади. Шу сабабли ҳам атмосфера ёғинлари физик-кимёвий кўрсаткичлари ва кимёвий таркибининг мониторинги атроф табиий муҳит мониторингининг муҳим қисми ҳисобланади.

Жаҳонда атмосфера ёғинлари таркибидаги дейтерий ва кислород-18 қийматларини аниқлаш бўйича тадқиқотлар 1960-йилларда бошланган. 1962 йилда Жаҳон метеорология ташкилоти ва Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи” (ЁИГТ) ташкил этилган. Ҳозирги вақтда ушбу тармоқда дунёдаги 100 дан ортиқ давлатда 1200 дан зиёд станциялардаги ёғинларнинг изотоп таркиби ҳақидаги маълумотлар тўпланган. Шуни аҳамиятга молиқки, ушбу тармоқда ёғинлардаги дейтерий ва кислород-18 изотоплари ҳақида Ўзбекистон бўйича фақат Тошкент-Обсерватория метеостанцияси учун 1971 йилдаги маълумотлар мавжуд.

Тадқиқот давомида Ўзбекистон ҳудудидаги 6 та метеостанциядаги ёғинларнинг кимёвий ва изотоп таркиблари ўрганилган. Ушбу 6 та станция “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи”га киритилган ва станциялар учун алоҳида рақамлар олинган.

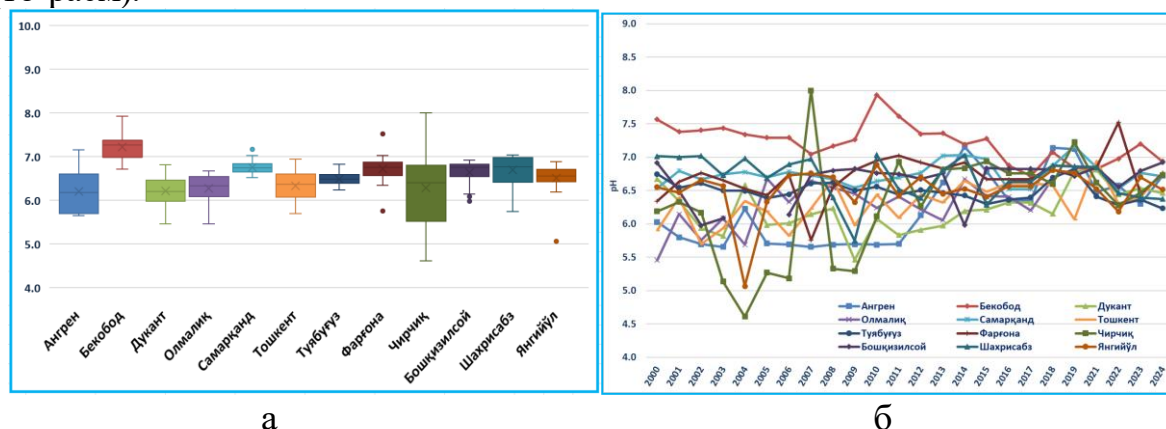
Диссертациянинг **“Ўзбекистонда атмосфера ёғинларининг кимёвий таркибининг ҳудудий ва вақт бўйича ўзгариши хусусиятлари”** деб номланган **иккинчи** бобида Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари кимёвий таркибининг кўп йиллик ва ҳудудий ўзгаришларини кўриб чиқилган.

Диссертация ишида Ўзгидрометнинг 12 та кузатув станциялари маълумотлари асосида Ўзбекистондаги атмосфера ёғинларининг физик-кимёвий кўрсаткичлари (рН, электр ўтказувчанлик) ва кимёвий таркиби (минерализация, бош ионлар миқдори)нинг 2000-2024 йиллардаги мавсумий, йил давомида ва йиллараро ҳамда ҳудудий ўзгаришлари таҳлил қилинган.

Атмосфера ёғинларнинг кимёвий таркиби ўрганилаётган ҳудуддаги экологик вазиятни кўрсатиб берувчи энг муҳим кўрсаткичлардан бири ҳисобланади. Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари кимёвий таркибининг шаклланишига бир қанча табиий ва антропоген омиллар таъсир қилади. Ўзбекистон вилоятлар кесимида турли рельефга эгаллиги ва саноат

корхоналарининг жойлашиши бўйича фарқ қилганлиги сабабли атмосфера ёғинларининг физик-кимёвий кўрсаткичлари ҳудудлар бўйича фарқ қилади.

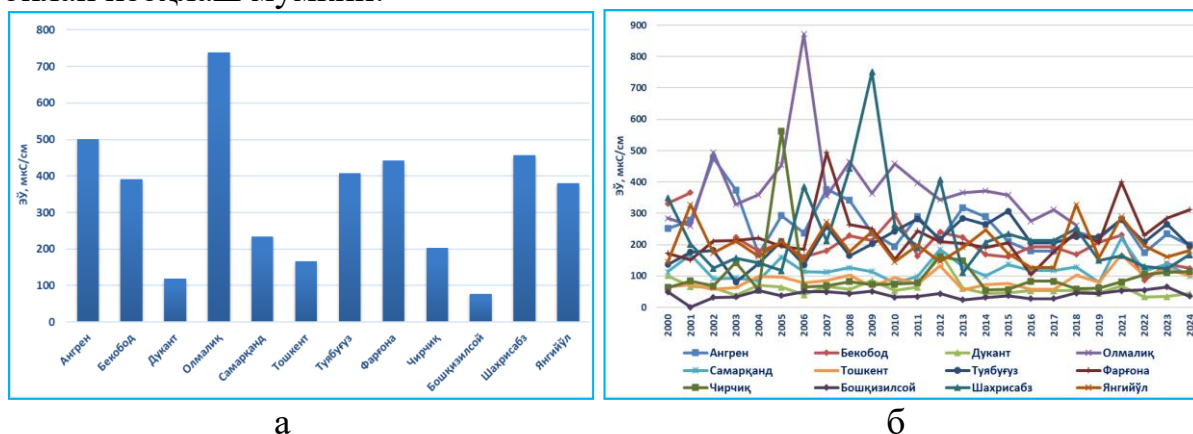
pH. pH кўрсаткичларининг 7 дан паст ($pH < 7$) бўлиши ёғинлар муҳити кислотали эканини билдиради. Ўрганилган даврда атмосфера ёғинлари таркибидаги pH кўрсаткичларининг кўп йиллик қийматлари $pH = 6,2-7,2$ ораликда ўзгарган (1а-расм). Ҳудудлар бўйича pH кўрсаткичларининг нисбатан юқори кўп йиллик ўртача қийматлари Бекободда ($pH = 6,8-7,9$) қайд этилган, шунингдек, Бошқизилсой ($pH = 6,0-6,9$) ва Шаҳрисабз ($pH = 5,7-7,0$) станцияларида ҳам pH кўрсаткичи юқори кўп йиллик бўлган. Ўрганилган бошқа станцияларда (Тошкент, Самарқанд, Фарғона, Чирчиқ, Янгийўл, Туябўғиз)да pH кўрсаткичлари $pH = 6,3-6,7$ ораликда бўлган. Баъзи ойларда Ангрена ($pH = 5,7$), Дуқантда ($pH = 5,8$) кучсиз кислотали ёмғирлар кузатилган. Энг минимал қийматлар Олмалиқ, Фарғона, Шаҳрисабз, Дуқантда ($pH = 4,1$), Чирчиқда ($pH = 4,2$), Тошкентда ($pH = 4,5$), Янгийўлда ($pH = 5,0$), Бошқизилсой ва Туябўғизда ($pH = 5,1$), Ангрена ва Бекободда ($pH = 5,4$), Самарқандда ($pH = 5,7$) кузатилган. Бу ҳолатни иссиқлик электр станцияларида кўмирни ёқиш натижаси ҳамда саноат корхоналаридан чиқадиган газларнинг таъсири деб баҳолаш мумкин. Ёғинлар муҳитининг кўпйиллик ўзгаришларини таҳлили, сўнгги йилларда pH кўрсаткичларини юқори бўлганлигини кўрсатади (1б-расм).



1-расм. Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари pH қийматларининг а) ҳудуд бўйича, б) вақт бўйича кўпйиллик (2000-2024 йй.) ўзгаришлари

Электрўтказувчанлик. Таҳлил натижаларига кўра, атмосфера ёғинлари электрўтказувчанлик кўрсаткичлари ҳам анча ўзгарувчанлигини ва бу ўзгарувчанликнинг асосан ҳудуднинг саноатлашув даражаси, чангланиш ҳолати ва табиий-географик шароитлар билан боғлиқ эканини кўрсатади. Энг юқори кўрсаткичлар асосан Олмалиқ (737,9 мкС/см), Ангрена (644,4 мкС/см), Шаҳрисабз (457,1 мкС/см), Фарғона (441,6 мкС/см) ва Туябўғиз (408,4 мкС/см) станцияларида кузатилган (2а-расм). Аксинча, тоғли ҳудудларда жойлашган Бошқизилсой (77,3 мкС/см) ва Дуқант (118,9 мкС/см) станцияларида энг паст кўрсаткичлар кузатилган. Электрўтказувчанлик қийматларининг ойлар бўйича ўзгариши таҳлиliga кўра, энг максимал қийматлар июль-август ойларида кузатилади (2б-расм).

Буни ёғинлар миқдорининг ушбу ойларда нисбатан жуда кам бўлиши билан изоҳлаш мумкин.



2-расм. Ёғинлар таркибидаги электроўтказувчанлик кўрсаткичларининг а) ҳудудий, б) вақт бўйича кўпйиллик (2000-2024 йй.) ўзгаришлари

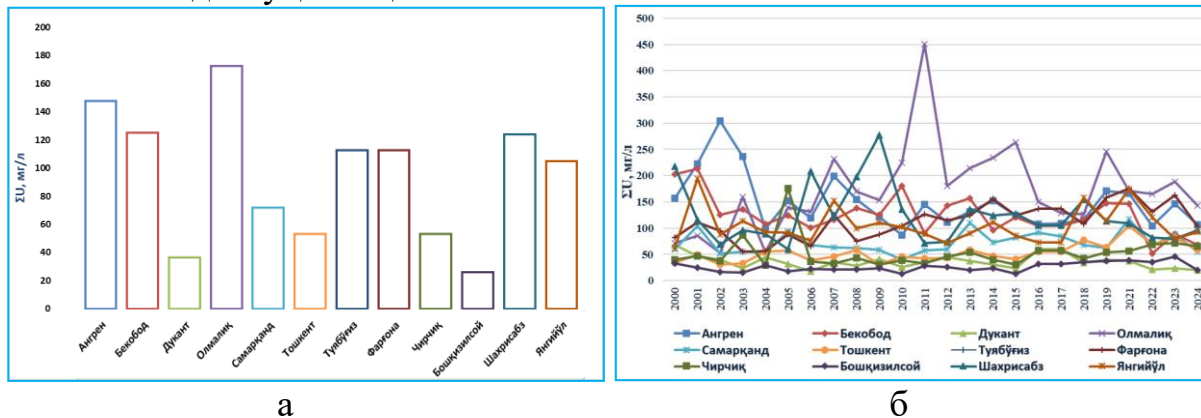
Ёғинлар минерализацияси. Атмосфера ёғинлари минерализацияси атмосферага чиқаётган чанг, саноат корхоналари ажратмалари, турли хил аэрозоллар таъсирини акс эттиради. Бу кўрсаткич ҳаво сифатини, чанг ва ифлослантирувчи моддалар миграциясини баҳолаш имконини беради. Ўзбекистон каби арид (қурғоқчил) ҳудудларда ёғин кам бўлгани сабабли, минерализациянинг юқорилиги чангли бўронлар ва саноат корхоналари ажратмаларининг кучли таъсиридан далолат беради.

Таҳлиллар Ўзбекистон ҳудудидаги атмосфера ёғинларининг минерализацияси (ΣU , мг/л) ҳудудлар кесимида ва вақт бўйича сезиларли фарқланишини кўрсатди: кўпйиллик маълумотларга кўра ёғинларнинг юқори минерализацияси Олмалик (172,4 мг/л), Ангрен (147,6 мг/л), Бекобод (125,2 мг/л), Фарғона (112,7 мг/л) шаҳарларида кузатилган. Бу шаҳарлар саноати ривожланган ҳудудлар бўлиб, тоғ-кон, металлургия, цемент ва кимё корхоналари ажратмалари ёғинлар минерализациясининг ортишига сабаб бўлади. Кам минераллашган ёғинлар тоғли ҳудудларда жойлашган Бошқизилсой (26,0 мг/л) ва Дукант (36,3 мг/л) станцияларида кузатилган. Ўртача қийматлар эса Тошкент, Янгийўл, Чирчиқ, Туябўғиз, Самарқанд, Шахрисабз станцияларида қайд этилган (3а-расм).

Кўп йиллик (2000–2024 йй.) таҳлиллар шуни кўрсатадики, айрим йилларда, хусусан 2010–2012 йилларда Олмаликда ёғинлар минерализацияси кескин (450 мг/л гача) ортган. Бунга асосан бу даврда саноат фаолиятининг кучайиши ва ёғин миқдорининг камайишини сабаб қилиб кўрсатиш мумкин. Бошқа ҳудудларда эса йиллик ўзгаришлар нисбатан барқарор бўлиб, 25–150 мг/л ораликда бўлган (3б-расм).

Умуман олганда, атмосфера ёғинлари минерализацияси Ўзбекистоннинг арид иқлими, саноат зоналари аэрозоллари ва Орол

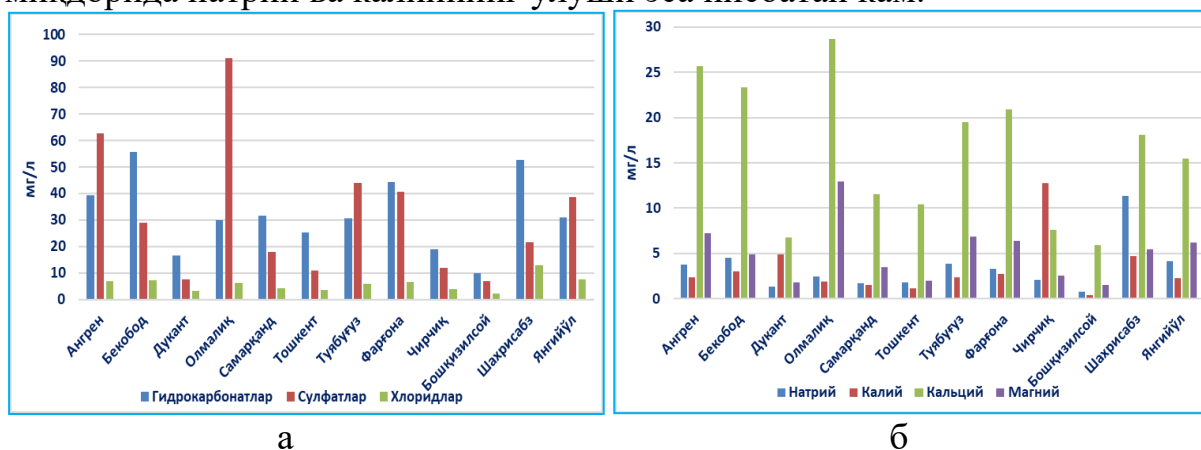
денгизининг қуриган тубидаги чанг оқимлари билан узвий боғлиқ. Юқори минерализация тупроқ ва сув тизимларига юклама ошишига, баъзи ҳолларда эса тупроқ шўрланишига сабаб бўлиши мумкин. Шу боис, атмосферадаги физик-кимёвий жараёнларини узлуксиз кузатиш ва кимёвий мониторингни давом эттириш экологик хавфсизликни таъминлашда муҳим аҳамиятга эга.



3-расм. Атмосфера ёғинлари минерализациясининг ўзгаришлари (2000-2024 й.): а) ҳудуд бўйича б) кўп йиллик

Бош ионлар. Атмосфера ёғинлари таркибидаги бош ионлар ўрганилаётган ҳудуднинг атмосфера ҳавоси ифлосланганлигини ва экологик вазиятини баҳолаш учун муҳим индикаторлардан ҳисобланади.

Ўзбекистоннинг атмосфера ёғинлари кимёвий таркиби таҳлили натижаларига кўра, ёғинлар асосан сульфатли-гидрокарбонатли-кальцийли типга мансуб (4-расм). Барча 12 та кузатув пунктларида ёғинлар таркибида катионлар орасида кальций ионининг мутлақ устунлиги (20-30 мг/л атрофида) кузатилган. Ушбу устунлик ва магний ионининг доимий юқори миқдори минтақанинг қурғоқчил иқлимга хос бўлган минерал аэрозоллар (тупроқ чанги) нинг кучли таъсиридан далолат беради. Катионлар миқдорида натрий ва калийнинг улуши эса нисбатан кам.

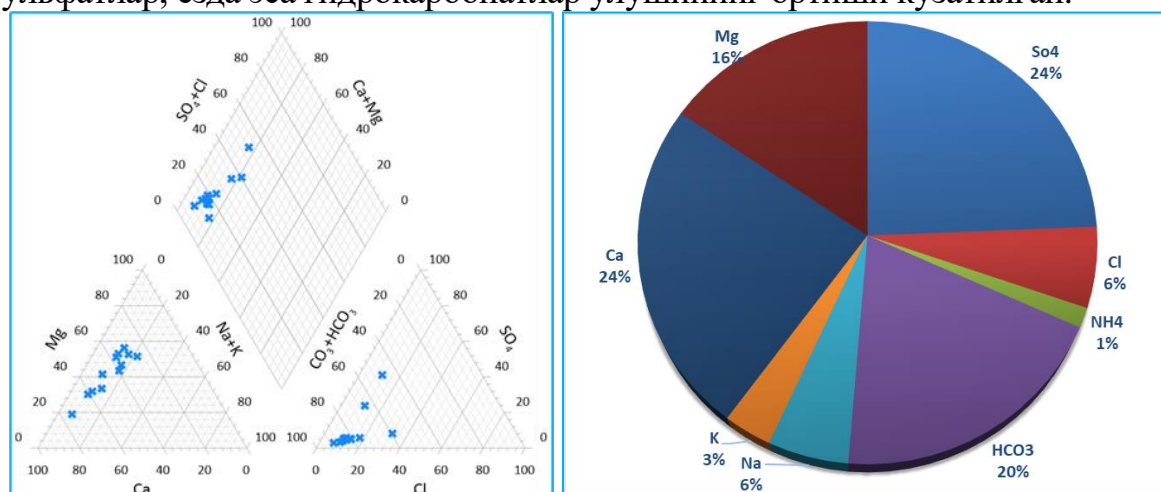


4-расм. Атмосфера ёғинлари таркибидаги бош ионларнинг кўп йиллик (2000-2024 йй.) миқдорлари: а) анионлар, б) катионлар

Атмосфера ёғинларидаги анионлар гуруҳида сульфат ва гидрокарбонат ионлари устунлик қилади. Олмалиқ каби йирик саноат марказида сульфатлар

миқдори юқори кўрсаткичга (90 мг/л дан юқори) етади (4-расм). Бу, биринчи навбатда, шаҳарда кон-металлургия корхонасининг мавжудлиги билан боғлиқ. Саноат жараёнларида чиқадиган олтингурут диоксида атмосферадаги физик-кимёвий жараёнларда сульфатга айланади ва ёгинлар таркибида улар улушини орттиради. Бекобод ва Шаҳрисабз шаҳарларида эса ёгинлар таркибида гидрокарбонатлар улуши юқори.

А.А.Матвеев ва О.И.Башмаков Евроосиё материгига ёғадиган атмосфера ёгинлари кимёвий таркибини ўрганиб, Ўрта Осиё худудига ёғадиган атмосфера ёгинларини гидрокарбонатли-кальцийли гуруҳга киритган. Диссертация ишида олиб борилган таҳлиллар Ўзбекистон худудига кузатилган кўпйиллик (2000-2024 йй.) атмосфера ёгинлари кимёвий таркиби асосан сульфатли-гидрокарбонатли-кальцийли гуруҳга тегишли эканлигини кўрсатди. Ёгинлар таркибида катионлар орасида кальций (Ca^{2+}) улуши 24%, магний (Mg^{+}) 16%, натрий (Na^{+}) 6%, калий (K^{+}) эса 3% эканлиги аниқланди. Анионларда эса сульфат (SO_4^{2-}) 24%, гидрокарбонат (HCO_3^{-}) 20%, хлорид (Cl^{-}) эса 6% улушга эга эканлиги қайд этилган. Бу нисбатлар ёгинларда асосан Са- SO_4 типи устунлигини билдиради. Паст Cl^{-} миқдори эса континентал иқлим хусусиятини тасдиқлайди. Ёгинлар таркибида қиш мавсумида сульфатлар, ёзда эса гидрокарбонатлар улушининг ортиши кузатилган.



5-расм. Атмосфера ёгинлари кимёвий таркибида бош ионларнинг улуши

Барча кузатув пунктлари учун атмосфера ёгинлари минерализацияси ва ундаги бош ионлар миқдорлари орасидаги боғлиқлик тенгламалари тузиш ва уларнинг аниқлигини баҳолаш асосида Ангрен станциясида минерализациянинг SO_4^{2-} ва Mg^{2+} ионлари билан, Олмалик станциясида SO_4^{2-} ва Ca^{2+} ионлари билан, Дуқант станциясида HCO_3^{-} , ва Ca^{2+} ионлари билан, Бошқизилсой станциясида HCO_3^{-} , Ca^{2+} , Na^{+} ва K^{+} ионлари билан боғлиқлиги юқори эканлиги аниқланган (1-жадвал). Бу натижалар атмосфера ҳавоси ифлосланишини назорат қилишда ва ёгинлар кимёвий таркибини ўрганишда худудий ўзига хосликларни инобатга олиш зарурлигини кўрсатади.

Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари минерализациясининг бош
ионлар концентрацияси билан боғлиқлиги

Ангрен		Олмалик	
Регрессия тенгламаси	$r \pm \sigma_r$	Регрессия тенгламаси	$r \pm \sigma_r$
$\text{HCO}_3^- = 0,0392 \Sigma U + 33,495$	$0,10 \pm 0,03$	$\text{HCO}_3^- = 0,0417 \Sigma U + 22,66$	$0,15 \pm 0,12$
$\text{SO}_4^{2-} = 0,8445 \Sigma U - 61,943$	$0,90 \pm 0,09$	$\text{SO}_4^{2-} = 0,7127 \Sigma U - 31,93$	$0,89 \pm 0,02$
$\text{Cl}^- = -0,0032 \Sigma U + 7,310$	$0,05 \pm 0,13$	$\text{Cl}^- = 0,0156 \Sigma U + 3,4783$	$0,24 \pm 0,12$
$\text{Ca}^{2+} = 0,0642 \Sigma U + 16,215$	$0,47 \pm 0,07$	$\text{Ca}^{2+} = 0,1565 \Sigma U + 1,6948$	$0,82 \pm 0,09$
$\text{Mg}^{2+} = 0,03 \Sigma U + 2,7754$	$0,51 \pm 0,09$	$\text{Mg}^{2+} = 0,0646 \Sigma U + 1,8118$	$0,49 \pm 0,07$
$\text{Na}^+ = 0,0109 \Sigma U + 2,083$	$0,15 \pm 0,12$	$\text{Na}^+ = 0,0013 \Sigma U + 2,2207$	$0,07 \pm 0,05$
$\text{K}^+ = 0,0077 \Sigma U + 1,2298$	$0,29 \pm 0,13$	$\text{K}^+ = 0,0034 \Sigma U + 1,2724$	$0,29 \pm 0,12$
Дукант		Бошқизилсой	
Регрессия тенгламаси	$r \pm \sigma_r$	Регрессия тенгламаси	$r \pm \sigma_r$
$\text{HCO}_3^- = 0,6311 \Sigma U - 6,510$	$0,90 \pm 0,12$	$\text{HCO}_3^- = 0,4417 \Sigma U - 1,661$	$0,76 \pm 0,12$
$\text{SO}_4^{2-} = 0,0821 \Sigma U + 4,499$	$0,36 \pm 0,02$	$\text{SO}_4^{2-} = 0,0883 \Sigma U + 4,7395$	$0,24 \pm 0,02$
$\text{Cl}^- = 0,0327 \Sigma U + 1,9135$	$0,23 \pm 0,12$	$\text{Cl}^- = 0,063 \Sigma U + 0,6403$	$0,35 \pm 0,12$
$\text{Ca}^{2+} = 0,2352 \Sigma U - 1,8229$	$0,86 \pm 0,09$	$\text{Ca}^{2+} = 0,196 \Sigma U + 0,8277$	$0,59 \pm 0,09$
$\text{Mg}^{2+} = 0,0143 \Sigma U + 1,304$	$0,26 \pm 0,07$	$\text{Mg}^{2+} = 0,0274 \Sigma U + 0,7664$	$0,37 \pm 0,07$
$\text{Na}^+ = 0,0115 \Sigma U + 0,954$	$0,18 \pm 0,05$	$\text{Na}^+ = 0,0562 \Sigma U - 0,7257$	$0,85 \pm 0,05$
$\text{K}^+ = 0,586 \Sigma U - 16,435$	$0,39 \pm 0,12$	$\text{K}^+ = 0,0174 \Sigma U - 0,0254$	$0,59 \pm 0,12$

Диссертациянинг “�збекистонда атмосфера ёғинлари изотоп таркибининг ҳудудий хусусиятлари” деб номланган учинчи боби атмосфера ёғинларининг изотоп таркибини ўрганишга бағишланган. Унда дастлаб, атмосфера ёғинларининг изотоп таркибини белгиловчи асосий омиллар, сўнгра Ўзбекистонда атмосфера ёғинлари изотоп таркибининг ҳудуд ва вақт бўйича ўзгаришлари таҳлил қилинган.

Диссертация ишини бажаришда Ўзбекистонда ёғинлардаги изотоплар қийматларини аниқлаш бўйича илк бор тизимли тадқиқотлар олиб борилган.

Сувда муайян стабил изотопларининг кўплиги (abundance) изотопик нисбатлар ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ва $^2\text{H}/^1\text{H}$) билан аниқланиб, улар делта (δ) белгиси ёрдамида белгиланади ва одатда промилледа (‰) ифодаланади:

$$\delta^2\text{H} \text{ ёки } \delta^{18}\text{O} = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{st}}} \right) \times 1000$$

Тенгламада R_{sample} - намунадаги тегишли $^2\text{H}/^1\text{H}$ ёки $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ нисбатини, R_{st} - Вена ўртача стандарт океан суви (VSMOV)даги тегишли $^2\text{H}/^1\text{H}$ ёки $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ нисбатини ифодалайди. VSMOVдаги мутлақ қийматлар $^2\text{H}/^1\text{H} = 155,76 \pm 0,05 \cdot 10^{-6}$ ва $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2005,2 \pm 0,45 \cdot 10^{-6}$ га тенг.

Изотоп маълумотларининг дастлабки статистик таҳлили атмосфера ёғинларининг изотоп таркибидаги умумий тенденцияларни тушунишга ёрдам беради. Ушбу таҳлил 2022–2024 йилларда Тошкент, Ангрен, Фарғона, Самарқанд, Шаҳрисабз ва Бошқизилсой метеостанцияларидан олинган маълумотларга асосланган.

Тадқиқот натижаларига кўра, ҳар бир метеостанцияда изотоп қийматлари фаслларга ва географик омилларга боғлиқ равишда юқори ўзгарувчанликка эга. $\delta^{18}\text{O}$ ва $\delta^2\text{H}$ кўрсаткичлари қиш ойлари паст, ёз ойлари эса анча юқори қийматлар билан тавсифланади.

Барча станцияларда изотоп қийматлар кенг диапазонда эканлиги кузатилган. Кислород-18 ($\delta^{18}\text{O}$) қийматлари ўртача -17 ‰ дан 3 ‰ гача, дейтерий ($\delta^2\text{H}$) қийматлари эса -120 ‰ дан 20 ‰ гача бўлган ораликда ўзгариши аниқланган (2-жадвал).

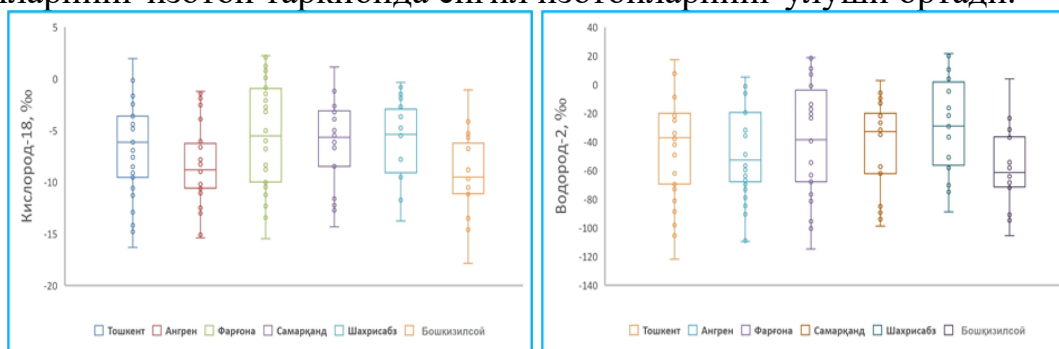
2-жадвал

Ўзбекистон ҳудудидаги ёғинлардаги $\delta^{18}\text{O}$ ва $\delta^2\text{H}$ қийматлари (2022-2024 йй.)

Метеорология станцияси	$\delta^{18}\text{O}$, ‰				$\delta^2\text{H}$, ‰			
	Мин.	Макс.	Ўртача	Стандарт оғиш	Мин.	Макс.	Ўртача	Стандарт оғиш
Тошкент	-16,34	1,95	-7,78	4,19	-122,73	16,41	-49,22	35,71
Ангрен	-15,28	-0,14	-7,89	4,36	-108,39	6,43	-48,95	34,83
Бошқизилсой	-17,66	-0,86	-9,20	3,88	-125,80	5,82	-56,26	31,87
Фарғона	-15,52	2,21	-6,81	5,35	-114,61	18,82	-45,10	37,47
Самарқанд	-14,35	1,10	-6,77	4,12	-98,44	18,82	-42,59	30,25
Шаҳрисабз	-19,87	0,02	-6,98	5,17	-148,10	21,60	-34,71	40,21

Изотоп кўрсаткичларининг бундай кенг диапазонда тарқалиши Ўзбекистоннинг мўътадил континентал иқлимига хос бўлган кучли мавсумий (ҳарорат) эффектининг таъсирини англатади. Яъни, ёзги (илик) атмосфера ёғинлари изотоп қийматлари жихатидан камроқ манфий қийматларга, қишки (совуқ) ёғинлар эса кўпроқ манфий қийматлар эга бўлади. Бу ҳолат одатда, Марказий Осиё минтақаси учун хосдир.

Аниқланган ўртача қийматларни станциялар бўйича таққослаш уларнинг жойлашуви, баландлиги ва минтақавий намлик манбаларига нисбатан фарқларини кўрсатади. Бошқизилсой (ўртача $\delta^{18}\text{O}=-9,20\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-56,26\text{‰}$) ва Ангрен (ўртача $\delta^{18}\text{O}=-7,89\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-48,95\text{‰}$) станциялари энг манфий қийматларга эга. Бошқизилсойнинг жойлашуви юқори тоғли ҳудудда эканлигини ҳисобга олсак, бу “баландлик эффекти” таъсирини аниқ кўрсатади (6-расм). Баландлик ошгани сари ҳарорат тушиши туфайли ёғинларнинг изотоп таркибида энгил изотопларнинг улуши ортади.



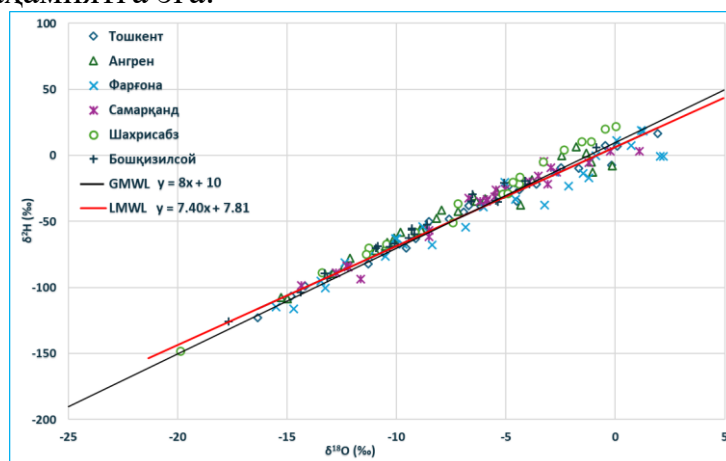
6-расм. Атмосфера ёғинлари изотоп таркибининг ҳудудий тақсимоти (2022-2024 йй.)

Ангрен станциясидаги ёгинлар таркибида енгил изотопларнинг кўплиги унинг Тошкент ва Фарғонага нисбатан баландроқ жойлашуви ва тоғли ҳудудга яқинлиги билан боғлиқ. Шахрисабз ($\delta^{18}\text{O}=-6,98\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-34,71\text{‰}$), Фарғона ($\delta^{18}\text{O}=-6,81\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-45,10\text{‰}$) ва Самарқанд ($\delta^{18}\text{O}=-6,77\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-42,59\text{‰}$) станцияларида ёгинлар изотоп таркиби кўрсаткичлари нисбатан камроқ манфий қийматларни кўрсатади.

Бундай қийматлар изотоплар асосан ёгинлар тушишидан олдин камроқ фракцияланишга учраганлигини англатади. Ўтказилган таҳлиллар ва келтирилган натижалар Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари изотоп таркиби Марказий Осиё учун хос бўлган ҳарорат эффекти ва баландлик эффектига мос эканлигини билдиради.

Шунингдек, Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари изотоп таркибидаги d-excess кўрсаткичлари, қабул қилинган халқаро ўртача қиймат 10‰ (Craig, 1961) билан солиштирилди. d-excess ($d\text{-excess}=\delta^2\text{H}-8\cdot\delta^{18}\text{O}$) - намлик манбасидаги кинетик фракцияланиш даражасига ва ёгин ёғиши жараёнидаги иккинчи даражали буғланиш таъсирига сезгир бўлган муҳим индикатор ҳисобланади. Намликнинг узоқ масофаларга ташилиши ва маҳаллий буғланиш таъсири изотоп таркибини Глобал метеорик сув чизиғи ГМСЧ(GMWL)дан юқорига силжитади. Ўзбекистон атмосфера ёгинларидаги d-excess ва $\delta^{18}\text{O}$ муносабати Ўзбекистоннинг Маҳаллий метеорик сув чизиғи - ММСЧ (LMWL) ГМСЧ (GMWL) дан юқори бўлишини тақозо қиладиган маҳаллий намлик манбалари (юқори d-excess) ва қурғоқчил иқлимнинг таъсири (паст d-excess) ўртасидаги икки томонлама фракцияланиш механизмини тасдиқлайди.

Диссертация ишида Ўзбекистондаги атмосфера ёгинлари таркибидаги стабил изотоплар учун илк бор Маҳаллий метеорик сув чизиғи олинган ва унинг ҳудудий хусусиятлари баҳоланган. ММСЧ Ўзбекистондаги ЁИГТ (GNIP) станцияларидан 2022-2024 йилларда олинган атмосфера ёгинлари изотоп таркиби ($\delta^2\text{H}$ ва $\delta^{18}\text{O}$) муносабатини акс эттиради (7-расм). Ушбу таҳлил минтақанинг гидрологик циклидаги асосий фракцияланиш механизмларини ва намлик манбалари динамикасини аниқлаш учун фундаментал аҳамиятга эга.



7-расм. Ўзбекистон атмосфера ёгинларининг изотоп таркибини маҳаллий метеорик сув чизиғи (LMWL) асосида таққослаш (2022-2024 йй.)

Графикдаги қизил чизик Маҳаллий метеорик сув чизиғи (LMWL) ни ($\delta^2\text{H}=7,40\cdot\delta^{18}\text{O}+7,81$), қора чизик эса Глобал метеорик сув чизиғи ($\delta^2\text{H}=8\cdot\delta^{18}\text{O}+10$) ни ифодалайди. ММСЧ (7,40) нинг ГМСЧ (8) га нисбатан оғиши Марказий Осиё каби қурғоқчил ва ярим қурғоқчил ҳудудларда атмосфера ёғинлари ҳаводаги намлик кам ва ҳаво ҳарорати юқори бўлган шароитда шаклланганлиги сабабли изотоплар фракцияланишга учрашини ва бу жараён $\delta^{18}\text{O}$ ни $\delta^2\text{H}$ га нисбатан камроқ бойитишини билдиради. Шунингдек, чизикнинг оғишига мавсумий (ҳарорат) эффекти ҳам таъсир қилади. Нуқталар бўйича $\delta^{18}\text{O}$ кенг диапазонда (-20‰ дан 5‰ гача) тақсимланган. Энг манфий қийматлар ($\delta^{18}\text{O}<-15\text{‰}$) совуқ қиш ойлари ёки юқори баландликдаги ёғинларга (масалан, Бошқизилсой) тўғри келади, энг бой (камроқ манфий) қийматлар эса иссиқ ёзги ёғинлар билан боғлиқ бўлиб, бу кучли мавсумий ҳарорат фракцияланишини ифодалайди. Баландлик эффекти натижасида Бошқизилсой ва Ангрен станцияларининг аксарият нуқталари графикнинг манфий қисмида жойлашган. Бу уларнинг юқори тоғли ёки тоғолди ҳудудларида жойлашганлиги сабабли баландлик эффекти кучли таъсирини акс эттиради. Аксинча, Шаҳрисабз ва Самарқандга оид нуқталар ГМСЧ атрофида оғир изотопларга бойроқ қийматларга силжиган, бу нисбатан пастроқ баландликларда ҳарорат ва буғланишнинг кучлироқ таъсирини кўрсатади.

ХУЛОСА

1. Ўзбекистонда атмосфера ёғинларининг кимёвий таркибини ўрганиш бўйича тадқиқотлар 1990-йиллар охири – 2000-йиллар бошларида олиб борилган. Ёғинлар таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) ҳақида фақатгина Тошкент-Обсерватория станцияси бўйича 1971 йилдаги маълумотлар мавжуд.

2. Ўзбекистонда 2000-2024 йиллардаги атмосфера ёғинларининг рН кўрсаткичи Бекобод (рН=6,8-7,9) Бошқизилсой (рН=6,0-6,9) ва Шаҳрисабз (рН=5,7-6,9) станцияларида нисбатан юқорироқ эканлиги аниқланган. Тошкент, Самарқанд, Фарғона, Чирчиқ, Янгийўл, Туябўғиз станцияларида рН кўрсаткичлари рН=6,3–6,7 оралиқда бўлган. Баъзи ойлarda Ангренда (рН=5,7), Дуқандда (рН=5,8) кучсиз кислотали ёмғирлар кузатилган. Энг минимал қийматлар Олмалик, Фарғона, Шаҳрисабз, Дуқандда (рН=4,1), Чирчиқда (рН=4,2), Тошкентда (рН=4,5), Янгийўлда (рН=5,0), Бошқизилсой ва Туябўғизда (рН=5,1), Ангрен ва Бекободда (рН=5,4), Самарқандда (рН=5,7) кузатилган. Буни иссиқлик электр станциялари ва саноат корхоналаридан чиқадиган газларнинг таъсири деб баҳолаш мумкин.

3. Атмосфера ёғинларининг электрўтказувчанлиги ҳудудлар бўйича кескин фарқланиши аниқланган. Энг юқори қийматлар Олмалик (737,9 мкС/см), Ангрен (644,4 мкС/см), Шаҳрисабз (457,1 мкС/см) ва Фарғона (441,6 мкС/см) станцияларида кузатилган. Тоғли ҳудудларда жойлашган

Бошқизилсой (77,3 мкС/см) ва Дукант (118,9 мкС/см) станцияларида ёғинларнинг электрўтказувчанлиги паст бўлган.

4. Ўзбекистонда атмосфера ёғинларининг минерализацияси ҳудуд ва вақт бўйича сезиларли фарқланишга эга. Энг юқори минерализация Олмалик (172,4 мг/л), Ангрен (147,6 мг/л), Бекобод (125,2 мг/л) станцияларида қайд этилган, бу ушбу шаҳарларда атмосфера ҳавоси сифатига антропоген таъсир юқорилигини кўрсатади. Тоғли Бошқизилсой (26,0 мг/л) ва Дукант (36,3 мг/л) станцияларида минерализация паст миқдорларда қайд этилган.

5. Ўзбекистондаги ёғинлар таркибида сульфат, гидрокарбонат ва кальций ионларининг улуши юқорилиги аниқланган, саноат ҳудудларида сульфатлар, тоғли ҳудудларда эса карбонатлар асосий улушни белгилайди. Барча кузатув пунктлари учун атмосфера ёғинлари минерализацияси ва ундаги бош ионлар миқдорлари орасидаги боғлиқлик таҳлили асосан Ангрен станциясида минерализациянинг SO_4^{2-} ва Mg^{2+} ионлари билан (мос равишда $r=90$ ва $r=51$), Олмалик станциясида SO_4^{2-} ва Ca^{2+} ионлари билан (мос равишда $r=89$ ва $r=82$), Дукант станциясида HCO_3^- ва Ca^{2+} ионлари билан (мос равишда $r=90$ ва $r=86$), Бошқизилсой станциясида HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ ва K^+ ионлари билан (мос равишда $r=76$, $r=59$, $r=85$ ва $r=59$) боғлиқлиги юқори эканлиги аниқланган.

6. Ўзбекистонда атмосфера ёғинларидаги $\delta^{18}\text{O}$ ва $\delta^2\text{H}$ қийматларининг йиллик ўзгариши ёғин миқдори, мавсумий ҳарорат, буғланиш жараёни ва ҳаво массаларининг келиб чиқишига боғлиқ равишда сезиларли фарқларга эга. Қиш мавсумида ёғинлар изотоп жиҳатдан энг енгил бўлса, ёзда буғланиш ошиши натижасида изотоплар таркиби оғирроқ бўлади. Бу йиллик изотоп цикли Ўзбекистоннинг кескин континентал иқлимга хос хусусият ҳисобланади. Изотоплар қийматларининг йиллар бўйича барқарор эмаслиги ёғин манбалари ва атмосфера циркуляциясидаги ўзгаришларга мос келади.

7. Ҳудудий кесимда изотоп таркиби тоғли ҳудудларда (Бошқизилсой, Ангрен) енгилроқ, паст тоғ олди ва пасттекистик ҳудудларида эса (Фарғона, Шаҳрисабз) оғирроқ эканлиги кузатилган. Баландлик ортиши билан ёғинлардаги енгил изотоплар нисбати ортади. Бу стабил изотопларнинг ($\delta^{18}\text{O}$ ва $\delta^2\text{H}$) ёғинлар билан тушиш жараёнларининг баландлик градиенти ва орографияга боғлиқлигини билдиради.

8. Ўзбекистон бўйича олинган маҳаллий метеорик сув чизиғи (ММСЧ) ($\delta^2\text{H}=7,40*\delta^{18}\text{O}+7,81$) глобал метеорик сув чизиғи (ГМСЧ)га ($\delta^2\text{H}=8*\delta^{18}\text{O}+10$) яқин бўлса-да, минтақа учун хос буғланиш шароитлари ва арид иқлим туфайли бироз пастроқ қияликка эга. Иссиқ мавсумда нуқталарнинг ГМСЧдан оғиши кучаяди, бу эса иккиламчи буғланиш жараёнларининг кучли эканлигидан далолат беради.

9. Ўзбекистондаги атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар (дейтерий ва кислород-18) қийматлари ҳақидаги 2022-2024 йилдаги маълумотлар базаси яратилган ва Жаҳон метеорология ташкилоти ва Атом энергияси бўйича халқаро агентликнинг “Ёғинлардаги изотоплар глобал тармоғи” (ЁИГТ) маълумотлар базасига киритилган, шу орқали мамлакатнинг ЁИГТ тармоғидаги иштироки таъминланган.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЁНЫХ СТЕПЕНЕЙ
DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 ПРИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

ИСАБЕКОВ СЕРИК РИСБЕК УГЛИ

**ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО И
ИЗОТОПНОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В
УЗБЕКИСТАНЕ**

11.00.03 – Гидрология суши. Водные ресурсы. Гидрохимия

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

Ташкент - 2026

Тема диссертации доктора философии (PhD) по географическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером B2025.2.PhD/Gr391.

Диссертация выполнена в Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте.

Автореферат на трёх языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-сайте Научного совета (www.nigmi.uz) и на Информационно-образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:

Нишонов Бахриддин Эркинович
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

Муродов Шухрат Одилович
доктор технических наук, профессор
Хайдаров Сафарбой Абдирашитович
доктор философии по географическим наукам

Ведущая организация:

Национальный университет Узбекистана

Защита диссертации состоится «17» апреля 2026 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета по присуждению учёных степеней DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 при Научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (Адрес:100052, г.Ташкент, ул.1-й проезд Бодомзор йули, 72. Тел: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319, e-mail: info@nigmi.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Научно-технической библиотеке Научно-исследовательского гидрометеорологического института (зарегистрирован за №238) (Адрес: 100052, г. Ташкент, ул. 1-й проезд Бодомзор йули, 72. Тел: +998 71 2358512, факс: +998 71 2371319).

Автореферат диссертации разослан «3» апреля 2026 г.

(Реестр протокола рассылки № _____ от « _____ » _____ 2026 г.).



Б.М.Холматжанов
Председатель Научного совета по
присуждению учёных степеней, д.г.н.

Э.Ю.Сафаров
ВрИО Учёного секретаря Научного совета по
присуждению учёных степеней, д.т.н.

Д.М.Тургунов
Председатель научного семинара при Научном
совете по присуждению учёных степеней, д.г.н.

ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в результате увеличения загрязнения атмосферного воздуха в городах и индустриальных районах изменяется химический состав атмосферных осадков, также, в условиях изменения климата возрастает значение атмосферных осадков в глобальном круговороте воды. В связи с этим, в докладе Международного агентства по атомной энергии говорится: «Потенциальное воздействие изменения климата на водные ресурсы является одним из наиболее тревожных вопросов, изучаемых в рамках многих международных научных программ. Определение характеристик источников влаги в местных осадках имеет решающее значение для лучшего понимания климатических взаимосвязей»³. Это обстоятельство требует изучения изменений химического состава атмосферных осадков в различных регионах мира, совершенствования методов оценки вклада атмосферных осадков в водные ресурсы рек, проведения научных исследований по использованию стабильных изотопов воды.

В мире проводятся исследования в данном направлении, в частности, по определению химического состава атмосферных осадков, их изменений в результате антропогенных и природных воздействий, влияния кислотных дождей на состояние компонентов окружающей среды. Также особое внимание уделяется изучению особенностей пространственных и временных изменений изотопного состава атмосферных осадков в условиях изменения климата, оценке их вклада в формирование водных ресурсов и выявлению локальных особенностей глобального водооборота.

В нашей республике реализуется ряд мер, направленных на снижение загрязнения атмосферного воздуха, выявлению дополнительных источников водных ресурсов, использованию атмосферных осадков в водоснабжении и достигнуты определенные положительные результаты. В Стратегии «Узбекистан-2030» определены важные задачи по «принятию решительных мер по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха, сохранению его природного состава» и «разработке долгосрочного баланса водных ресурсов республики и внедрению системы постоянного мониторинга за ним»⁴. В этой связи, выявление изменения химического состава атмосферных осадков от загрязнения атмосферного воздуха, оценка пространственных изменений химического и изотопного состава атмосферных осадков, определение источников водных ресурсов рек с использованием изотопных данных имеют важное научное и практическое значение.

Диссертационное исследование в определённой степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указах Президента Республики Узбекистан № УП-158 от 11 сентября 2023 года «О стратегии

³ Water and climate change. <https://www.iaea.org/topics/climate-change-and-the-water-cycle>

⁴ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-158 от 11 сентября 2023 года «О стратегии Узбекистана-2030». <https://www.lex.uz/ru/docs/6600404>

Узбекистан-2030», № УП-229 от 24 ноября 2025 года «О неотложных мерах по улучшению экологической ситуации в городе Ташкенте», Постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-4896 от 17 ноября 2020 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности гидрометеорологической службы Республики Узбекистан», в Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан № ПКМ-343 от 3 июня 2021 года «О дальнейшем совершенствовании системы оценки уровня загрязнения окружающей среды» а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии республики V. “Сельское хозяйство, биотехнология, экология и охрана окружающей среды”.

Степень изученности проблемы. Исследования, направленные на изучение пространственно-временных изменений химического и изотопного состава атмосферных осадков, проводились многими зарубежными учеными, в том числе Н.С.Сраиг, М.Г.Кендалл, W.G.Mook, J.R.Gat, M.Rozanski, P.Fritz, К.К.Мурата, J.C.Fontes и другими.

В странах бывшего Союза и СНГ химический состав атмосферных осадков и влияние загрязнения атмосферного воздуха на него изучались в работах таких ученых, как Я.А.Израэль, И.М.Назаров, И.Д.Еремина, Н.И.Толстихин, А.А.Матвеев, П.Ф.Свистов. Исследования А.М.Никанорова, Ю.А.Федорова, О.И.Башмакова, В.И.Ферронского, В.А.Полякова, Г.В.Симоновой и других были посвящены вопросам изменения изотопного состава атмосферных осадков.

В Узбекистане исследования минерализации атмосферных осадков и изменений их физико-химических параметров проводили такие исследователи, как Г.А.Толкачева, Т.Ю.Смирнова, Ю.И.Ковалевская, О.А.Агафонова. Ранее исследования стабильных изотопов в составе атмосферных осадков в Узбекистане практически не проводились. В настоящее время такие ученые, как Б.Э.Нишонов и Г.У.Умирзаков, занимаются изучением изотопного состава воды ледников, рек и осадков преимущественно в горных районах Узбекистана.

Данная диссертация отличается от вышеупомянутых работ тем, что посвящена изучению физико-химических показателей и пространственных особенностей химического состава атмосферных осадков в Узбекистане, их изменений во времени, а также, впервые в Узбекистане, пространственно-временного распределения значений стабильных изотопов (водорода-2 (дейтерия) и кислорода-18) в составе атмосферных осадков.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнена в рамках прикладного проекта плана научно-исследовательских работ

Научно-исследовательского гидрометеорологического института ИЗ-2020113030 «Создание программного продукта для мониторинга водных ресурсов и их загрязнения с использованием стабильных изотопов в Узбекистане» (2022-2025 гг.) и проекта Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) UZB-26411 «Определение пространственного и временного распределения изотопов ^2H и ^{18}O в атмосферных осадках и реках Узбекистана» (2022-2024 гг.).

Целью исследования является оценка пространственных особенностей и временных изменений химического и изотопного состава атмосферных осадков на территории Узбекистана.

Задачи исследования:

сбор, обобщение данных о химическом составе атмосферных осадков в Узбекистане и создание базы данных;

отбор проб атмосферных осадков в Узбекистане, анализ их химического и изотопного состава;

определение пространственных и временных изменений химического состава атмосферных осадков в Узбекистане;

создание базы данных значений изотопов ^2H и ^{18}O в атмосферных осадках в Узбекистане;

определение временных и пространственных изменений значений изотопов ^2H и ^{18}O в атмосферных осадках в Узбекистане;

построение локальных линий метеорных вод атмосферных осадков в Узбекистане и оценка их территориальных особенностей.

Объектом исследования являются атмосферные осадки на территории Узбекистана.

Предметом исследования является выявление территориальных особенностей изменений химического и изотопного состава атмосферных осадков на территории Узбекистана.

Методы исследования. В диссертации использованы методы гидрометеорологических расчетов и оценок, обобщения, математической статистики, регрессионного анализа. При определении физико-химических показателей и химического состава атмосферных осадков применены физико-химические методы анализа, при определении изотопного состава - современные методы анализа стабильных изотопов воды.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

оценены пространственные особенности физико-химических показателей (рН, электропроводность) и химического состава (минерализация, содержание главных ионов) атмосферных осадков в Узбекистане;

определены сезонные, внутригодовые и многолетние изменения физико-химических показателей и химического состава атмосферных осадков в 2000-2024 гг.;

впервые определены пространственные и временные (месячные, сезонные, годовые) изменения значений стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках в Узбекистане;

впервые оценены пространственные характеристики локальных линий метеорных вод для стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках в Узбекистане.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: оценены месячные, сезонные и многолетние изменения территориального распределения количества атмосферных осадков в Узбекистане;

определена взаимосвязь между минерализацией атмосферных осадков и концентрацией ионов в различных (городских, промышленных, горных и предгорных) регионах и получены уравнения регрессии;

определены значения стабильных изотопов - дейтерия и кислорода-18 в атмосферных осадках в различных регионах Узбекистана и оценены особенности их территориального распределения;

впервые получена локальная линия метеорных вод для атмосферных осадков в различных регионах Узбекистана;

данные о значениях стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках в Узбекистане за 2022-2024 годы включены в базу данных «Глобальной сети изотопов в осадках» (ГНИП) Всемирной метеорологической организации и Международного агентства по атомной энергии.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов исследования определяется тем, что при выполнении диссертационной работы использованы гидрометеорологические и гидрохимические данные, полученные стандартными методами в системе Агентства гидрометеорологической службы (Узгидромет) при Национальном комитете по экологии и изменению климата Республики Узбекистан, проведением изотопных анализов в лаборатории Международного агентства по атомной энергии, применением общепринятых методов исследования при обработке данных, в том числе методов математической статистики, включением данных изотопных значений, полученных в исследовании, в базу данных Всемирной метеорологической организации и Международной организации по атомной энергии «Глобальная сеть изотопов в осадках» (ГНИП), соответствием полученных результатов с результатами других исследователей в данном направлении и внедрением их в практику.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что полученные результаты и основные научные выводы, в том числе данные изотопного состава атмосферных осадков, полученные для территории Узбекистана, и локальные линии метеорных вод, заполняют существующие пробелы в данных изотопов в осадках в мире, а также примененные методы и научные подходы могут быть использованы при мониторинге химического и изотопного состава осадков в других регионах.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что полученные основные выводы и результаты служат новым важным

источником при определении мер по снижению загрязнения атмосферного воздуха, определении источников питания рек по изотопным данным осадков и локальным линиям метеорных вод, а также новым важным источником в направлениях и специальностях системы высшего образования республики, связанных с гидрологией и охраной окружающей среды.

Внедрение результатов исследования.

На основании научных результатов, полученных по пространственно-временному распределению химического и изотопного состава атмосферных осадков на территории Узбекистана:

результаты оценки пространственных характеристик физико-химических параметров (рН, электропроводность) и химического состава (минерализация, содержание главных ионов) атмосферных осадков в Узбекистане были использованы Агентством гидрометеорологической службы при определении влияния загрязнения атмосферного воздуха на физико-химические показатели и химический состав атмосферных осадков на территории республики (Справка Агентства гидрометеорологической службы при Национальном комитете Республики Узбекистан по экологии и изменению климата от 15 декабря 2025 года № 01-15/2033). В результате создана возможность получения дополнительных данных о загрязнении атмосферного воздуха и химическом составе атмосферных осадков;

данные о выявленных сезонных, годовых и многолетних изменениях физико-химических параметров и химического состава атмосферных осадков были использованы Агентством гидрометеорологической службы при подготовке периодических отчетов о загрязнении атмосферного воздуха в республике (Справка Агентства гидрометеорологической службы при Национальном комитете Республики Узбекистан по экологии и изменению климата от 15 декабря 2025 года № 01-15/2033). В результате, это позволило расширить содержание и охват отчетов о загрязнении атмосферного воздуха;

данные об определенных пространственных и временных (месячных, сезонных, годовых) изменениях значений стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках Узбекистана были использованы Агентством гидрометеорологической службы для формирования базы данных стабильных изотопов в атмосферных осадках (Справка Агентства гидрометеорологической службы при Национальном комитете Республики Узбекистан по экологии и изменению климата от 15 декабря 2025 года № 01-15/2033). В результате обеспечено участие Узбекистана в «Глобальной сети изотопов в осадках» Всемирной метеорологической организации и Международного агентства по атомной энергии, а также включение в эту сеть данных о значениях стабильных изотопов в атмосферных осадках в республике;

данные о пространственных характеристиках локальных линий метеорных вод по стабильным изотопам в атмосферных осадках в Узбекистане были использованы Агентством гидрометеорологической службы для определения источников водных ресурсов рек в республике

(Справка Агентства гидрометеорологической службы при Национальном комитете Республики Узбекистан по экологии и изменению климата от 15 декабря 2025 года № 01-15/2033). В результате, создана возможность получения более полной информации об источниках питания рек.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследования были обсуждены на 6 международных и 1 республиканской научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано всего 15 научных работ, из них 6 статей в журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 4 в республиканских и 2 в зарубежных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертации составляет 102 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность и востребованность темы исследования, показано соответствие темы приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, отмечена её связь с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация, дана оценка изученности проблемы, приведены цель и задачи, объект и предмет исследования, изложена научная новизна исследования и практическая значимость результатов, представлены сведения о внедрении в практику результатов исследования, об опубликованных работах и структуре диссертации.

Первая глава диссертации называется «**Вопросы изучения химического и изотопного состава атмосферных осадков**». В этой главе рассматривается пространственное распределение количество атмосферных осадков, научное и практическое значение изучения их химического и изотопного состава, «Глобальная сеть изотопов в осадках» (ГНИП) и участие в ней Узбекистана.

Распределение количества атмосферных осадков на территории Узбекистана очень различается: среднегодовое количество осадков составляет 80-100 мм на равнинах и достигает 800-900 мм в горах. Количество атмосферных осадков в Узбекистане также различается во времени (месяцах и сезонах): март-апрель – месяцы с наибольшим количеством осадков. 40% годовых осадков выпадает весной, 30% зимой и 15-20% осенью. Летом количество осадков резко уменьшается, составляя 2-3% годовых осадков на юге республики и 5-10% на севере.

Исследования химического состава атмосферных осадков в Узбекистане проводились в конце 1990-х и начале 2000-х годов Г.А.Толкачевой, Ю.И.Ковалевской, Т.Ю.Смирновой и О.А.Агафоновой. В этих исследованиях

изучался состав атмосферных осадков в Ташкентской области и его изменения в результате воздействия промышленных выбросов.

Химический состав атмосферных осадков формируется под воздействием вредных газов, выбрасываемых в атмосферу. Выбросы диоксида серы и оксидов азота в атмосферу приводят к закислению среды осадков и образуют «кислотные дожди». «Кислотные дожди» негативно влияют на состояние компонентов окружающей среды, воды и почвы, зданий и сооружений. Выброс аммиака в атмосферу приводит к щелочности среды осадков. Поэтому мониторинг физико-химических показателей и химического состава атмосферных осадков является важной частью экологического мониторинга.

Исследования по определению значений дейтерия и кислорода-18 в составе атмосферных осадков в мире начались в 1960-х годах. В 1962 году была создана «Глобальная сеть изотопов в осадках» (ГНИП) Всемирной метеорологической организации и Международного агентства по атомной энергии. В настоящее время этой сети собраны данные об изотопном составе осадков с более чем 1200 станций в более чем 100 странах мира. Примечательно, что эта сеть содержит данные об изотопах дейтерия и кислорода-18 в осадках по Узбекистану для метеорологической станции Ташкент-Обсерватория только за 1971 год.

В диссертационном исследовании были изучены химический и изотопный состав осадков на шести метеорологических станциях Узбекистана. Эти шесть станций были включены в «Глобальную сеть изотопов в осадках», и были получены отдельные номера станций по этой сети.

Во второй главе диссертации «Особенности пространственно-временных изменений химического состава атмосферных осадков в Узбекистане» рассматриваются многолетние и пространственные изменения химического состава атмосферных осадков в Узбекистане.

В диссертации проанализированы сезонные, годовые, многолетие и пространственные изменения физико-химических показателей (рН, электропроводность) и химического состава (минерализация, содержание главных ионов) атмосферных осадков в Узбекистане в 2000-2024 годах на основе данных 12 станций Узгидромета.

Химический состав атмосферных осадков является одним из важнейших показателей, отражающих экологическую ситуацию в изучаемом регионе. На формирование химического состава атмосферных осадков в Узбекистане влияет ряд природных и антропогенных факторов. В связи с разнообразием рельефа Узбекистана и различиями в расположении промышленных предприятий по регионам, физико-химические показатели атмосферных осадков варьируются по регионам.

Показатель рН. Значения рН ниже 7 указывают на кислую среду осадков. В течение изучаемого периода среднегодовые значения показателей рН в составе атмосферных осадков варьировались в диапазоне рН=6,2-7,2 (рис. 1а). Относительно более высокие среднегодовые значения показателей рН по регионам были зафиксированы в Бекабаде (рН=6,8-7,9), а также более

высокие показатели pH наблюдались на станциях Башкизылсай (pH=6,0-6,9) и Шахрисабз (pH=5,7-7,0). На других исследованных станциях (Ташкент, Самарканд, Фергана, Чирчик, Янгиюль, Туябугуз) показатели pH находились в диапазоне pH = 6,3-6,7. В некоторые месяцы слабокислые дожди наблюдались в Ангрене (pH=5,7) и Дуكانте (pH=5,8). Самые низкие значения были отмечены в Алмалыке, Фергане, Шахрисабзе, Дуكانте (pH=4,1), Чирчике (pH=4,2), Ташкенте (pH=4,5), Янгиюле (pH=5,0), Туябугузе (pH=5,1) и Башкизылсае (pH=5,1), Ангрене и Бекабаде (pH=5,4), Самарканде (pH=5,7). Данная ситуация может быть оценена как результат сжигания угля на тепловых электростанциях и влияния газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. Анализ долгосрочных изменений показал, что в последние годы наблюдается повышение показателя pH осадков (рис. 1б).

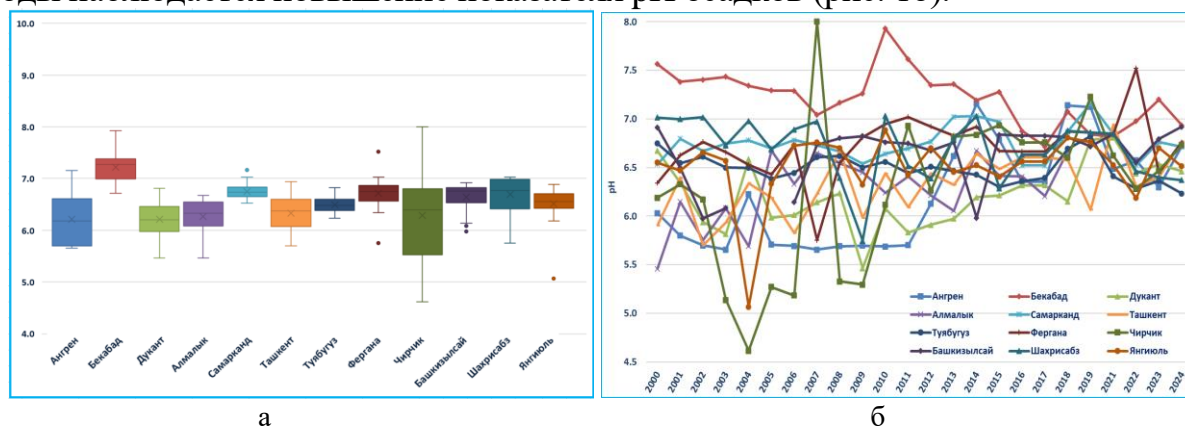


Рис. 1. Многолетние (2000-2024 гг.) изменения значений pH атмосферных осадков в Узбекистане: а) пространственные, б) многолетние

Электропроводность. Результаты исследования показали, что электропроводность атмосферных осадков также достаточно изменчива, и эта изменчивость в основном связана с уровнем индустриализации региона, степенью запыленности, а также природно-географическими условиями. Наибольшие значения наблюдались на станциях Алмалык (737,9 мкСм/см), Ангрэн (644,4 мкСм/см), Шахрисабз (457,1 мкСм/см), Фергана (441,6 мкСм/см) и Туябугуз (408,4 мкСм/см) (рис. 2а). Наименьшие значения наблюдались на станциях Башкизылсай (77,3 мкСм/см) и Дукант (118,9 мкСм/см), расположенных в горных районах. Согласно анализу месячных изменений электропроводности, максимальные значения наблюдаются в июле-августе (рис. 2б), что объясняется относительно малым количеством осадков в эти месяцы.

Минерализация осадков. Минерализация атмосферных осадков отражает воздействие пыли, промышленных выбросов и различных аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу. Этот показатель позволяет оценить качество воздуха, миграцию пыли и загрязняющих веществ. Поскольку в засушливых регионах, таких как Узбекистан, количество осадков невелико, высокая минерализация указывает на сильное воздействие пыльных бурь и промышленных выбросов.

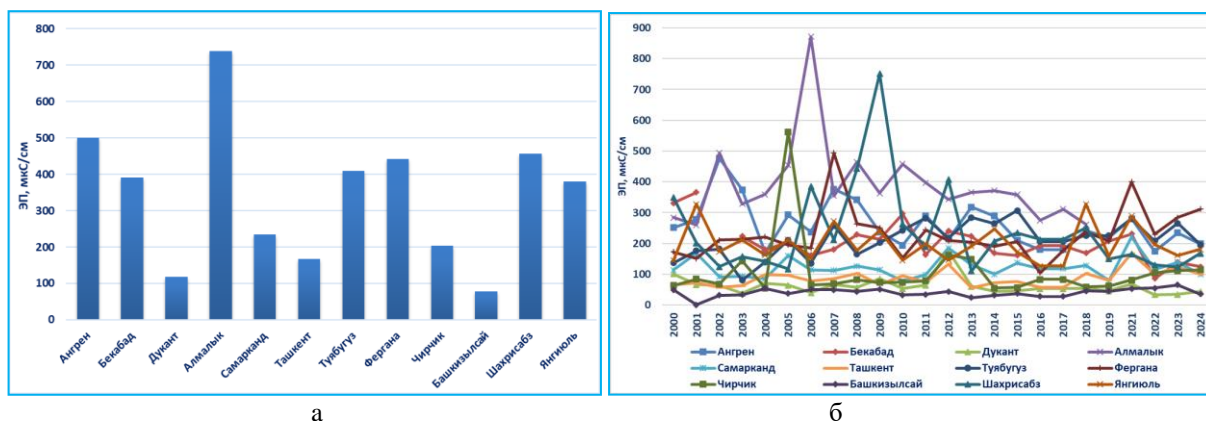


Рис. 2. Изменения электропроводности осадков (2000-2024 гг.)
а) пространственные, б) многолетние

Согласно анализу, минерализация атмосферных осадков (ΣU , мг/л) в Узбекистане показала значительные различия в разрезе регионов и во времени: по среднемноголетним данным, высокая минерализация осадков наблюдалась в городах Алмалык (172,4 мг/л), Ангрен (147,6 мг/л), Бекабад (125,2 мг/л), Фергана (112,7 мг/л). Эти города являются промышленно развитыми территориями, и выбросы горнодобывающих, металлургических, цементных и химических предприятий способствуют увеличению минерализация осадков. Низкоминерализованные осадки наблюдались на станциях Башкизылсай (26,0 мг/л) и Дукант (36,3 мг/л), расположенных в горных районах. Средние значения минерализации были зафиксированы на станциях Ташкент, Янгиюль, Чирчик, Туябугуз, Самарканд и Шахрисабз (рис. 3а).

Многолетние (2000–2024 гг.) анализы показывают, что в некоторые годы, в частности в 2010–2012 годах, минерализация осадков в Алмалыке резко возросла (до 450 мг/л). Это можно объяснить главным образом интенсификацией промышленной деятельности и уменьшением количества осадков в этот период. В других регионах годовые изменения были относительно стабильными, варьируясь от 25 до 150 мг/л (рис. 3б). В целом, минерализация атмосферных осадков тесно связана с засушливым климатом Узбекистана, выбросами аэрозолей из промышленных предприятий и пылевыми потоками с высохшего дна Аральского моря. Высокая минерализация может привести к увеличению нагрузки на почвенные и водные системы, а в некоторых случаях - к засолению почвы. Поэтому, непрерывный мониторинг физико-химических процессов в атмосфере и постоянный химический мониторинг имеют большое значение для обеспечения экологической безопасности.

Главные ионы. Главные ионы в составе атмосферных осадков являются важными показателями для оценки загрязнения воздуха и экологической ситуации в исследуемом регионе.

По результатам анализа химического состава атмосферных осадков в Узбекистане, осадки в основном относятся к сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевому типу (рис. 4). На всех 12 пунктах наблюдалось абсолютное преобладание ионов кальция среди катионов в составе осадков (около 20-30 мг/л).

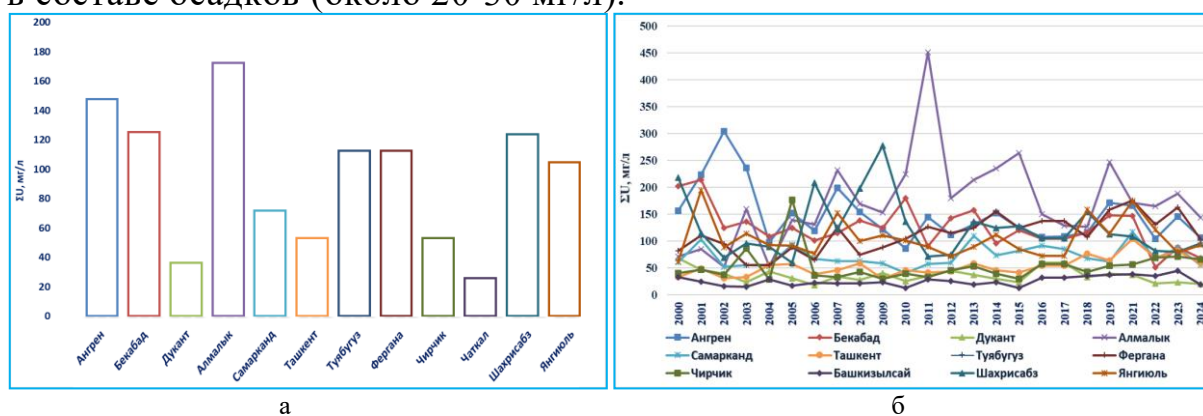


Рис. 3. Изменения в минерализации атмосферных осадков (2000-2024 гг.)
а) пространственные, б) многолетние

Это преобладание и постоянно высокое содержание ионов магния указывают на сильное влияние минеральных аэрозолей (почвенной пыли), характерных для засушливого климата региона. Доля натрия и калия в сумме катионов относительно невелика.

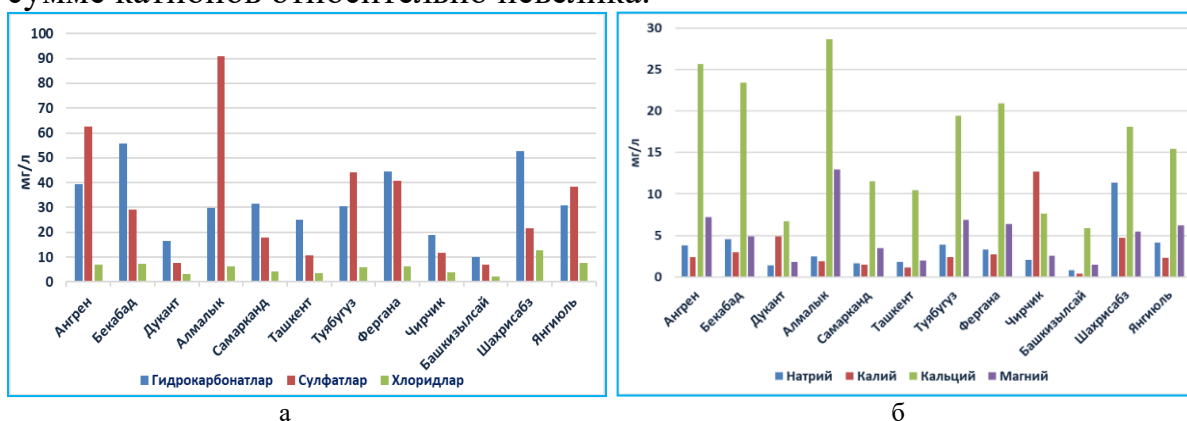


Рис. 4. Содержание главных ионов в атмосферных осадках (2000-2024 гг.): а) анионы, б) катионы

В группе анионов атмосферных осадков преобладают сульфатные и гидрокарбонатные ионы. В таком крупном промышленном центре, как Алмалык, количество сульфатов достигает высоких значений (более 90 мг/л) (рис. 4). Это в первую очередь связано с наличием в городе горно-металлургического предприятия. Диоксид серы, выбрасываемый в ходе промышленных процессов, в атмосфере за счет физико-химических процессов превращается в сульфаты, увеличивая их долю в составе осадков. В городах Бекабад и Шахрисабз доля гидрокарбонатов в составе осадков высока. А.А. Матвеев и О.И. Башмаков, изучая химический состав атмосферных осадков, выпадающих на Евразийском континенте, отнесли

атмосферные осадки, выпадающие на территории Центральной Азии, к гидрокарбонатно-кальциевой группе.

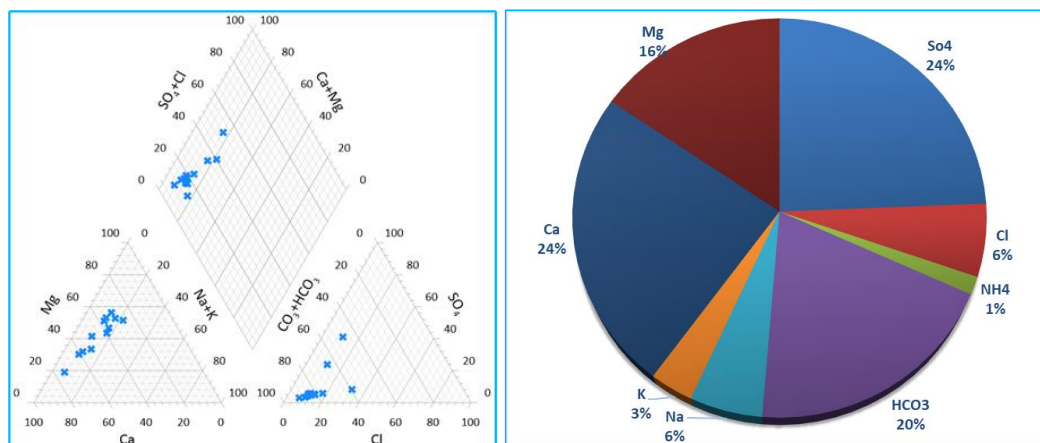


Рис. 5. Доля главных ионов в химическом составе атмосферных осадков (2000-2024 гг.)

Проведенные в диссертационной работе анализы показали, что химический состав многолетних (2000-2024 гг.) атмосферных осадков, наблюдаемых в Узбекистане, в основном относится к сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевой группе. Результаты показали, что среди катионов в составе осадков кальций (Ca^{2+}) составляет 24%, магний (Mg^{2+}) - 16%, натрий (Na^+) - 6%, а калий (K^+) - 3%. Среди анионов сульфаты (SO_4^{2-}) составляют 24%, гидрокарбонаты (HCO_3^-) - 20%, а хлориды (Cl^-) - 6%. Эти соотношения указывают на то, что в осадках в основном преобладает тип Ca-SO_4 . Низкое содержание Cl^- в осадках подтверждает континентальный климат. В составе осадков зимой наблюдается увеличение содержания сульфатов, а летом — гидрокарбонатов.

На основе получения корреляционных уравнений между минерализацией атмосферных осадков и содержанием в них главных ионов для всех пунктов мониторинга и оценки их точности было установлено, что минерализация на станции Ангрэн сильно коррелирует с ионами SO_4^{2-} и Mg^{2+} , в Алмалыке - с ионами SO_4^{2-} и Ca^{2+} , в Дуكانте - с ионами HCO_3^- и Ca^{2+} , в Башкизылсае — с ионами HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ и K^+ (табл. 1). Эти результаты указывают на необходимость учета пространственных особенностей при мониторинге загрязнения атмосферного воздуха и изучении химического состава осадков.

Третья глава диссертации «Пространственные особенности изотопного состава атмосферных осадков в Узбекистане» посвящена изучению изотопного состава атмосферных осадков. В этой главе сначала были проанализированы основные факторы, определяющие изотопный состав атмосферных осадков, далее изменения изотопного состава атмосферных осадков по территории и времени в Узбекистане.

Таблица 1

Уравнения зависимости минерализации атмосферных осадков от концентрации главных ионов в Узбекистане

Ангрен		Алмалык	
Уравнение регрессии	$r \pm \sigma_r$	Уравнение регрессии	$r \pm \sigma_r$
$\text{HCO}_3^- = 0,0392 \Sigma U + 33,495$	$0,10 \div 0,03$	$\text{HCO}_3^- = 0,0417 \Sigma U + 22,66$	$0,15 \div 0,12$
$\text{SO}_4^{2-} = 0,8445 \Sigma U - 61,943$	$0,90 \div 0,09$	$\text{SO}_4^{2-} = 0,7127 \Sigma U - 31,93$	$0,89 \div 0,02$
$\text{Cl}^- = -0,0032 \Sigma U + 7,310$	$0,05 \div 0,13$	$\text{Cl}^- = 0,0156 \Sigma U + 3,4783$	$0,24 \div 0,12$
$\text{Ca}^{2+} = 0,0642 \Sigma U + 16,215$	$0,47 \div 0,07$	$\text{Ca}^{2+} = 0,1565 \Sigma U + 1,6948$	$0,82 \div 0,09$
$\text{Mg}^{2+} = 0,03 \Sigma U + 2,7754$	$0,51 \div 0,09$	$\text{Mg}^{2+} = 0,0646 \Sigma U + 1,8118$	$0,49 \div 0,07$
$\text{Na}^+ = 0,0109 \Sigma U + 2,083$	$0,15 \div 0,12$	$\text{Na}^+ = 0,0013 \Sigma U + 2,2207$	$0,07 \div 0,05$
$\text{K}^+ = 0,0077 \Sigma U + 1,2298$	$0,29 \div 0,13$	$\text{K}^+ = 0,0034 \Sigma U + 1,2724$	$0,29 \div 0,12$
Дукант		Башкизылсай	
Уравнение регрессии	$r \pm \sigma_r$	Уравнение регрессии	$r \pm \sigma_r$
$\text{HCO}_3^- = 0,6311 \Sigma U - 6,510$	$0,90 \div 0,12$	$\text{HCO}_3^- = 0,4417 \Sigma U - 1,661$	$0,76 \div 0,12$
$\text{SO}_4^{2-} = 0,0821 \Sigma U + 4,499$	$0,36 \div 0,02$	$\text{SO}_4^{2-} = 0,0883 \Sigma U + 4,7395$	$0,24 \div 0,02$
$\text{Cl}^- = 0,0327 \Sigma U + 1,9135$	$0,23 \div 0,12$	$\text{Cl}^- = 0,063 \Sigma U + 0,6403$	$0,35 \div 0,12$
$\text{Ca}^{2+} = 0,2352 \Sigma U - 1,8229$	$0,86 \div 0,09$	$\text{Ca}^{2+} = 0,196 \Sigma U + 0,8277$	$0,59 \div 0,09$
$\text{Mg}^{2+} = 0,0143 \Sigma U + 1,304$	$0,26 \div 0,07$	$\text{Mg}^{2+} = 0,0274 \Sigma U + 0,7664$	$0,37 \div 0,07$
$\text{Na}^+ = 0,0115 \Sigma U + 0,954$	$0,18 \div 0,05$	$\text{Na}^+ = 0,0562 \Sigma U - 0,7257$	$0,85 \div 0,05$
$\text{K}^+ = 0,586 \Sigma U - 16,435$	$0,39 \div 0,12$	$\text{K}^+ = 0,0174 \Sigma U - 0,0254$	$0,59 \div 0,12$

При выполнении диссертационной работы впервые в Узбекистане были проведены систематические исследования по определению значений стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках.

Преобладание (abundance) определенных стабильных изотопов в воде определяется изотопными соотношениями ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и $^2\text{H}/^1\text{H}$), которые обозначаются как дельта (δ) и обычно выражаются в промилле (‰):

$$\delta^2\text{H} \text{ ёки } \delta^{18}\text{O} = \left(\frac{R_{\text{sample}}}{R_{\text{st}}} \right) \times 1000$$

В уравнении R_{sample} представляет собой соответствующее отношение $^2\text{H}/^1\text{H}$ или $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в образце, а R_{st} — соответствующее отношение $^2\text{H}/^1\text{H}$ или $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ в Венском стандарте средней океанической воды (VSMOW). Абсолютные значения в VSMOW составляют $^2\text{H}/^1\text{H} = 155,76 \pm 0,05 \cdot 10^{-6}$ и $^{18}\text{O}/^{16}\text{O} = 2005,2 \pm 0,45 \cdot 10^{-6}$.

Предварительный статистический анализ изотопных данных позволяет понять общие тенденции в изотопном составе атмосферных осадков. Этот анализ основан на данных, полученных с метеостанций Ташкент, Ангрен, Фергана, Самарканд, Шахрисабз и Башкизылсай в 2022-2024 гг.

Согласно результатам исследования, значения изотопов на каждой метеостанции демонстрируют высокую изменчивость в зависимости от сезонов и географических факторов. Значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ характеризуются относительно легкими в зимние месяцы и относительно тяжелыми в летние месяцы.

На всех станциях наблюдался широкий диапазон значений изотопов. Значения кислорода-18 ($\delta^{18}\text{O}$) в среднем варьировались от -17 ‰ до 3 ‰, а значения дейтерия ($\delta^2\text{H}$) - от -120 ‰ до 20 ‰ (табл. 2).

Такой широкий диапазон изотопных значений указывает на влияние сильного сезонного (температурного) эффекта, характерного для резко континентального климата Узбекистана. То есть, летние (теплые) атмосферные осадки имеют менее отрицательные значения изотопов, в то время как зимние (холодные) осадки имеют более отрицательные значения. Это типично для Центральноазиатского региона.

Таблица 2

Значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в атмосферных осадках (2022-2024 гг.)

Станции	$\delta^{18}\text{O}$, ‰				$\delta^2\text{H}$, ‰			
	Мин.	Макс.	Сред.	Стандарт откл.	Мин.	Макс.	Сред.	Стандарт откл.
Ташкент	-16,34	1,95	-7,78	4,19	-122,73	16,41	-49,22	35,71
Ангрен	-15,28	-0,14	-7,89	4,36	-108,39	6,43	-48,95	34,83
Башкизылсай	-17,66	-0,86	-9,20	3,88	-125,80	5,82	-56,26	31,87
Фергана	-15,52	2,21	-6,81	5,35	-114,61	18,82	-45,10	37,47
Самарканд	-14,35	1,10	-6,77	4,12	-98,44	18,82	-42,59	30,25
Шахрисабз	-19,87	0,02	-6,98	5,17	-148,10	21,60	-34,71	40,21

Сравнение определенных средних значений по станциям показывает их различия в зависимости от местоположения, высоты и пространственных источников влаги. Наиболее отрицательные значения наблюдаются на метеостанциях Башкизылсай (среднее значение $\delta^{18}\text{O} = -9,20\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -56,26\text{‰}$) и Ангрен (среднее значение $\delta^{18}\text{O} = -7,89\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -48,95\text{‰}$). Учитывая, что метеостанция Башкизылсай расположен в высокогорной местности, это наглядно демонстрирует эффект «высотного влияния» (рис. 6). С увеличением высоты доля легких изотопов в изотопном составе осадков возрастает из-за снижения температуры.

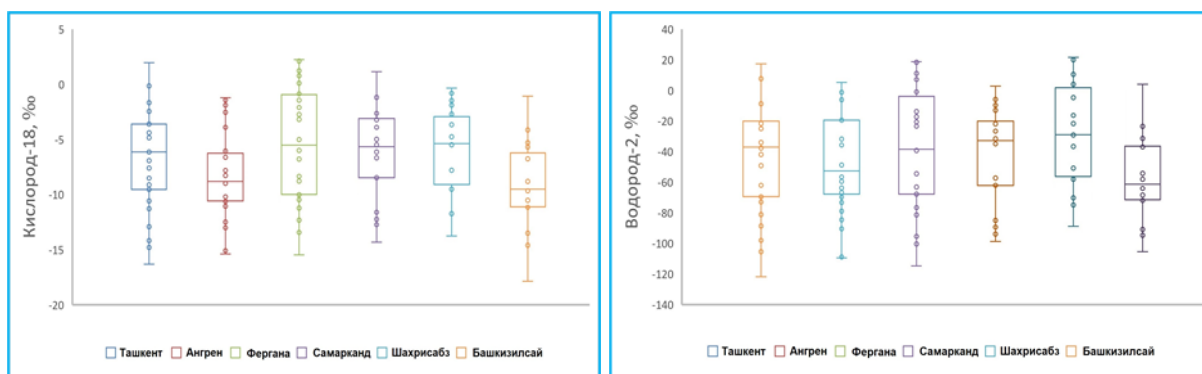


Рис. 6. Пространственное распределение изотопного состава атмосферных осадков (2022-2024 гг.)

Высокое содержание легких изотопов в составе осадков на станции Ангрен связано с ее более высоким расположением по сравнению с Ташкентом и Ферганой, а также с близостью к горному региону. На станциях Шахрисабз ($\delta^{18}\text{O} = -6,98\text{‰}$, $\delta^2\text{H} = -34,71\text{‰}$), Фергана ($\delta^{18}\text{O} = -6,81\text{‰}$,

$\delta^2\text{H}=-45,10\text{‰}$) и Самарканд ($\delta^{18}\text{O}=-6,77\text{‰}$, $\delta^2\text{H}=-42,59\text{‰}$) изотопный состав осадков демонстрирует относительно менее отрицательные значения.

Такие значения указывают на то, что изотопы в основном менее фракционированы перед выпадением осадков. Проведенные анализы и представленные результаты показывают, что изотопный состав атмосферных осадков в Узбекистане соответствует температурному и высотному эффектам, характерным для Центральной Азии.

Полученные в диссертационной работе значения d-excess изотопного состава атмосферных осадков в Узбекистане были сопоставлены с принятым международным средним значением 10‰ (Крейг, 1961). d-excess ($d\text{-excess} = \delta^2\text{H} - 8 \cdot \delta^{18}\text{O}$) является важным показателем, чувствительным к степени кинетического фракционирования в источнике влаги и влиянию вторичного испарения в процессе выпадения осадков. Дальний перенос влаги и влияние локального испарения смещают изотопный состав выше Глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ). Взаимосвязь между d-excess и $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках в Узбекистане подтверждает двусторонний механизм фракционирования между локальными источниками влаги (высокий d-excess) и влиянием засушливого климата (низкий d-excess), показывающий, что Локальная линия метеорных вод (ЛЛМВ) Узбекистана находится выше ГЛМВ.

В диссертационной работе впервые была получена локальная линия метеорной воды для стабильных изотопов в составе атмосферных осадков в Узбекистане и оценены ее пространственные характеристики. Линия ЛЛМВ отражает взаимосвязь между изотопным составом ($\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$) атмосферных осадков, полученная со станций ГНИП в Узбекистане в 2022–2024 гг. (рис. 8). Этот анализ имеет фундаментальное значение для определения основных механизмов фракционирования и динамики источников влаги в гидрологическом цикле региона.

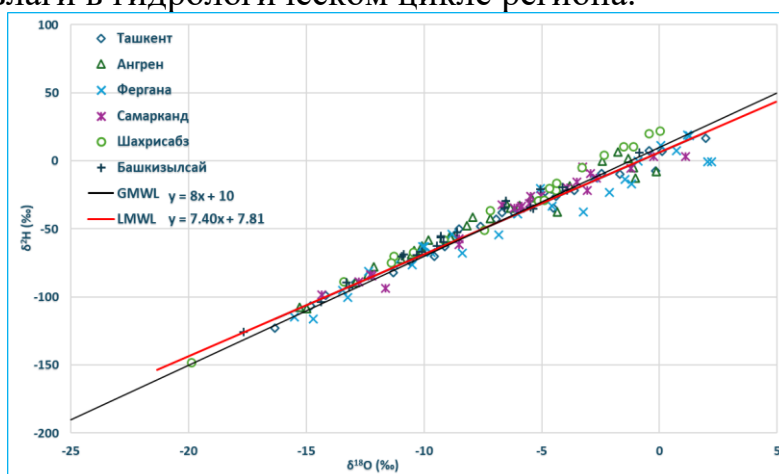


Рис. 7. Сравнение атмосферных осадков в Узбекистане на основе локальной линии метеорных вод (LMWL) (2022-2024 гг.)

Красная линия на графике представляет собой Локальную линию метеорной воды (LMWL) ($\delta^2\text{H}=7,40 \cdot \delta^{18}\text{O}+7,81$), а черная линия — Глобальную линию метеорной воды ($\delta^2\text{H}=8 \cdot \delta^{18}\text{O}+10$). Отклонение ЛЛМВ (7,40)

относительно ГЛМВ (8) обусловлено тем, что в засушливых и полусушливых регионах, таких как Центральная Азия, атмосферные осадки образуются в условиях низкой влажности и высокой температуры воздуха, что приводит к изотопному фракционированию, и этот процесс обогащает $\delta^{18}\text{O}$ меньше, чем $\delta^2\text{H}$, что приводит к крутому наклону линии. На наклон линии также влияют сезонные (температурные) эффекты. $\delta^{18}\text{O}$ распределено в широком диапазоне (от -20‰ до 5‰) по точкам. Наиболее отрицательные значения ($\delta^{18}\text{O} < -15\text{‰}$) соответствуют холодным зимним месяцам или осадкам на больших высотах (например, на метеостанции Башкизылсай), в то время как наиболее высокие (менее отрицательные) значения связаны с теплыми летними осадками, что указывает на сильное сезонное температурное фракционирование. Большинство точек станций Башкизылсай и Ангрэн расположены в отрицательной части графика, вследствие влияния высотного эффекта. Это отражает сильное влияние эффекта высоты на распределение изотопов, из-за расположения этих станций в высоких горных или предгорных районах. Напротив, точки, относящиеся станциям Шахрисабз и Самарканд смещены в сторону более высоких значений вокруг ГЛМВ, что указывает на более сильное влияние температуры и испарения на меньших высотах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Исследования химического состава атмосферных осадков в Узбекистане проводились в конце 1990-х — начале 2000-х годов. Данные о стабильных изотопах (дейтерия и кислорода-18) в составе осадков имеются только за 1971 год для станции Ташкент-Обсерватория.

2. Установлено, что среднегодовое значение pH атмосферных осадков в Узбекистане в 2000-2024 годах был относительно выше на станциях Бекабад (pH=6,8-7,9), Башкизылсай (pH=6,0-6,9) и Шахрисабз (pH=5,7-6,9). На станциях Ташкент, Самарканд, Фергана, Чирчик, Янгиюль, Туябугуз среднегодовые значения pH находились в диапазоне pH=6,3–6,7. В некоторые месяцы в Ангрэне (pH=5,7) и Дуكانте (pH=5,8) наблюдались слабые кислотные дожди. Самые низкие месячные значения были отмечены в Алмалыке, Фергане, Шахрисабзе, Дуكانте (pH=4,1), в Чирчике (pH=4,2), Ташкенте (pH=4,5), Янгиюле (pH=5,0), Туябугузе (pH=5,1) и Башкизылсае (pH=5,1), Ангрэне и Бекабаде (pH=5,4), Самарканде (pH=5,7). Это можно объяснить воздействием газов, выбрасываемых тепловыми электростанциями и промышленными предприятиями.

3. Выявлено, что электропроводность атмосферных осадков значительно варьируется по регионам. Самые высокие значения наблюдались на станциях Алмалык (737,9 мкСм/см), Ангрэн (644,4 мкСм/см), Шахрисабз (457,1 мкСм/см) и Фергана (441,6 мкСм/см). Самые низкие значения наблюдались на станциях Башкизылсай (77,3 мкСм/см) и Дукант (118,9 мкСм/см), расположенных в горных районах.

4. Минерализация атмосферных осадков в Узбекистане значительно варьируется в зависимости от региона и времени. Наибольшая минерализация

была зафиксирована на станциях Алмалык (172,4 мг/л), Ангрен (147,6 мг/л) и Бекабад (125,2 мг/л), что указывает на высокое антропогенное воздействие на качество атмосферного воздуха в этих городах. Наименьшая минерализация была зафиксирована на станциях Башкизылсай (26,0 мг/л) и Дукант (36,3 мг/л), расположенных в горных регионах.

5. Установлено, что состав осадков в Узбекистане характеризуется высоким содержанием сульфатов, гидрокарбонатов и ионов кальция, при этом сульфаты преобладают в промышленных районах, а карбонаты - в горных районах. Анализ взаимосвязи между минерализацией атмосферных осадков и количеством главных ионов в них для всех пунктов мониторинга показал, что на станции Ангрен минерализация сильно коррелирует с ионами SO_4^{2-} и Mg^{2+} ($r=90$ и $r=51$, соответственно), на станции Алмалык - с ионами SO_4^{2-} и Ca^{2+} ($r=89$ и $r=82$, соответственно), на станции Дукант — с ионами HCO_3^- и Ca^{2+} ($r=90$ и $r=86$, соответственно), а на станции Башкизылсай — с ионами HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+ и K^+ ($r=76$, $r=59$, $r=85$ и $r=59$, соответственно).

6. Годовое изменение значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в атмосферных осадках в Узбекистане имеет значительные различия в зависимости от количества осадков, сезонной температуры, процессов испарения и происхождения воздушных масс. Значения изотопов в осадках наиболее низкие зимой, летом состав изотопов становится тяжелее из-за увеличения испарения. Этот годовой изотопный цикл характерен для резко континентального климата Узбекистана. Нестабильность значений изотопов внутри года соответствует изменениям источников осадков и атмосферной циркуляции.

7. В территориальном разрезе было отмечено, что изотопный состав наиболее легкий в горных районах (Башкизылсай, Ангрен) и относительно тяжелее в предгорьях и долинах (Шахрисабз, Фергана). С повышением высоты увеличивается доля легких изотопов в осадках. Это означает зависимость процессов выпадения изотопов ($\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$) в осадках от высотного градиента и орографии.

8. Локальная линия метеорной воды (LMWL), построенная для Узбекистана ($\delta^2\text{H}=7,40*\delta^{18}\text{O}+7,81$), близка к глобальной линии метеорной воды (GMWL) ($\delta^2\text{H}=8*\delta^{18}\text{O}+10$), но имеет несколько меньший наклон из-за специфических для региона условий испарения и засушливого климата. В теплый сезон отклонение точек от ГЛМВ увеличивается, что свидетельствует о сильных вторичных процессах испарения.

9. Создана база данных о значениях стабильных изотопов (дейтерия и кислорода-18) в атмосферных осадках Узбекистана за 2022-2024 годы, которая включена в базу данных Глобальной сети изотопов в осадках (ГНИП) Всемирной метеорологической организации и Международного агентства по атомной энергии, что обеспечивает участие страны в сети ГНИП.

**SCIENTIFIC COUNCIL FOR AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES
DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 AT THE HYDROMETEOROLOGICAL
RESEARCH INSTITUTE**

HYDROMETEOROLOGICAL RESEARCH INSTITUTE

ISABEKOV SERIK RISBEK UGLI

**SPATIAL FEATURES OF CHEMICAL AND ISOTOPIC
COMPOSITION OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION
IN UZBEKISTAN**

11.00.03 – Land Hydrology. Water resources. Hydrochemistry

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

Tashkent - 2026

The title of the doctoral dissertation (PhD) has been registered by the the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan with registration number B2025.2.PhD/Gr391.

The dissertation has been prepared at the Hydrometeorological Research Institute.

The abstract of dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is available online on the Scientific Council website (www.nigmi.uz) and on the website of "Ziyo.net" Information-educational portal (www.ziynet.uz.)

Scientific consultant:

Nishonov Bakhridin Erkinovich

candidate of technical sciences,
senior researcher

Official opponents:

Murodov Shuhrat Odilovich

doctor of technical sciences, professor

Khaidarov Safarboy Abdirashitovich

doctor of philosophy on geographical sciences (PhD)

Leading Organization:

National University of Uzbekistan

The defense of the dissertation will take place on «17» April 2026 in 14⁰⁰ at the meeting of the Scientific Council for the award of scientific degrees DSc.18/2025.27.12.Gr.02.01 at the Hydrometeorological Research Institute (Address: 72, 1st Bodomzor yuli street, Tashkent, 100052, Ph.: +998 71 2358512, Fax: +998 71 2371319; e-mail: info@nigmi.uz).

PhD dissertation can be found in the Scientific-Technical Library of the Hydrometeorological Research Institute (registered under No.238). (Address: 72, 1st Bodomzor yuli street, Tashkent, 100052, Ph: +998 71 2358512, Fax: +998 71 2371319).

Abstract of dissertation has been distributed on «3» April 2026 year.
(Mailing report No. ___ on _____ 2026 year).



B.M.Kholmatjanov
Chairman of the Scientific council
for award of scientific degrees,
Doctor of Geographical Sciences

E.Yu.Safarov
Acting Scientific Secretary of the Scientific council
for award of scientific degrees,
Doctor of Technical Sciences

D.M.Turgunov
Chairman of the Scientific seminar under Scientific
council for award of scientific degrees,
Doctor of Geographical Sciences

INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

The aim of the research is to assess the regional characteristics and temporal changes in the chemical and isotopic composition of atmospheric precipitation in Uzbekistan.

The object of the research work is the atmospheric precipitation in the territory of Uzbekistan..

The scientific novelty of the research is as follows:

the regional characteristics of the physicochemical parameters (pH, electrical conductivity) and chemical composition (mineralization, content of basic ions) of atmospheric precipitation in Uzbekistan were assessed;

seasonal, intra-annual and interannual changes in the physicochemical parameters and chemical composition of atmospheric precipitation for 2000-2024 were determined;

for the first time, regional and temporal (monthly, seasonal, annual) changes in the values of stable isotopes (deuterium and oxygen-18) in the composition of atmospheric precipitation in Uzbekistan were determined;

for the first time, the regional characteristics of local meteoric water lines for stable isotopes (deuterium and oxygen-18) in the composition of atmospheric precipitation in Uzbekistan were assessed.

Implementation of the research results.

Based on the scientific results obtained on the spatial and temporal distribution of the chemical and isotopic composition of atmospheric precipitation in the territory of Uzbekistan:

the results of the assessment of the regional characteristics of the physicochemical parameters (pH, electrical conductivity) and chemical composition (mineralization, amount of major ions) of atmospheric precipitation in Uzbekistan were used by the Agency of Hydrometeorological Service to determine the impact of atmospheric air pollution on the physicochemical parameters and chemical composition of atmospheric precipitation in the territory of the republic (Reference of the Agency of Hydrometeorological Service under the National Committee on Ecology and Climate Change of the Republic of Uzbekistan for dated December 15, 2025 №. 01-15/2033). As a result, it was possible to obtain additional data on atmospheric air pollution and the chemical composition of atmospheric precipitation;

the data on the identified seasonal, annual and interannual changes in the physicochemical parameters and chemical composition of atmospheric precipitation were used by the Agency of Hydrometeorological Service to prepare periodic reports on atmospheric air pollution in the republic (Reference of the Agency of Hydrometeorological Service under the National Committee on Ecology and Climate Change of the Republic of Uzbekistan for dated December 15, 2025 № 01-15/2033). As a result, it allowed to expand the content and scope of reports on atmospheric air pollution;

the data on the determined regional and temporal (monthly, seasonal, annual) changes in the values of stable isotopes (deuterium and oxygen-18) in atmospheric precipitation in Uzbekistan were used by the Agency of Hydrometeorological Service to form a database of stable isotopes in atmospheric precipitation (Reference of the Agency of Hydrometeorological Service under the National Committee on Ecology and Climate Change of the Republic of Uzbekistan for dated December 15, 2025 №. 01-15/2033). As a result, Uzbekistan's participation in the "Global Network of Isotopes in Precipitation" of the World Meteorological Organization and the International Atomic Energy Agency and the inclusion of data on the values of stable isotopes in atmospheric precipitation in the republic in this network allowed;

the data on the territorial characteristics of local meteoric water lines for stable isotopes in atmospheric precipitation in Uzbekistan were used by the Agency of Hydrometeorological Service to identify the sources of river water resources in the republic (Reference of the Hydrometeorological Service Agency under the National Committee on Ecology and Climate Change of the Republic of Uzbekistan on dated December 15, 2025 No. 01-15/2033). As a result, it allowed obtaining more complete information about the water sources of river.

The structure and scope of the dissertation. The structure of the dissertation consists of an introduction, three chapters, conclusion and list of references. The volume of the dissertation is 102 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; I part)

1. Исабеков С.Р., Нишонов Б.Э., Саидмахмудова Л.А. Тошкент шаҳридаги атмосфера ёғинлари миқдори ва кимёвий таркибининг кўп йиллик ўзгаришлари // Гидрометеорология ва атроф муҳит мониторинги. – 2023. – №3 – Б. 88-96. (11.00.00; №11)

2. Умирзақов Ғ.Ў., Сакс Т., Калванс А., Нишонов Б.Э., Исабеков С.Р. Писком дарёси ҳавасида сувнинг стабил изотоплари миқдорининг ўзгаришлари // Гидрометеорология ва атроф муҳит мониторинги. – 2023. – №3 – Б. 80-88. (11.00.00; №11)

3. Нишонов Б.Э., Умирзақов Г.У., Исабеков С.Р., Саидмахмудова Л.А., Нурматов М.Н. Тошкент шаҳри атмосфера ёғинлари таркибидаги стабил изотоплар // Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги. - 2024. - №2. Б. 69-77. (11.00.00; №11)

4. Исабеков С.Р., Нишонов Б.Э. Тошкент вилоятида атмосфера ёғинлари кимёвий таркибининг ўзгаришлари // Ўзбекистон География жамияти ахбороти. - 2024. 66–жилд. - Б.207-214. (11.00.00; №6)

5. Исабеков С.Р., Шаденов Р.И., Нишонов Б.Б. Минерализация и кислотность атмосферных осадков в Ташкентской области // Экономика и социум. – 2024. – Выпуск № 12 (127). - С. 1240-1246 (11.00.00; №11)

6. Nishonov B., Isabekov S., Saidmakhmudova L. Chemical composition of atmospheric precipitation in Uzbekistan // Nature and Science. - 2025. - 23(10). PP. 10-16. (11.00.00; №4)

II бўлим (II часть; II part)

7. Исабеков С.Р., Нишонов Б.Э. Олмалик шаҳрида атмосфера ёғинлари миқдори ва муҳитининг ўзгаришлари / “Географик тадқиқотлар: инновацион ғоялар ва ривожланиш истиқболлари” III Халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2023. – Б. 100-103.

8. Нишонов Б.Э., Исабеков С.Р. Фарғона шаҳрида атмосфера ёғинлари таркибининг физик-кимёвий хусусиятлари / “Иқлим ўзгариши шароитида арид ҳудудлар сув ресурслари: муаммолар ва уларнинг ечимлари” Халқаро илмий-амалий конференция материаллари. – Тошкент, 2023. – Б. 33-36.

9. Нишонов Б.Э., Исабеков С.Р., Нурматов М.Н. Использование лазерной спектроскопии для анализа стабильных изотопов воды в гидрологических исследованиях / “Замонавий физик-кимёвий тадқиқот усулларининг илмий ва ишлаб чиқариш соҳасидаги интеграцияси”

халқаро олимлар иштирокида республика миқёсидаги илмий-амалий анжуман. – Тошкент, 2023. – Б. 69.

10. Исабеков С.Р., Нишонов Б.Э., Саидмахмудова Л.А. Шахрисабз шаҳрида атмосфера ёғинлари таркибининг хусусиятлари / “Глобал иқлим ўзгариши оқибатлари, сув танқислигини юмшатишнинг ҳозирги ҳолати ва истиқболлари” Халқаро илмий-амалий конференция материаллари. Қарши, 2024 йил 19-20 март. - Б.102-105.

11. Исабеков С.Р. Пространственное распределение осадков в Узбекистане / II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о земле и туризма в условиях меняющегося мира». – Уфа, 23-27 марта 2024 года. - С. 60-62.

12. Нишонов Б.Э., Умирзаков Г.У., Исабеков С.Р., Нурматов М.Н., Саидмахмудова Л.А. Создание сети наблюдений стабильных изотопов воды в Узбекистане / Материалы международной научно-практической конференции «Интеграция проблем изменения климата в образование Узбекистана». Ташкент, 23-24 мая 2024 года. - С. 135-138.

13. Исабеков С.Р., Нишонов Б.Э. Химический состав атмосферных осадков промышленных городов Узбекистана / Сборник трудов IV Международной молодежной научно-практической конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». Санкт-Петербург, 13-14 марта 2025 года. – Санкт-Петербург: РГГМУ, 2025. – С. 90-92.

14. DGU 51250. Nishonov B.E., Isabekov S.R., Umirzaqov G.O., Saidmaxmudova L.A., Nurmatov M.N., Razikova I.R. «O‘zbekistonda stabil izotoplarning hudud va vaqt bo‘yicha taqsimlanishi» elektron hisoblash mashinalari uchun dastur. Ro‘yxatdan o‘tkazilgan sana 22.05.2025 y.

15. BGU 2012. Nishonov B.E., Isabekov S.R., Umirzaqov G.O., Saidmaxmudova L.A. «O‘zbekistonda atmosfera yog‘inlarining izotop tarkibi» ma’lumotlar bazasi. Ro‘yxatdan o‘tkazilgan sana 14.05.2025 y.

Автореферат “Гидрометеорология ва атроф-муҳит мониторинги”
журналида таҳрирдан ўтказилди.



№881988

Қоғоз бичими 60x84^{1/16}. Ризограф босма усули.

«Times New Roman» гарнитураси.

Шартли босма табағи: 2. Адади 70. Буюртма рақами № ____.

2023-йил 13-майдаги №233 лицензия.

«Минерал ресурслар институти» босмахонасида чоп этилган.

Босмахона манзили: 100064, Тошкент ш., Олимлар кўчаси, 64-уй.

Электрон почта: info@mridm.uz

Тел: +99899 71 209 0893; +99871 209 0890