

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ  
НАВОИЙ КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ КОМБИНАТИ**

**МУЗАФАРОВ АМРУЛЛО МУСТАФОЕВИЧ**

**ОЛТИН, УРАН АЖРАТИБ ОЛИШ ЖАРАЁНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ  
ЭКОТИЗИМГА ТЕХНОГЕН УЛУШИНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШНИНГ  
ЯДРО-ФИЗИК УСЛУБЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**01.04.01 –Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари**

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

**Тошкент– 2018**

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

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

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

Музафаров Амрулло Мустафоевич Олтин, уран ажратиб олиш жараёнлари ва уларнинг экотизимга техноген улушини назорат қилишнинг ядро-физик услубларини ишлаб чиқиш.....	3
Музафаров Амрулло Мустафоевич Разработка ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенный вклад в экосистему.....	28
Muzafarov Amrullo Mustafoevich Development of nucleus-physical methods of the monitoring the process of the extraction of gold, uranium and their technogenic contribution to the ecosystem.....	54
Эълон қилинган ишлар рўйхати List of published works Список опубликованных работ.....	59

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ, АСТРОНОМИЯ ИНСТИТУТИ,  
ЎЗБЕКИСТОН МИЛЛИЙ УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ  
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 РАҚАМЛИ  
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ  
НАВОИЙ КОН-МЕТАЛЛУРГИЯ КОМБИНАТИ**

**МУЗАФАРОВ АМРУЛЛО МУСТАФОЕВИЧ**

**ОЛТИН, УРАН АЖРАТИБ ОЛИШ ЖАРАЁНЛАРИ ВА УЛАРНИНГ  
ЭКОТИЗИМГА ТЕХНОГЕН УЛУШИНИ НАЗОРАТ ҚИЛИШНИНГ  
ЯДРО-ФИЗИК УСЛУБЛАРИНИ ИШЛАБ ЧИҚИШ**

**01.04.01 –Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари**

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

**Тошкент– 2018**

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (Doctor of Philosophy) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида №В2017.2.PhD/FM61 рақами билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институти ва Навоий кон-металлургия комбинатида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифаси ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) ва «Ziynet» Ахборот таълим порталида ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)) жойлаштирилган.

**Илмий раҳбар:**

**Саттаров Гайвилло Саттарович,**

техника фанлари доктори, профессор

**Расмий оппонентлар:**

**Муминов Толиб Мусаевич,**

физика-математикафанлари доктори, профессор,

Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси академиги

**Салимов Мухаммад Ибрагимович,**

техника фанлари номзоди

**Етакчи ташкилот:**

**Самарқанд давлат университети**

Диссертация ҳимояси Ядро физикаси институти, Астрономия институти, Ўзбекистон Миллий университети ҳузуридаги DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 рақамли Илмий кенгаш асосида тузилган Бир марталик Илмий кенгашнинг 2018 йил \_\_\_\_\_ соат \_\_\_\_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-18; факс (+99871) 289-31-50; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

Диссертация билан Ядро физикаси институтининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (\_\_\_\_\_ рақами билан рўйхатга олинган. (Манзил: 100214, Тошкент ш., Улуғбек қўрғони, ЯФИ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Диссертация автореферати 2018 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ куни тарқатилди.  
(2018 йил “\_\_” \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

**М. Ю. Ташметов,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси ф.-м.ф.д., профессор

**Р. Ярмухамедов,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби ф.-м.ф.д., профессор

**И. Нуриддинов,**

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш ҳузуридаги илмий семинар раиси ф.-м.ф.д., профессор

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

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати.** Бугунги кунда жаҳонда олтин ва уран қазиб олиш ва ишлаб чиқаришларининг технологик жараёнларини ўрганиш стратегик маҳсулотлар олишни кўпайтириш масалаларини ҳал қилишга катта аҳамият берилмоқда. Мавжуд технологик жараёнларда маҳсулот таннархини камайтириш, металллар ажратиб олиш даражасини ошириш, маҳсулотлардан рационал фойдаланиш замонавий амалий ядро физикасининг юқори устувор масалаларидан ҳисобланади. Дунёдаги ихтиёрий давлатнинг иқтисодий ривожланиши ва келажаги унинг олтин-валюта захирасига ва энергия ташувчи маҳсулотларига боғлиқ. Йилдан йилга олтин қазиб олиш ўсмоқда: бу кўрсаткич 2012 йилда 2613,6 тоннани ташкил қилган бўлса, 2016 йилда 3211,4 тоннани ташкил қилди. Худди шу темпда уран қазиб олиш ҳам ўсмоқда: бу кўрсаткич 2012 йилда 53663,0 тоннани ташкил қилган бўлса, 2016 йилда 61003,2 тоннани ташкил қилди. Бу тартибда ўсишнинг асосий сабаби қимматбаҳо олтинга ва ядро ёқилғиси ҳисобланган уранга бўлган бутунжаҳон талабидир. Шунингдек, технологик ва табиий наъмуналарнинг элементлар таркибини, уран изотоп таркиби ва унинг емирилишидан ҳосил бўлган маҳсулотлар, олтин, уран ва йўлдош металллар ажратиб олиш жараёнларининг назорати учун ядро-физик таҳлил усулларини ишлаб чиқиш ўта муҳимдир.

Бугунги кунда жаҳонда нодир ва радиофаол металллар маҳсулот захирасининг камайиб кетиши мураккаб, ҳар хил типдаги, бой бўлмаган ва иккиламчи маъданларни саноатга қўллашни талаб қилмоқда. Олтин ва уранни қазиб олишни йилдан йилга ошириш вазифаси фойдали металлларни қазиб олишда ва маҳсулотдан мажмуавий фойдаланишда самарали, иқтисодий самарадор ва экологик ҳавфсиз технологиялар кераклигини белгилайди. Шу йўналиш бўйича олиб борилаётган чора-тадбирлар дастури асосида юқори натижаларга эришилди, шу жумладан фойдали қазилмаларни қазиб олиш ҳажми ошди, тайёр маҳсулотнинг таннархи камайди ва йиллик саноат маҳсулоти ҳажми ошди.

Мамлакатимизда давлат иқтисодиётига, ривожига салмоқли улуш қўшадиган кон-металлургия саноатининг ҳамма технологик жараёнларини аналитик назорат қилишни таъминловчи дунё миқёсидаги экспериментал тадқиқотларни ривожлантиришга катта эътибор берилмоқда. Ўзбекистон Республикаси олтин ва уран қазиб олувчи дунё давлатларининг биринчи ўнталигига киради. Ишлаб чиқарилувчи бутун тайёр маҳсулот гидрометаллургия услуби билан қазиб олинади. Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг Ҳаракатлар стратегияси дастурини бажаришда олтин, уран ажратиб олиш жараёнлари ва уларнинг экосистемага техноген улушини назорат қилишнинг ядро-физик услубларини ишлаб чиқиш ва саноатга қўллаш вазифалари белгиланди.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2010 йил 15 декабрдаги №ПП-1442 «2011-2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини устивор ривожлантириш», 2015 йил 4 мартдаги №УП-4707 «2015-2019

йилларда саноатни таркибий қайта тузиш, модернизация ва диверсификациялаш чора-тадбирларини таъминлаш дастури ҳақида» ва 2017 йил 7 февралдаги №УП-4947 «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантиришнинг ҳаракатлар стратегияси ҳақида» Қарор ва Фармонларида, ҳамда шу соҳа бўйича қабул қилинган норматив-ҳуқуқий ҳужжатларда назарда тутилган вазифаларни бажаришда ушбу диссертация тадқиқоти маълум даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялар ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик», III. «Қайта тикланувчи энергия манбаларидан фойдаланиш ва ривожлантириш» ва VII. «Ер ҳақидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология и минерал хом ашёларни қайта ишлаш)» устувор йўналишларига мувофиқ бажарилган.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Олтин, уран қазиб олиш ва уларнинг экотизимга техноген улушини ядро-физик услубда назорат қилишга бағишланган илмий ишлар билан қуйидаги дунё миқёсидаги йирик олимлар, жумладан Европа олимларидан Teldeshi Yu., Keller K., Burgess D.D., Lyon W.S., Rastegas E., Vandekastle K., Osek F. ва россиялик олимлардан Флеров Г.Н., Меднис И.В., Мясоедов Б.Ф., Кузнецов Р.А., Бурмистенко Ю.Н., Иванов И.Н., Перельман А.И., Ласкорин Б.Н., Петров Ю.В., Кирьяков Г.И., Возжеников Г.С., Забаренко К.Б. ва бошқа мутахассислар шуғулланган.

Ўзбекистонлик олимлар (Россия табиий фанлар академияси аъзоси Кист А.А., Ганиев А.Г., Муминов Т.М., Хатамов Ш.Х., Арипов Г.А., Худойберганов У., Миранский И.Н., Хайдаров Р.А., Бакиев С.А., Мухамедов С.М., Саттаров Г.С., Флициан Е.Г., Кулматов Р.А. ва бошқалар) олтин, уран қазиб олиш ва уларнинг экотизимга техноген улушини ядро-физик услубда назорат қилиш усуллари яратиш бўйича маълум ютуқларга эришганлар.

Чет элларда ўтказилган тадқиқотлар тахлили -  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  ва  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  орасидаги радиофаоллик мувозанатининг бузилиши,  $^{234}\text{U}$  изотопи миқдорининг уран тайёр маҳсулоти таркибида ошиб кетиши, уран изотоплари орасидаги радиофаол мувозанатнинг бузилиши, кон-металлургия мажмуаси ва гидрометаллургик корхона чиқиндиларини сақловчи омборларнинг атроф-муҳит ифлосланишининг даражасини баҳолаш ва техноген бирикмалар билан ер ости сувларини ифлосланиш эҳтимоллиги етарли даражада ўрганилмаганлигини кўрсатади.

**Диссертация мавзусининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасаси илмий-тадқиқот ишлари билан боғлиқлиги.** Диссертация иши Ядро физикаси институти ва Навоий давлат кончилик институтидаги қуйидаги илмий лойиҳалар доирасида бажарилди: 3.1.3.8 «Ўзбекистон Республикаси саноат корхоналари технологик чиқиндиларидан қимматли металларни ажратиб олиш услубларини ишлаб чиқиш ва қўллаш ва уларнинг аналитик назорат усуллари» (2000-2002); А-13.113 «Рений, олтин ва бошқа қимматбаҳо металларни олиш технологик жараенини назорат қилиш услубини ишлаб чиқиш» (2006-2008); А-7-3.8.3 «Навоий худуди табиий–

техноген ҳолатини тадқиқ қилиш ва табиий фанлар мутахассисликлари талабаларини ўқитишнинг интерфаол усулларини ишлаб чиқиш» (2009-2011).

**Тадқиқотнинг мақсади** технологик ва табиий наъмуналарнинг элементлар таркибини, уран изотоп таркиби ва унинг емирилишидан ҳосил бўлган маҳсулотлар, олтин, уран ва йўлдош металллар ажратиб олиш жараёнларининг назорати учун ядро-физик таҳлил усулларини ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқот вазифалари:**

олтин ва йўлдош металллар ажратиб олиш технологик жараёнларини ўрганишда  $^{252}\text{Cf}$ -нейтрон манбаси ёрдамида инструментал нейтрон-фаоллаштириш таҳлили (ИНФТ) услубини ишлаб чиқиш;

уран тайёр маҳсулотида ва химконцентратида уран изотоп таркибини аниқлашнинг альфа-спектрометрик усулини ишлаб чиқиш;

уран тайёр маҳсулотини меъёрдаги солиштирама фаоллик қийматида 0,68 мКи/кг олиш ва аралашма тайёрлаш усулини ишлаб чиқиш ва қўллаш;

ядро фильтрларидан фойдаланиб атмосферадаги радиофаол ташландик чиқиндилар катталигини аниқлаш ва уран саноатидаги радиоэкологик ҳолатни доимий назорат қилиш усулини қўллаш;

ядро реакторидан фойдаланиб олтин қазиб олувчи саноат корхонасининг атроф-муҳитга техноген таъсирини баҳолашнинг инструментал нейтрон-фаоллаштириш таҳлили услубини ишлаб чиқиш ва қўллаш.

**Тадқиқотнинг объекти** олтин таркибли, уран таркибли технологик наъмуналар, уран оксиди-чалаоксиди, химконцентрати, технологик суюқликлар, саноат оқава сувлари, кон-металлургия саноати чиқиндилари, балансдан ташқаридаги маъданлар ва экотизим (ҳаво, тупроқ, сув) наъмуналаридан иборат.

**Тадқиқот предмети** олтин таркибли маъданларни очиқ усулда қазиб олиш жараёнлари, олтин таркибли ва уран таркибли маъданларни қайта ишлашнинг гидрометаллургик ва геотехнологик услублари ва технологик жараёнларнинг экологик йуналишлари ҳисобланади.

**Тадқиқот усуллари.** Лаборатория ва саноат шароитида ядро-физик таҳлил усулини қўллаб экспериментал тадқиқотлар усуллари, инструментал нейтрон-фаоллаштириш таҳлили, рентгенофлуоресцент усул, «белгили атомлар» усули, радиометрия, альфа ва гамма-спектрометрик усул ҳамда синов натижаларини замонавий компьютер техникасидан фойдаланиб математик статистика ва корреляцион таҳлил усулларини ўзида илмий умумлаштирган мажмуавий усуллардан фойдаланилган.

**Тадқиқотнинг илмий янгилigi** куйидагилардан иборат:

биринчи марта электродиализга асосланган ҳар хил диаметрли (0,16–2,0 мкм) ядро фильтрларидан фойдаланиб табиий шароитда келиб чиқиш сабаби техноген бўлган ионларнинг (Sc, Cr, Fe, Co, Zn, Se, Ag, Sb, Ce, Eu ва Au) ўзини тутишини баҳолаш имконини берувчи ер ости ва саноат оқава сувларида кимёвий элементлар мавжуд бўлиш формалари аниқланган;

уран оксиди-чалаоксиди ва химконцентратида ураннинг изотоп

таркибини ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) альфа-спектрометрик усул билан аниқлаш имконини берувчи радиоактив концентратларни усул ишлаб чиқилган;

ҳар хил шароитда урани ер остида танлаб эритиш (миниреагентли, кислотали ва гипохлоридли) тартиби тадқиқ қилиниши натижасида НКМК технологик маҳсулотларида ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) радиофаол мувозанатнинг бузилиш механизми аниқланган;

уран тайёр маҳсулотини тоблаш цехининг атмосферага зарарли чиқиндиларини чиқариш миқдорини камайтириш учун оптимал иш тартиблари ишлаб чиқилган;

геотехнологик жараёнда  $^{226}\text{Ra}$  изотопининг ўзини тутишини ўрганиш асосида урани ер остида танлаб эритиш бўйича фойдаланишдан бўшаган ер майдонларини рекультивация қилиш усули яратилган.

**Тадқиқотнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

ядро реакторидан фойдаланиб технологик ва табиий намуналар таркибида кўпэлементли нейтрон-фаоллаштириш таҳлили ва  $^{252}\text{Cf}$ -нейтрон манбаасидан фойдаланиб олтин, уран, қимматли йўлдош металллар оператив назорати ва экологик муаммоларни ечиш усуллари ишлаб чиқилган;

ҳар хил табиий ва технологик намуналарда табиий радиофаол элементлар ва ураниннг изотоп таркибини аниқлаш асосида  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  ва  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  орасидаги радиофаол мувозанатнинг бузилиш қонуниятларини аниқлаш усуллари ишлаб чиқиш натижалари келтирилган;

уран саноатининг атроф-муҳитга радиофаол моддалар чиқиндисини чиқариш катталигига таъсири ва унинг атроф-муҳитга техноген таъсирини минималлаштириш факторлари баҳоланган;

ифлосланиш қонуниятларини аниқлаш ва келажақда атроф-муҳитга техноген таъсирининг катталигини олдиндан айтиб бериш мақсадида олтин қазиб олувчи саноат корхонаси фаолияти ҳудудида техноген элементларнинг фазовий тақсимланиши, ер ости ва саноат оқава сувларида элементларнинг мавжуд бўлиш формалари аниқланган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги.** Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги маълум ҳажмдаги назарий ва лаборатория тадқиқотларининг олинганлиги, замонавий усуллар ва ўлчаш асбобларининг қўлланилганлиги, ишлаб чиқилган усулларнинг халқаро стандарт намуналар билан солиштирилганлиги, параллел таҳлиллар ўтказилганлиги ва ҳар хил тадқиқотчилар ва лабораториялар натижаларининг ўзаро солиштирилганлиги билан исботланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти уран ишлаб чиқаришда зарарли радиофаол модда чиқиндисининг атмосферага таъсири, аввал маълум бўлмаган ва қўлланилувчи уран геотехнологиясига боғлиқ бўлган  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  ва  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  орасидаги радиофаол мувозанатнинг бузилиши, олтин қазиб олувчи корхона атрофида жойлашган ҳудуднинг гидрометаллургия шароитига боғлиқ ҳолда маъдан қазиб олишда ва қайта ишлашда техноген элементлар билан

ифлосланиши қонуниятлари ва аниқлаш механизми факторларини баҳолаш билан белгиланади.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти саноат шароитида  $^{252}\text{Cf}$ -нейтрон манбасидан фойдаланиб олтин ва қатор қимматли йўлдош металллар миқдорини аниқлашнинг тезкор инструментал нейтрон-фаоллаштириш таҳлили услубини ишлаб чиқиш ва қўллаш, сувларнинг ифлосланиши катталикларини прогнозлаш, ер ости ва саноат оқава сувларида элементларнинг миграция шароитларини ва мавжуд бўлиш формаларини аниқлаш усулларини ишлаб чиқиш ва қўллаш билан изоҳланади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Олтин, уран ажратиб олиш жараёнлари ва уларнинг экотизимга техноген улушини назорат қилишнинг ядро-физик услубларини ишлаб чиқиш асосида:

уранни ер остида танлаб эритиш асосида олинган уран химконцентрати ва оксид-чалаоксиди уран ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) изотоп таркибини альфа-спектрометрик усулда ўлчаш услуги тайёр уран маҳсулотини буюртмачи талабидаги меъёрий солиштирма фаоллик қийматига мос маҳсулот олиш учун қўлланилган (Навоий кон-металлургия комбинати давлат корхонасига қарашли “1-сон ГМЗ”нинг 14.12.2017 йилдаги 2455-рақамли далолатномаси). Илмий натижаларининг қўлланиши сотишга тайёрланган уран тайёр маҳсулоти сифатини ошириш имконини берган;

технологик чиқиндиларни сақлаш омбори фаолият худуди тупроғи ва ер ости сувлари наъмуналарида табиий ва техноген элементлар миқдорини аниқлаш услубидан технологик чиқиндиларни сақлаш омборининг учинчи навбатини ва кузатиш кудукларини лойиҳалашда фойдаланилган (Навоий кон-металлургия комбинати давлат корхонаси Марказий кон бошқармасининг 2017 йил 12 декабрдаги 2446-рақамли далолатномаси). Илмий натижаларининг қўлланиши Марказий кон бошқармасининг “2-сон ГМЗ” технологик чиқиндиларни сақлаш омборининг атроф-муҳитга техноген таъсирини баҳолаш имконини берган;

табиий ва технологик намуналарининг таркибини таҳлил қилиш учун ишлаб чиқилган кўп элементли нейтрон-фаоллаштириш услублари ФА-А7-Ф056 «Тошкент шаҳар экологик ҳолатининг аҳоли соғлиги ҳолати билан боғлиқликни наъмоён қилишнинг кўп элементли ядро-аналитик услублари» (2009-2011) амалий лойиҳа доирасида атроф-муҳит объектларини тадқиқ қилишда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 2018 йил 3 июлдаги 2/1255-1737-сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланиши ҳаво, юза сувлар, тупроқ ифлосланишининг ўртача қийматларини аниқлаш ва аҳоли саломатлиги бўйича чора-тадбирлар ишлаб чиқиш мақсадида Тошкент шаҳар туманларидаги биосферик объектларида элементларнинг тарқалиш хариталарини тақдим қилиш имконини берган;

табиий ва технологик наъмуналарда уран изотоп таркибини аниқлаш учун ишлаб чиқилган услублар ФА-А14-Ф060 «Табиий ва технологик материалларда оғир ва камёб металлларни аниқлашнинг янги юқори сезгир ядро-физик услубларини ишлаб чиқиш» (2009-2011) амалий лойиҳа

доирасида ноёб ва тарқоқ элементларни аниқлаш мақсадида металлургик ишлаб чиқариш чиқиндиларини таҳлил қилишда ишлатилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар Академиясининг 2018 йил 3 июлдаги 2/1255-1737–сонли маълумотномаси). Илмий натижаларининг қўлланиши уран маҳсулотлари таркибидаги кўшимча элементларни аниқлашда ва атроф-муҳит муҳофазасида муҳим аҳамиятга эга бўлиб,  $10^{-4}$  –  $10^{-9}$  % аниқликда 30 та микроэлементни аниқлаш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқот натижалари 7 та халқаро ва маҳаллий илмий-амалий анжуманларида муҳокама қилинган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Диссертация мавзуси бўйича жами 19 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий нашрларда 10 та мақола, шулардан 3 таси хорижий журналларда нашр этилган, 1 та электрон ҳисоблаш машиналар учун яратилган дастурига гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация тартиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 122 бетни ташкил этган.

## ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

**Кириш қисмида** олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланган, тадқиқот объекти ва предмети тавсифланган, тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига боғлиқлиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларининг амалиётга қўлланилиши, нашр қилинган ишлар ва диссертация тузилиши келтирилган.

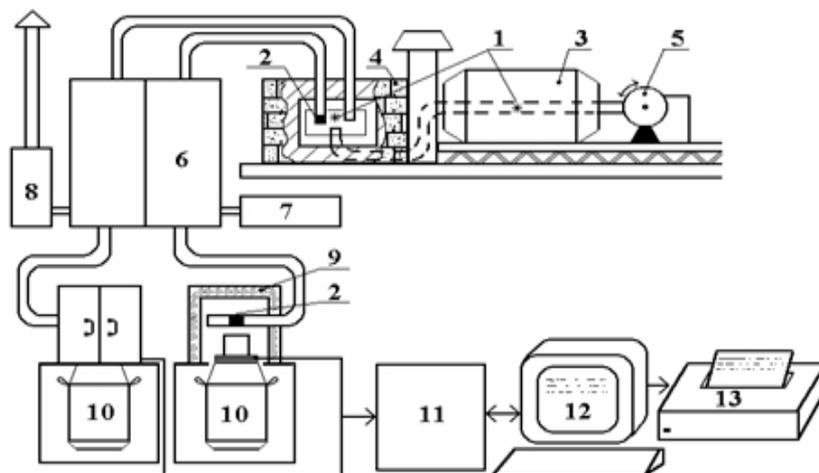
Диссертациянинг «**Олтин ва уран ишлаб чиқариш жараёнларини назорат ва таҳлил қилиш учун таҳлилнинг ядро-физик усулидан фойдаланишнинг аҳволи**» деб номланган биринчи боби ядро-физик усуллар таҳлилининг умумий классификацияси, олтин ва уран ажратиб олиш жараёнлари ҳамда экологик ва радиоэкологик намуналарни назорат қилиш масалаларини ёритишга бағишланган.

Фаоллаштириш таҳлил усулларининг назарий асослари баён этилиб, инструментал нейтрон-фаоллаштириш таҳлили батафсил ёритилган ҳамда бу масаладаги ҳар хил усулларнинг ютуқ ва камчиликларининг тавсифи келтирилган. Унинг асосида ядро-физик ва альфа-спектрометрик усуллар таҳлил қилиниб, уларнинг қўлланилиш имкониятлари очиб берилган.

Диссертациянинг «**Олтин ва уранни ишлаб чиқариш технологик жараёнларини назорат қилиш ва таҳлилнинг ядро-физикавий услублари тажриба техникаси**» деб номланган иккинчи бобида диссертант томонидан ишлаб чиқилган тупрокдаги табиий (U, Ra, Th и K) радионуклидларнинг миқдорини аниқлаш ва таҳлил қилиш усуллари келтирилган, намуналарини ўлчаш  $\gamma$ -спектрлари спектрометрда бажарилган. Бунда ишчи ҳажми  $80 \text{ см}^3$  га тенг бўлган Ge(Li)-детекторидан ( $^{60}\text{Co}$  изотопининг 1330 кэВ энергияли чиқиш чизиғи бўйича ажрата олиш қобилияти 2,7 кэВ га тенг) фойдаланилган. Бу жараён («NOKIA» фирмаси) LP-4900В кўп каналли дастурлаштирилган анализатор ёрдамида бажарилиши келтирилган. Шу билан бир қаторда табиий сувлардаги радийнинг миқдорини аниқлаш ҳам кўрсатиб ўтилган ва бунинг учун фойдаланилган эманацион усул баён этилган.

Радийни эманацион усул билан аниқлаш мазмуни эритма таркибидан радонни санокли ажратиб олиш, эманацияси ва унинг маҳсулотларини радиометрик фаоллигини ўлчаш “Камера” типдаги лаборатория анализаторида амалга оширилиши орқали изоҳлаб берилади.

Завод лабораторияси шароитида  $1 \cdot 10^9$  нейтр/с нейтрон чиқаришга эга бўлган  $^{252}\text{Cf}$ -нейтрон манбаси олтин ва йўлдош элементларни аниқлаш ва бунинг учун ишлаб чиқилган ва таклиф қилинаётган инструментал нейтрон-фаоллаштириш усулларни қўллаш алоҳида тавсифлаб берилган. Бунинг учун 1-расмдаги лаборатория қурилмасидан фойдаланилганлиги кўрсатиб ўтилган.



1-  $^{252}\text{Cf}$ -нейтронлар манбаси; 2-намуна; 3- нейтронлар манбаасини саклаш кутуси (контейнери); 4-нурланиш блоки; 5-электромотор; 6-пневмотранспорт тизими; 7-компрессор; 8-фильтр; 9- кўрғошинли уй; 10-суяқ азотли Дьюар идишидаги ярим утказгичли детектор (ЯЎД); 11-аналог-рақамли ўзгартиргич; 12-Pentium-III компьютери ва 13-принтер

### 1-расм. $^{252}\text{Cf}$ -нейтрон манбали нейтрон-фаоллаштириш лаборатория қурилмасининг блок-схемаси

Электромотор ёрдамида пулт орқали бошқариладиган манба нурланиш блокига ўрнатилади. Ge(Li)-детектори ёрдамида импульсларни тезлигини ўлчашлар амалга оширилиб, натижалар LP-4900B («NOKIA»фирмаси) кўп каналли анализатор ёрдамида қайта ишланади.

Олтинни ва технологик намуналарни қисқа вақт яшовчи радионуклидларни жадаллаштириш таҳлилни ўтказиш учун нурланиш қурилмасида иккита канал ўрнатилган. Янчилган намунани цилиндрсимон кўп марта қўлланиладиган полиэтилен контейнерга жойлаштирилади. Унинг диаметри 13 мм бўлиб, баландлиги 40 мм. Контейнерга 10-12 мл технологик эритма ва зичлигига боғлиқ ҳолда 10-15 г қаттиқ намуна солинади. Пулт орқали бошқариладиган сиқилган ҳавони етказиб берувчи компрессорнинг пневмотранспорт канали орқали етказиб бериладиган қисқа вақт яшовчи радионуклидлар намуналари таҳлил режимида олиб борилади. Фойдали сигнални фонга таъсирини ошириш учун намуналарни циклик нурланиши жорий этилган.

Қисқа ва ўртача яшовчи радионуклидларнинг тартибини таҳлил қилиш натижалари 1-жадвалда келтирилган.

Ўртача вақт яшовчи радионуклидларни таҳлил қилиш учун 8 та вертикал каналлар ўрнатилган. Ҳар бир каналга диаметри 80 мм, баландлиги 12 мм, унда 100-120 г қаттиқ намуна жойлашадиган 11 (дона) дан текис кассеталар жойлаштирилган. Нейтронлар оқими ҳар бир каналнинг ўртасида у максимал кийматни, охирида эса 2 марта кам нейтронлар оқимини ташкил этади.

Смоладаги олтинни тезкор (экспресс) тарзда аниқлаш тури бу тез нейтронлар ёрдамида олтиннинг ядросини изомер ҳолатини кўзғатиш

жараёнини тадқиқ қилиш ҳисобланади.

## 1-жадвал

### Аналитик таҳлил қилинадиган радионуклидларнинг ядро-физик тавсифи

Элемент→РН	$E_{\gamma}$ ,кэВ.	$T_{1/2}$	Кларк, %.	$m_{наб}$ ,г.	$t_{нур}, t_{сов}, t_{улч}$ ; с.	$N_{цик}$	$L$ , %.
F→ <sup>20</sup> F	1633	11с	0,06	10	20-2-20	10	0,8
N→ <sup>16</sup> N	6130	7,14с	0,06	250	15-2-15	2	0,2
Mg→ <sup>27</sup> Mg	844	9,46 м	2,0	100	600-120-600	1	1,0
Al→ <sup>28</sup> Al	1778	2,3м	8,1	100	400-100-300	1	0,01
Sc→ <sup>46m</sup> Sc	142	18,6 с	0,002	10	40-2-40	3	0,003
V→ <sup>52</sup> V	1434	3,8 м	0,010	100	500-300-500	1	0,01
Cu→ <sup>66</sup> Cu	1039	5,1м	0,005	10	360-120-360	1	0,03
Se→ <sup>77m</sup> Se	162	17 с	$10^{-5}$	10	40-2-40	10	0,003
Mo→ <sup>101</sup> Mo	191	14 м	$10^{-4}$	100	600-2-600	1	0,01
Ag→ <sup>110</sup> Ag	657	24с	$5 \cdot 10^{-6}$	10	50-2-50	10	0,005
Ba→ <sup>137</sup> Ba	661	2,5м	0,06	10	200-2-200	2	0,7
Sm→ <sup>155</sup> Sm	104	22м	0,0008	100	600-2-600	1	0,008
W→ <sup>183m</sup> W	107	5,3с	0,0001	10	10-2-10	10	0,01
Au→ <sup>197m</sup> Au	278	7,2с	0,0007	10-15	20-2-15	10	0,5
U→ <sup>239</sup> U	74	23,5м	$25 \cdot 10^{-5}$	10	25м-5м-20м	1	$5 \cdot 10^{-5}$

Бундай ҳолатда бўлиниш спектрининг кесими кичиклиги туфайли матрица умуман фаоллашмайди. Юқорида келтирилган фактларга асосланиб, (n,n', $\gamma$ ) реакцияси асосида тўйинган ва ҳавода қуруқ смоладаги олтин микдорини таҳлил қилиш мумкин. Шунга асосан олтин ва унга йўлдош элементларни аниқлашнинг самарали тартиби аниқланди.

2-жадвалда ионалмашини смолаларининг нейтрон билан фаоллаштириш таҳлили (НФТ) самарали шароитлари натижалари келтирилган.

Смолада олтин таҳлилидан олинган ўртача натижалар уни наъмуна (пробир) таҳлили билан солиштирилганда мос келиш натижалари олтин бўйича 0,5-4,5 г/кг ни ташкил қилади ва бундаги аниқлаш хатолиги 8% га тенг. Таҳлиллар натижаларининг 4 карралик хатолиги 2% дан катта бўлмаган микдорда эканлиги аниқланди.

Магнит фракция (МФ)ни ишлаб чиқариш унумдорлиги 8000т/йил бўлгандаги чиқиндилардан (НКМКда шунча утилизация қилинадиган чиқинди мавжуд) қўшимча 50 кг олтин ва темир сульфати олиш (қаттиқ ва суяқ ҳолдаги) 17,8 т/йил ни ташкил этади.

## 2- жадвал

### Ион алмашини смолаларининг НФТ самарали шароитлари

Элемент→РН	$T_{1/2}$	$M_{наб}$ , Г.	$t_{нур}, t_{сов}, t_{улч}$ ; с.	$N_{п}$	$L_D$ , %
V→ <sup>52</sup> V	3,75 м	70	300-100-300	1	0,05
Cu→ <sup>66</sup> Cu	5,1м	70	300-100-300	1	0,4
Se→ <sup>77m</sup> Se	17,5 с	7	35-2-35	10	0,03
Ag→ <sup>110</sup> Ag	24,4 с	7	50-2-50	10	0,06
W→ <sup>183m</sup> W	5,3 с	7	12-2-12	10	1,0
Au→ <sup>197m</sup> Au	7,4 с	250	20-3-15	5	0,4
Au→ <sup>197m</sup> Au	7,4 с	70	20-2-15	10	0,8

Саноат оқава ва ер ости сувларини ва тупроқни таҳлил қилиш бўйича ишлаб чиқилган усуллар ЎзР ФА ЯФИнинг ВВР-СМ типли нейтронлар чиқиши  $5 \cdot 10^{13}$  нейтр/сек\*см<sup>2</sup>булган атом реакторидан фойдаланиш орқали амалга оширилди. Тупроқ намуналарини 105<sup>0</sup>С ҳароратда доимий массада куритилди ва намуналарнинг ҳар бирини полиэтилен ва фольгага 50 мг дан қилиб ўраб қўйилди.

Тупроқ таҳлилини икки тартибдаги нурланиш ва ўлчаш орқали амалга оширилди. Ўртача яшовчи элементлар радионуклидлари (As, La, Sm, W, Au, U), 1соат нурлантириб, 3 кун «совитиб», узоқ яшовчи элементлар радионуклидлари (Sc, Fe, Co, Ni, Rb, Ag, Sb, Cs, Ce, Eu, Tb, Lu, Hf, Hg), 10 соат нурлантириб, 20 кун «совитиб» кейин таҳлил қилинди.

Биз тупроқдаги элементларни топишда қўлланилган инструментал нейтрон таҳлил услубларини такомиллаштирдик ва тоғ жинсларидаги элементларни топишда қўладик. 2-ГМЗ худудидаги тупроқда 22 кимёвий элемент аниқланди ва 580 нуқтадаги ҳолатнинг техноген аҳволига баҳо берилди.

Элементларнинг бойитиш коэффиценти қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланди:

$$K_{об} = \frac{C_x * K_{он}}{C_{он} * K_x} \quad (1)$$

бунда  $C_x$ –текширилаётган элемент миқдори;  $C_{таянч}$ –таянч элемент миқдори;  $K_x$ –текширилаётган элемент Кларки;  $K_{таянч}$ –таянч элемент Кларки (скандий).

Элементларни сувдаги мавжуд бўлиш формаларини аниқлаш учун сорбцияли ва электродиализли методлардан фойдаланилади ва улар ион алмашувчи мембранали филтрлардан фойдаланишга асосланган. Ядро филтрлари саноат оқава ва ер ости сувларидаги элементларнинг мавжуд бўлиш формаларини аниқлашда қўлланилди.

Элементларнинг сувдаги мавжуд бўлиш формаларини ўрганиш шуни кўрсатдики, олтин, сурьма ва хром элементлари 2-ГМЗ худудида техноген таъсир қилувчи миграция-индикатори бўлиб хизмат қилади.

Диссертациянинг «**Табиий объектлар ва саноат маҳсулотларида уранинг изотоп таркибини аниқлаш**» деб номланган учинчи бобида қуйидаги тадқиқот натижалари келтирилган:

- табиий сувларда, уран оксиди-чалаоксиди ва химконцентратида <sup>234</sup>U концентрациясини радиокимёвий тайёрлаб электролиз усулида темир танга (подложка)га ўрнатиб аниқлашнинг альфа-спектрометрик услуги ишлаб чиқилган ва қўлланилган;

- <sup>234</sup>U (аллоген) мувозанат қиймат ҳосил бўлиш механизми ва <sup>238</sup>U (аутоген) емирилиш ҳисобидан ҳосил бўлиш механизми аниқланди;

- ядро-физик ва технологик жараёнлар ҳисобига <sup>234</sup>U/<sup>238</sup>U орасидаги радиофаоллик мувозанатининг бузилиш механизми аниқланди.

Уран изотоп таркибини аниқлаш усули. Уран изотопларининг ядро-физик кўрсаткичларини баҳолаш учун табиий уранда  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  орасидаги радиофаоллик мувозанатининг сақланиш ҳолатида ва радиофаоллик мувозанатининг бузилиш ҳолатида  $^{234}\text{U}$  (мкг/г) нисбий миқдори аниқланди.  $^{238}\text{U}$  фаоллиги унинг табиий уран аралашмасидаги масса улуши (Бк/г табиий уран) га кўра қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$A_{U-238} = \frac{m_{U-238} * \ln 2 * N_A}{T_{U-238} * \mu_{U-238}} \quad (2)$$

бунда

$m_{U-238}$  - бир грамм табиий урандаги  $^{238}\text{U}$  нисбий масса улуши (грамм);

$N_A$  - Авогадро доимийси;

$T_{U-238}$  -  $^{238}\text{U}$  ярим емирилиш даври (сек),

$\mu_{U-238}$  -  $^{238}\text{U}$  атом массаси.

1 грамм табиий уранда  $^{234}\text{U}$  худди шундай фаолликка эга, бу ҳолда унинг массаси (грамм) қуйидагига тенг:

$$M_{U-234} = \frac{A_{U-234} * T_{U-234} * \mu_{U-234}}{\ln 2 * N_A} \quad (3)$$

бунда  $T_{U-234}$  -  $^{234}\text{U}$  ярим емирилиш даври (сек),

$A_{U-234}$  -  $^{234}\text{U}$  солиштирма фаолиги,

$\mu_{U-234}$  -  $^{234}\text{U}$  атом массаси.

Худди шундай, ўрганилувчи табиий уран наъмуналаридаги  $^{234}\text{U}$  масса миқдори (мкг/г табиий уран) қуйидагини ташкил этади:

$$M_{U-234} = \frac{A_{U-234} * K}{A_{U-238}} \quad (4)$$

бунда  $A_{U-234}$  -  $^{234}\text{U}$  - ўлчанган фаоллиги(Бк);  $A_{U-238}$  -  $^{238}\text{U}$  -ўлчанган фаоллиги(Бк);  $K=53,41$  га тенг (мкг/г табиий уран) қайта ҳисоблаш коэффициенти.

**3-жадвал**

**2016 йил давомида уран химконцентрати таркибидаги  $^{234}\text{U}$ -изотопининг уртача концентрациясини (мг/г)аниқлаш натижалари**

Наъмуна раками	I квартал	II квартал	III квартал	IV квартал
Р-3	50,1	49,9	50,8	48,5
Р-2	50,4	49,5	51,1	49,4
Р-1	51,1	49,3	47,1	50,1
С	53,1	51,7	51,9	53,0
Ки	57,8	56,7	56,2	56,0
К	69,9	67,5	73,1	68,7

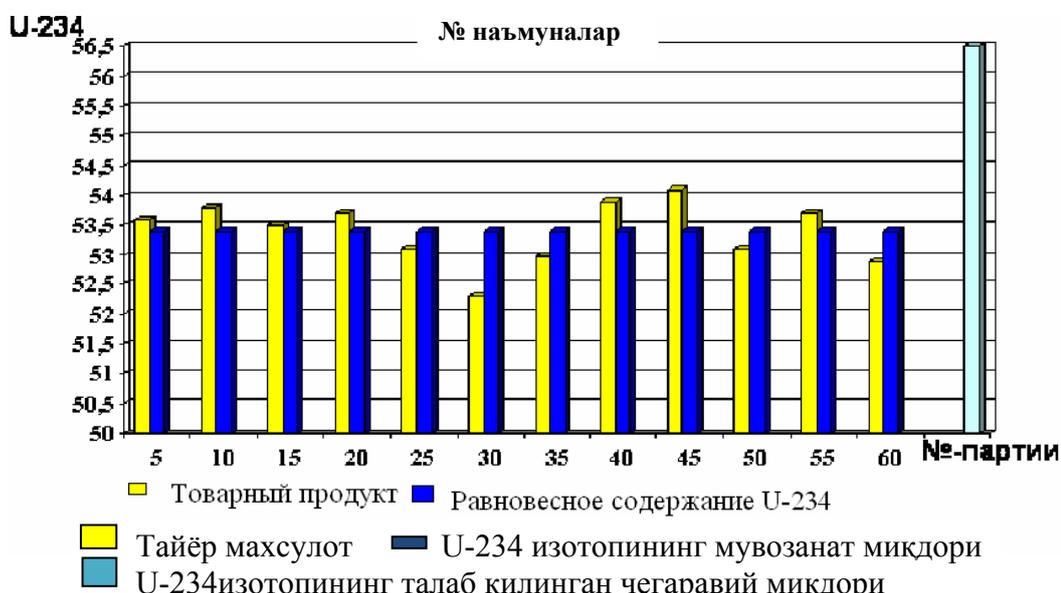
3-жадвалда 2016 йилнинг ҳар кварталда олинган уран химконцентрати

таркибидаги  $^{234}\text{U}$ -изотопининг ўртача концентрациясини (мг/г) аниқлаш натижалари келтирилган. Ўн йилдан (2006-2016йй.) кўпроқ вақт давомида олинган натижалар уранни ер остида танлаб эритиш турли ер майдонларидан олинган химконцентратларда радиофаоллик мувозанатининг бузилишини кўрсатди.

Радиофаол мувозанатнинг силжиш даражаси %-ларда ифодаланади ва куйидаги нисбат билан аниқланади:

$$K_{pp} = \frac{\alpha}{\alpha_0} * 100\% \quad (5)$$

Бунда  $\alpha$ -тадқиқ қилинаётган наъмунадаги  $^{234}\text{U}$  нинг  $^{238}\text{U}$  га нисбати,  $\alpha_0$ -уран изотоплари орасидаги доимий мувозанат қиймати (бизнинг ҳолатда бу қиймат - 53,41 га тенг).



**2-расм. Уран тайёр махсулотида 2006-2016 йиллар давомида  $^{234}\text{U}$  концентрациясининг ўзгариши**

*Уран изотоплари радиофаоллик мувозанатининг бузилиши жараёнини тадқиқ қилиш.*

Радиофаол уран оиласининг емирилишида биринчи  $\alpha$ -емирилиш актидан сўнг  $^{234}\text{U}$ -изотопи сезиларли кинетик энергия олади, бу энергия кристалл панжарасидаги боғлиқликни маълум миқдорда бузади. Шунинг учун қиз  $^{234}\text{U}$ -изотопи она  $^{238}\text{U}$ -изотопига нисбатан геохимёвий жихатдан ўн марта кўпроқ ҳаракатчанроқ ҳисобланади, яъни  $^{234}\text{U}$ -изотопининг  $\alpha$ -энергияси (4770 кэВ)  $^{238}\text{U}$ -изотопининг  $\alpha$ -энергиясидан (4195 кэВ) кўпроқ.

Уран изотоплари орасидаги мувозанатнинг бузилишига таъсир қилувчи омиллар ўрганилган, бунда учта наъмуна мисолида уранни ҳар хил танлаб эритишнинг реагентсиз, миниреагентли, кислотали ва гипохлоридли технологиялари тадқиқ қилинган.

Урanni кислотали танлаб эритишда «ёш минераллар»дан ташқари ўзида маъдандаги умумий ураннинг 90%-ни сақлаган анча кўхна (настуран, уранинит) минераллар ҳам эрийди ва бунда уран изотоплари орасидаги радиофаол мувозанат сақланади.

Меъёрланган солиштирма фаоллик қийматига (0,68 mKu/kg) мос тайёр уран маҳсулоти (уран оксиди-чалаоксиди) олишда ҳар хил қийматли уран  $^{234}\text{U}$ -изотопининг миқдори (48,0-73,0 мкг/г) бўлган химконцентратни мос миқдорда аралаштириш (шихтовка) услуби таклиф қилинди. Таклиф қилинган услубни қўллаш асосида охириги 10 йил давомида дунё стандартига мос ураннинг тайёр маҳсулотини олиш имконияти яратилди.

Диссертациянинг «**Уран ишлаб чиқаришда радиацион хавфсизликни таъминлаш ва радиоэкология муаммолари**» деб номланган тўртинчи бобида уран ишлаб чиқариш корхонасининг радиоэкологик назорат усуллари ишлаб чиқиш ва тадбиқ қилиш масалалари ўрганилган ҳамда қуйидагилар баҳоланган:

- урanni статик ва динамик шароитда ер остида танлаб эритиш ва  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  радиофаол мувозанатнинг бузилиш механизмини очиш асосида радийнинг ўзини тутиши;

- уран тайёр маҳсулотини тоблаш вақтида атмосферага чиқарилувчи уран заррачали фракцион таркибни ҳар хил диаметрли ядро филтрларини кетма-кет жойлаштириш асосида экологик зарарни минималлаштириш ва заводнинг уран тайёр маҳсулотини тобловчи цехи ишини оптимал тартибни танлаш услубини ишлаб чиқиш;

- радиацион-хавfli объектлар – уран таркибли маъданлари кон услубида қайта ишлаш асосида хосил бўлган маъданли тоғлар (отваллар), урanni танлаб ер остида эритиш ер майдонлари ва саноат чиқиндиларини сақлаш омборлари ҳолати.

*Технологик жараёнларда радийнинг ўзини тутиши.* Уран ва радийни статик ва динамик шароитда ҳар хил эритмалардан (сув, бикорбанатлар, сульфат ва хлорид кислоталар) фойдаланиб танлаб эритиб, уран ишлаб чиқаришда радийнинг ўзини тутиш кимёвий хусусиятлари ва қонуниятлари тадқиқ қилинди.

Ўтказилган тадқиқотлар натижасида қуйидагилар ўрнатилди:

- радийни ер остида ҳам кислотали ва ҳам бикорбанатли танлаб эритишда саноат маҳсулотларида ва маҳсулотли эритмаларда унинг концентрацияси кузатилаётган қазиб олувчи кудуқда (6,2 дан 8,2 гача)\* $10^{-7}$  мг/л га ошди;

- бикорбанатли ва кислотали танлаб эритишда маҳсулотли эритмаларда радийнинг концентрацияси маъданни дистирланган сув билан тўғридан-тўғри таъсирлашишига қараганда анча паст;

- сорбция жараёнида радийни ўзини тутишига доир унинг АМП смоласида сорбцияланишини ҳақида гувоҳлик берувчи салмоқли даражада маълумотлар мавжуд, худди шунча натижалар сони ураннинг сорбция ва десорбция жараёнида смола билан радийнинг десорбцияси амалга ошишини

кўрсатади.

Ўтказилган тадқиқотлар ер остида танлаб эритиш ер майдонларида рекультивация ишларини ўтказишга ва урanni ер остида танлаб эритиш бўлинмаларининг радиоэкологик ҳолатини баҳолашга асос бўлиб хизмат қилади.

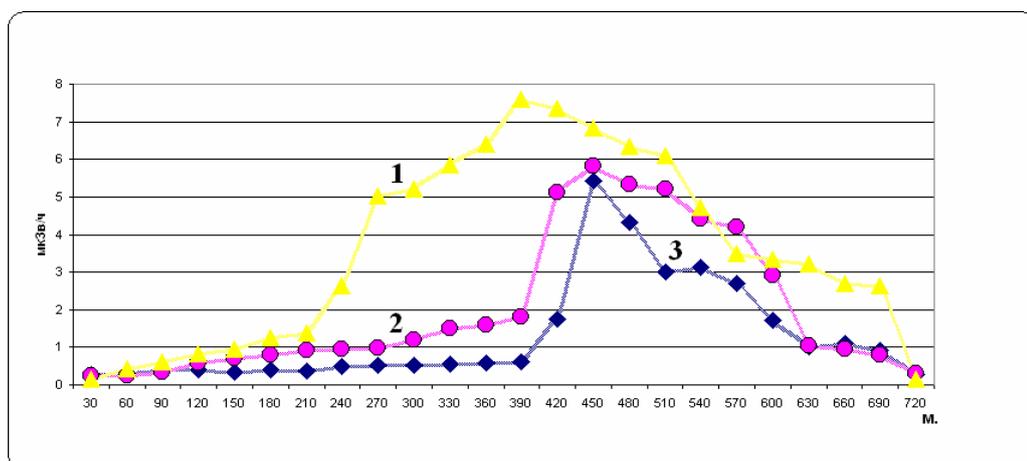
*Уран ишлаб чиқариши технологиясининг назорати.* Тоғ-кон саноатининг ривожланиш жараёнида радиоэкологик муаммолар ичида урanni қайта ишловчи заводлар ҳудудидаги табиий гамма-фон қийматини аниқлаш ўзига хос характерга эга. Бу объектларда атроф-муҳитни ифлослантирувчи асосий техноген манбалар баланسدан ташқаридаги уран маъданлари отваллари, технологик эритмалар, ер остида урanni танлаб эритиш ер майдонлари, завод шароитида тайёр уран маҳсулотини тоблашдаги атмосферага чиқарилаётган чиқинди газлар бўлиб ҳисобланади.

Уран қазиб олишда уч кўринишдаги ҳар хил радиацион-хавфли объектлар (атроф-муҳитга таъсир қилувчи факторларга кўра) - уран маъданини кончилик услубида қайта ишлаш жараёнида ҳосил бўлган отваллар, урanni ер остида танлаб эритиш ер майдонлари ва уран чиқиндиларини сақлаш омбори.

Отваллардаги каттиқ чиқиндиларнинг узок вақт сақланиши асосан атроф-муҳитни ифлослантируви ўта хавфли манба, узок яшовчи радиофаол  $^{226}\text{Ra}$  ва уларда 70% радионуклидларнинг йиғилгани муҳим ва мураккаб муаммо пайдо қилади.

*Техноген объектларнинг радиометрик тадқиқоти.* Техноген объектлар тадқиқотининг энг тезкор ядро-физик усули радиометрик тадқиқот усули ҳисобланади. Бу радиометрик тадқиқот усули ёрдамида техноген объект ҳақида тўлиқ маълумот олиш мумкин.

Техноген объект ҳудудида бажарилган эквивалент доза қувватини ўлчаш нуқтасига чизиқли боғлиқлигини ўлчаш натижаси 3-расмда келтирилган. Эквивалент доза қуввати қиймати ва гамма-фон қиймати техноген объектнинг ўзаро кесишган нуқталарида ўртача 0,25 мкЗв/соатдан ошмаган.



**3-расм. Эквивалент доза қувватини ўлчаш нуқтасига чизиқли боғлиқлиги**

3-расмдан кўриниб турибдики техноген объектада эквивалент доза қуввати нозизиқли тақсимланган. 1, 2, 3 эгри чизиклардан кўриниб турибдики, эквивалент доза қуввати 0,30 мкЗв/соатдан 7,80 мкЗв/соатгача, 0,40 мкЗв/соатдан 5,90 мкЗв/соатгача ва 0,28 мкЗв/соатдан 5,30 мкЗв/соатгача ўзгарган. Булар чиқиндиларнинг ҳар хил радиоизотоплар таркибига ва ҳар хил қатлам қалинлигига эга эканлигидан далолат беради. Бу объект учун ўрнатилган меъърдан 10 дан 40 мартагача паст.

Ҳар хил таркибли чиқиндиларни бирга сақлашда радиоизотопларнинг эриш коэффицентлари кислотали муҳитга нисбатан нейтраль муҳитда юқорирок. Шу сабабли атроф-муҳитга радиацион таъсир килишни камайтириш мақсадида ҳосил қилинган қалин қатлам суюқ чиқиндиси баъзи бир изотопларни ҳар хил миқдорда эришига сабаб бўлади. Тадқиқот натижаларидан кўринадики техноген объектларнинг кузатиш қудуқларидан 2012-2016 йиллар ҳар квартали давомида олинган наъмуналардаги  $P_1$  ва  $P_2$  радиоизотопларнинг ўртача концентрацияси ўрнатилган  $P_1(45\text{Бк/л})$  ва  $P_2(2,0\text{Бк/л})$  меъърий талаблардан юқори эмас.

Бу техноген объектада олиб борилаётган атроф-муҳит ҳимояси Ўзбекистон Республикасида ўрнатилган меъърларга тўлиқ мос келади ва талабларга жавоб беради.

## ХУЛОСА

**«Олтин, уран ажратиб олиш жараёнлари ва уларнинг экотизимга техноген улушини назорат қилишнинг ядро-физик услубларини ишлаб чиқиш»** мавзусидаги диссертация ишининг натижаларидан келиб чиққан ҳолда қуйидаги хулосалар келтирилади:

1. Бевосита ишлаб чиқариш шароитида  $^{252}\text{Cf}$ -нейтронлар манбасидан фойдаланиб олтин ва унга йўлдош элементларни қисқа ва ўрта яшаш вақти радионуклидлари бўйича смолаларда 250г массада 0,4 г/кг, 70г массада 0,8 г/кг сезгирликда аниқлашнинг ИНФТ услуби ишлаб чиқилди ва қўлланилди.

2. Радиоэкологик муаммоларни ечиш мақсадида уран қазиб олувчи саноат корхоналари ҳудудидан, назорат олиб борилувчи ҳудудлардан ва ишлаб чиқариш чиқиндиларини сақловчи омборлардан олинган наъмуналарда радиофаол ва табиий ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  ва  $^{40}\text{K}$ ) радионуклидлар концентрацияси радиометрик и гамма-спектрометрик усуллар билан аниқланди. Бунинг натижасида уранни ер остида танлаб эритиш ишлатилиб бўлинган ер майдонларини рекультивация қилиш услуби таклиф қилинди.

3. Беш йил давомида 1-ГМЗ ҳудудида табиий гамма-фон қиймати узлуксиз тартибда ўлчанди. Бунинг натижасида турлича ўлчамли тешиқларга эга ядро филтрларини ҳар хил тартибда кетма-кет жойлаштириб уранни тоблаш цехидаги ҳаво атмосферасига чиқинди сифатида чиқарилган уран заррачалари концентрациясини ва фракцион таркиби аниқланди. Олинган натижага қараб уранни тоблаш цехининг иш тартибини баҳоланди.

4. Уранни йўлдош радиофаол изотоплардан тозалаш ва «санок наъмунаси»ни тайёрлаш усули такомиллаштирилди. Бу услуб табиий

сувларда, уран химконцентратида ва уран оксид-чалаоксидида  $^{234}\text{U}$  изотопини уларнинг нурланишига қараб индентификациялаш ва кичик концентраларини ҳам топиш имкониятини яратди.

5.  $^{234}\text{U}$  изотопи альфа-емирилиш натижасида ҳосил бўлиб табиий уран таркибида 0,0053% (аллоген) мувозанат миқдорда бўлади. Лекин, у ёш минералларда  $^{238}\text{U}$  изотопидан қўшимча ҳолда (аутоген фактор) ҳосил бўлади. Минералда аутоген жараёнда ҳосил бўлиш ҳисобига  $^{234}\text{U}$  изотопини миқдори ошади ва бу  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  нисбатнинг ошишига олиб келади.

6. Такотиллаштирилган услубни қўллаб уранни ер остида танлаб эритишнинг ҳар хил технологик тартиби  $^{234}\text{U}$  изотопи миқдорининг ҳар хил химконцентратларда ҳар хил бўлишини кўрсатди ва бунинг натижасида уран изотоплари ўртасида радиофаол мувозанатнинг бузилиш механизми топилди. Жараён қуйидаги тартибда бўлади:

- уранни ер остида танлаб эритишнинг реагентсиз, миниреагентли, гипохлоритли усулларида уран ёш минераллардан (коффинит, надкевит, браннерит, давидит, титанит ва фосфатлар) эритмага ўтади, бу ерда  $^{234}\text{U}$  изотопи миқдорининг ошиб кетишига сабаб  $^{234}\text{U}$  изотопи  $^{238}\text{U}$  изотопи билан мувозанатда бўлган минераллар кўплигидир;

- уранни ер остида танлаб эритишнинг кислотали усулида уран ёш минераллари билан биргаликда уран изотопларининг 90% мавжуд бўлган қадимий минераллардан (настуран, уранинит) ҳам эритмага ўтади. Шунинг ҳисобидан бу эритмаларда уран изотоплари радиофаол мувозанатда бўлади.

7. Уран изотоплари мувозанатда бўлган ва мувозанатда бўлмаган минерал маъданлардан экспорт учун яроқли уран тайёр маҳсулотларини олишнинг аралаштириш (шихтовка) услуги таклиф қилинган. Мёберий солиштирма фаоллиги 0,68 мКи/кг ёки 25,16 МБк/кг эга бўлган тайёр маҳсулот олиш таклифи НКМК да қўллашга қабул қилинган.

8. Ядро филтрларидан (тешиклар диаметри 0,16-0,20 мкм) фойдаланиб «белгили атомлар» ва электродиализ жараёнида ер ости ва саноат оқава сувларида химиявий элементларнинг мавжуд бўлиш формаларини аниқлашнинг услуги биринчи марта ишлаб чиқилди. Кўпроқ - катион формада Fe, Ce, Eu, анион-катион формада Cr, анион-нейтраль формада Cr, Se, Ag, Sb, Au ва катион-нейтраль формада Sc, Cr, Co, Zn – лар бўлиши топилди.

9. Атроф-муҳитни ифлослантирувчи факторларни тадқиққилиш натижасида қуйидагилар аниқланди:

- Қизилқум ҳудудини ифлослантирувчи асосий факторлар-балансдан ташқари маъданлар, уранни ер остида танлаб эритишда фойдаланишдан бўшаган ер майдонлари ва саноат корхоналари уран чиқиндилари сақланувчи омборлар бўлиб ҳисобланади;

- ҳудуд радиоэкологик ҳолатини яхшилаш учун рекультивация ишларини ва уран чиқиндилари устини 1-ГМЗ да олтинни қайта ишлашдан ҳосил бўладиган радиофаол бўлмаган чиқиндилар билан кўмиш ва озикаланувчи ўсимликлар экишни ташкил қилиш таклиф қилинади.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.27.06.2017.FM/Т.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ,  
АСТРОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ, НАЦИОНАЛЬНОМ  
УНИВЕРСИТЕТЕ УЗБЕКИСТАНА**

---

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ  
НАВОИЙСКИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ**

**МУЗАФАРОВ АМУРЛЛО МУСТАФОЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДИК КОНТРОЛЯ  
ПРОЦЕССОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА, УРАНА И ИХ  
ТЕХНОГЕННЫЙ ВКЛАД В ЭКОСИСТЕМУ**

**01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики**

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

**Ташкент – 2018**

**Тема диссертации доктора философии (Doctor of Philosophy) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером №B2017.2.PhD/FM61**

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики и Навоийском горно-металлургическом комбинате.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице Научного совета ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Саттаров Гайвилло Саттарович,**

доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Муминов Толиб Мусаевич,**

доктор физико-математических наук, профессор,  
академик Академии наук Республики Узбекистан

**Салимов Мухаммад Ибрагимович**

кандидат технических наук

**Ведущая организация:**

**Самаркандский государственный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 года в \_\_\_ часов на заседании Разового научного совета на базе Научного совета DSc.27.06.2017.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики, Астрономическом институте, Национальном университете Узбекистана (Адрес: 100174, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871)289-31-50; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

Диссертация зарегистрирована в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер \_\_\_), с диссертацией можно ознакомиться в ИРЦ (Адрес: 100214, г.Ташкент, поселок Улугбек, НУУз. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2018 г.).

**М. Ю. Ташметов**

Председатель Научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

**Р. Ярмухамедов**

Ученый секретарь Научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

**И. Нуритдинов**

Председатель научного семинара при Научном совете  
по присуждению ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время изучение технологических процессов добычи и производства золота и урана является одним из определяющих направлений увеличения получаемой стратегической продукции в мире. Развитие и перспективы экономики любой страны мира связаны с ее валютным золотозапасом и экспортируемыми энергоносителями. В мире из года в год растет добыча золота и урана: если в 2012 году производство золота составляло 2613,0 тонн, то в 2016 - 3211,4 тонн. Таким же темпом растет и производство урана: 2012 год - 53663,0 тонн, 2016 год - более 61003,2 тонн. Причиной такого роста производства драгоценного золота и радиоактивного урана является увеличение всемирного спроса.

В настоящее время на мировом рынке имеется определенный дефицит высококачественного золота и урана. Всю производимую готовую продукцию добывают гидрометаллургическим способом. Истощение сырьевой базы благородных и радиоактивных металлов требует вовлечения в производство сложных, разнотипных, бедных и вторичных руд. Задачи существенного увеличения добычи золота и урана из года в год определяют необходимость разработки эффективных, экономичных и экологически безопасных технологий извлечения полезных металлов и комплексное использование сырья. В связи с этим, усовершенствование существующих и разработка новых экспрессных, оперативных и информативных методов контроля технологического процесса с целью снижения себестоимости продукции, увеличения степени сквозного извлечения металлов, рационального использования сырья и уменьшения техногенного влияния уран- и золотодобывающих предприятий на окружающую среду являются актуальными задачами прикладной ядерной физики и радиэкологии.

В Республике уделяется большое внимание развитию экспериментальных исследований по аналитическому контролю всех технологических процессов горно-металлургической промышленности, вносящих значительный вклад в экономику страны и укрепление ее независимости, а также проведению исследований в этом направлении на мировом уровне. На основе программы мер, проводимых в данном направлении, достигнуты значительные результаты, в частности, повышен объем добычи полезных ископаемых, уменьшена себестоимость готовой продукции и увеличен годовой объем производства продукции. В стратегии<sup>1</sup> действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан определены задачи для выполнения программы по разработке и внедрению в производство методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенного вклада в экосистему.

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 07 февраля 2017 г.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в государственных нормативных документах, Постановлении и Указах Президента Республики Узбекистан №ПП-1442 от 15 декабря 2010 г. «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 годах», №УП-4707 от 4 марта 2015 г. «О программе мер по обеспечению структурных преобразований, модернизации и диверсификации производства в 2015-2019 гг.» и №УП-4947 от 7 февраля 2017 г. «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

**Соответствие исследования с приоритетными направлениями развития науки и технологий Республики.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий в Республике Узбекистан: II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение», III. «Развитие и использование возобновляемых источников энергии» и VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

**Степень изученности проблемы.** Научные исследования по разработке ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенного вклада в экосистему проводились многими ведущими учеными мира, например, учеными европейских стран (Teldeshi Yu., Keller K., Burgess D.D., Lyon W.S., Rastegas E., VandekastleK., Osek F.), российскими учёными (Флеров Г.Н., Меднис И.В., Мясоедов Б.Ф., Кузнецов Р.А., Бурмистенко Ю.Н., Иванов И.Н., Перельман А.И., Ласкорин Б.Н., Петров Ю.В., Кирьяков Г.И., Возжеников Г.С., Забаренко К.Б. и др.) и другими специалистами. Однако все эти работы посвящались разработкам различных методик общего характера, исследованиям других промышленных продуктов, горно-металлургических и экологических объектов, отличающихся химическим составом и структурой от исследуемых в настоящей работе.

Узбекистанскими учеными (Кист А.А., Ганиев А.Г., Муминов Т.М., Хатамов Ш.Х., Арипов Г.А., Худойбергенов У., Миранский И.Н., Хайдаров Р.А., Бакиев С.А., Мухамедов С.М., Саттаров Г.С., Флициан Е.Г., Кулматов Р.А. и др.) разработаны ядерно-физические методики аналитического контроля технологических процессов золота и урана; получены определенные результаты по применению ядерно-физических методик для контроля технологических процессов извлечения золота и урана, а также по применению данных методик для контроля экосистем.

Однако, в этих разработках отсутствуют детальное изучение нарушения радиоактивного равновесия между  $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}/^{234}\text{U}$ , увеличения содержания  $^{234}\text{U}$  в выпускаемой продукции закиси-окиси урана, механизма нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана, степени загрязнения окружающей среды горно-металлургическими комплексами и хвостохранилищами гидрометаллургических предприятий и вероятности загрязнения подземных вод техногенными соединениями.

**Связь темы диссертации с научно-исследовательскими работами научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан и Навоийского государственного горного института по темам: 3.1.3.8 «Разработка и внедрение способов извлечения ценных металлов из технологических отходов промышленных предприятий Республики Узбекистан и методы их аналитического контроля» (2000-2002 гг.), А-13.113 «Разработка способа контроля технологического процесса получения рения, золота и других драгоценных металлов» (2006-2008); А-7-3.8.3 (ГНТП-7) «Исследование природно-техногенных условий Навоийского региона и разработка интерактивных приемов обучения студентов естественных специальностей» (2009-2011).

**Целью исследования** является разработка ядерно-физических методов анализа элементного состава, изотопного состава урана и продуктов его распада в природных и технологических материалах, контроля процесса извлечения золота, урана и сопутствующих металлов.

**Задачи исследования:**

разработка инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) с использованием импульсного  $^{252}\text{Cf}$ -источника нейтронов для изучения технологического процесса извлечения золота и других элементов;

внедрение альфа - спектрометрической методики определения изотопного состава урана в химконcentратах и готовой продукции урана;

разработка и внедрение методики подготовки смеси и получения товарной продукции урана с регламентируемой удельной активностью 0,68 мКи/кг;

внедрение метода непрерывного контроля радиологической обстановки на урановом производстве и определение величины выброса радионуклидов в атмосферу с использованием ядерных фильтров;

разработка и применение ИНАА с использованием ядерного реактора для оценки техногенного влияния золотодобывающего промпредприятия на окружающую среду.

**Объектом исследования** являются золотосодержащие, ураносодержащие технологические пробы, химконцентраты и закиси-окиси урана, технологические растворы, производственные стоки, отходы горно-рудного производства, забалансовые руды и пробы экосистемы (воздух, почва, вода).

**Предметом исследования** являются процессы добычи золотосодержащих руд открытым способом, гидрометаллургические и геотехнологические способы переработки золотосодержащих и урансодержащих руд и экологические аспекты технологического процесса.

**Методы исследований.** Комплексные методы исследований, включающие научные обобщения, экспериментальные исследования в лабораторных и промышленных условиях по применению ЯФМА, метода ИНАА, рентгенофлуоресцентного метода, метода «меченых атомов»,

радиометрии, альфа и гамма – спектрометрии, а также методов математической статистики и корреляционного анализа результатов испытаний с применением современной компьютерной техники.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана методика определения формы нахождения элементов в подземных и сточных водах, основанная на электродиализе с использованием ядерных фильтров различных диаметров пор (0,16–2,0 мкм), позволившая оценить поведение ионов (скандия, хрома, железа, кобальта, цинка, селена, серебра, сурьмы, церия, европия и золота) техногенного происхождения в природных условиях;

разработана радиохимическая методика концентрирования урана в химконцентратах и закиси-окиси урана, позволяющая определять изотопный состав урана ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) альфа-спектрометрическим методом;

выявлен механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) в технологических продуктах НГМК;

найжены оптимальные режимы работы технологического цеха прокалки урана для уменьшения уровня вредных выбросов в атмосферу;

предложен способ рекультивации обработанных участков подземного выщелачивания урана, который позволяет надежно защитить персонал и окружающую среду от вредного воздействия ионизирующего излучения.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны методики многоэлементного нейтронно-активационного анализа состава технологических и природных образцов с использованием атомного реактора и калифорниевых источников нейтронов для оперативного контроля процесса извлечения золота, урана, сопутствующих ценных металлов и для решения экологических задач;

получены результаты исследований по разработке методики определения изотопного состава урана и природных радиоактивных элементов в различных природных, технологических образцах и установлены закономерности нарушения радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ;

оценены факторы, влияющие на величину выброса радиоактивных веществ в окружающую среду на урановом производстве и выданы практические рекомендации по минимизации техногенного влияния предприятий на окружающую среду;

определено пространственное распределение техногенных элементов в районе деятельности предприятий по добыче золота, формы нахождения элементов в производственных сточных и подземных водах, с целью установления закономерности загрязнения и прогнозирования величины техногенного воздействия в будущем на окружающую среду.

**Достоверность результатов исследования** обосновывается значительным объемом теоретических и лабораторных исследований, применением современных методов и средств измерений, сравнительным анализом разработанных методик с данными международных стандартных

испытаний, проведением параллельных анализов и сопоставлением данных различных исследователей и лабораторий.

#### **Научная и практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в оценке факторов, влияющих на выброс в атмосферу вредных радиоактивных веществ при производстве урана, обнаружении ранее неизвестного явления – нарушения радиоактивного равновесия между изотопами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ , зависящего от особенностей применяемой геотехнологии урана, определении механизма и закономерности загрязнения территории, находящейся вокруг золотодобывающего предприятия, техногенными элементами в зависимости от гидрометаллургических условий добычи и переработки руды.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке и применении экспрессной методики ИНАА для определения содержания золота и ряда элементов непосредственно в производственных условиях извлечения металлов с использованием  $^{252}\text{Cf}$ -источника нейтронов, определении формы нахождения и условий миграции элементов в сточных и подземных водах, по которым можно прогнозировать величину техногенного загрязнения вод.

#### **Внедрение результатов исследования.**

На основе полученных результатов по разработке ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана:

разработанные методики измерения изотопного состава урана ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) альфа-спектрометрическим методом в химконцентрах урана, отобранных из участков подземного выщелачивания и закиси-окиси урана использованы в практике Гидрометаллургического завода-1 НГМК для получения товарной продукции урана из химконцентратов, соответствующей нормативным требованиям заказчика (акт внедрения «ГМЗ-1» НГМК №2455 от 14.12.2017г.). Использование разработанных методик позволило повысить качество готовой продукции, поступающей на реализацию;

разработанная методика определения содержания природных и техногенных элементов в почве и в подземных водах в районе деятельности хвостохранилища ГМЗ-2 Центрального рудоуправления НГМК использована при проектировании третьей очереди хвостохранилища и наблюдательных скважин ГМЗ-2 ЦРУ (акт внедрения ЦРУ НГМК №2446 от 12.12.2017г.). Использование полученных результатов позволило оценить техногенное влияние хвостохранилища ГМЗ-2 ЦРУ НГМК на окружающую среду;

разработанные методики многоэлементного нейтронно-активационного анализа состава технологических и природных образцов были использованы в рамках прикладного проекта ФА-А7-Ф056 «Многоэлементная характеристика экологической обстановки в г.Ташкенте с использованием ядерно-аналитических методов для выявления связи с состоянием здоровья населения» (2009-2011) для анализа объектов окружающей среды (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1737 от 3 июля 2018 г.).

Использование этих методик позволило определить усредненные значения загрязненности атмосферного воздуха, поверхностных вод, почвы и представить карты распределения элементов в объектах биосферы для районов г.Ташкента с целью разработки мероприятий по охране здоровья населения;

разработанные методики определения изотопного состава урана и природных радиоактивных элементов в различных природных, технологических образцах были использованы в рамках прикладного проекта ФА-А14-Ф060 «Разработка новых высокочувствительных ядерно-физических методик определения тяжелых и редких металлов в природных и технологических материалах» (2009-2011) при анализе отходов металлургического производства (УзКТЖМ, АГМК) для определения содержания редких и рассеянных элементов (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №2/1255-1737 от 3 июля 2018 г.). Использование этих методик позволило определить содержание до 30 микроэлементов с пределами обнаружения  $10^{-4}$  –  $10^{-9}$  % масс, что имеет важное значение для определения примесного состава урановой продукции и охраны окружающей среды.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований были обсуждены на 7 международных и республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 10 научных статей в рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертации научных изданиях, из них 3 статьи в международных научных журналах, а также 1 свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ Республики Узбекистан.

**Структура и объём диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 122 страницы.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, излагаются научная новизна и практические результаты исследования, раскрываются научная и практическая значимость полученных результатов, внедрение в практику результатов исследования, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

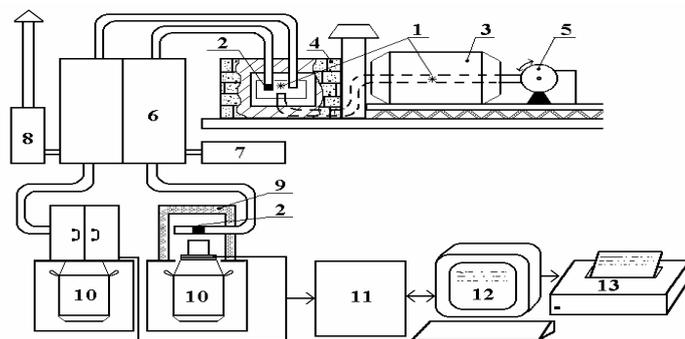
В первой главе «Состояние применения ядерно-физических методов анализа для контроля и анализа процессов производства золота и урана»

рассмотрена общая классификация ядерно-физических методов анализа и контроля процесса извлечения золота и урана, а также экологических и радиоэкологических проб.

Приведены и описаны теоретические основы метода активационного анализа, подробно рассмотрены основные этапы проведения инструментального нейтронно-активационного анализа, охарактеризованы преимущества и недостатки различных методов. На основе литературных данных оценена степень применимости различных ядерно-физических и альфа-спектрометрических методов анализа.

Во второй главе диссертации «Техника эксперимента ядерно - физических методов анализа и контроля технологических процессов производства золота и урана» рассмотрены разработанные методики анализа по определению содержания естественных радионуклидов - (U, Ra, Th и K) в почве. Измерение  $\gamma$ -спектров проб проводилось на спектрометре с Ge (Li)-детектором с рабочим объемом 80 см<sup>3</sup> (разрешающая способность 2,7 кэВ по линии изотопа <sup>60</sup>Co с энергией 1330 кэВ) с использованием программируемого многоканального анализатора типа LP-4900В (фирмы «NOKIA»). Приведены результаты разработанной методики определения содержания радия в природных водах. Количественное определение содержания радия в природных водах проводилось эманационным методом. Сущность эманационного метода определения радия заключается в количественном выделении радона из раствора, содержащего изотопы радия, и радиометрического измерения активности эманации и продуктов его распада на лабораторном анализаторе типа «Камера».

На рисунке 1 приведена блок-схема разработанной инструментальной нейтронно-активационной методики определения содержания золота и сопутствующих элементов в технологических продуктах с применением <sup>252</sup>Cf - источника нейтронов с выходом 1·10<sup>9</sup>нейтр/с непосредственно в заводских лабораториях.



1-источник нейтронов <sup>252</sup>Cf; 2-проба; 3-контейнер для хранения источника нейтронов; 4-блок облучения; 5-электромотор; 6-пневмотранспортная система; 7-компрессор; 8-фильтр; 9- свинцовый домик; 10-ППД находящийся в сосуде Дьюара с жидким азотом; 11-аналого - цифровой преобразователь; 12-РС типа Pentium – III и 13 – принтер

**Рис.1. Блок-схема нейтронно-активационной установки с источником нейтронов**

Источник при помощи электромотора, управляемый с пульта, устанавливается в блоке облучения. Измерения скорости счета импульсов проводятся Ge(Li) детекторами, результаты обрабатываются на многоканальном анализаторе типа LP-4900В (фирмы «NOKIA»).

Для экспрессного анализа золота в технологических образцах по короткоживущим радионуклидам в блоке облучения установлены 2 канала. Измельченную пробу размещают в цилиндрический полиэтиленовый контейнер многократного пользования диаметром 13 мм и высотой 40 мм, куда помещаются 10-12 мл технологических растворов и 10-15г твердых образцов в зависимости от плотности. Подача проб в режиме анализа короткоживущих радионуклидов осуществляется по пневмотранспортному каналу при помощи компрессора сжатого воздуха, управляемого с пульта. Для увеличения отношения полезного сигнала к фону предусмотрен вариант циклического облучения проб.

Режимы анализа элементов по короткоживущим и среднеживущим радионуклидам приведены в таблице 1.

Для анализа элементов по среднеживущим радионуклидам установлено 8 вертикальных каналов. В каждый канал размещаются 11 (шт.) плоских кассет диаметром 80 мм и высотой 12 мм, куда помещается 100-120г твердых образцов. В средней позиции каждого канала поток нейтронов имеет максимальное значение, в конечных позициях каждого канала поток нейтронов падает в два раза меньше.

**Таблица 1**

**Ядерно-физические характеристики аналитических радионуклидов**

Элемент→ РН	$E_{\gamma}$ , кэВ	$T_{1/2}$	Кларк, %	$m_{обр}$ , г	$t_{обл}, t_{охл}, t_{изм};$ с	$N_{ц}$	L, %
F→ <sup>20</sup> F	1633	11с	0,06	10	20-2-20	10	0,8
N→ <sup>16</sup> N	6130	7,14с	0,06	250	15-2-15	2	0,2
Mg→ <sup>27</sup> Mg	844	9,46м	2,0	100	600-120-600	1	1,0
Al→ <sup>28</sup> Al	1778	2,3м	8,1	100	400-100-300	1	0,01
Sc→ <sup>46m</sup> Sc	142	18,6с	0,002	10	40-2-40	3	0,003
V→ <sup>52</sup> V	1434	3,8м	0,010	100	500-300-500	1	0,01
Cu→ <sup>66</sup> Cu	1039	5,1м	0,005	10	360-120-360	1	0,03
Se→ <sup>77m</sup> Se	162	17с	$10^{-5}$	10	40-2-40	10	0,003
Mo→ <sup>101</sup> Mo	191	14м	$10^{-4}$	100	600-2-600	1	0,01
Ag→ <sup>110</sup> Ag	657	24с	$5 \cdot 10^{-6}$	10	50-2-50	10	0,005
Ba→ <sup>137</sup> Ba	661	2,5м	0,06	10	200-2-200	2	0,7
Sm→ <sup>155</sup> Sm	104	22м	0,0008	100	600-2-600	1	0,008
W→ <sup>183m</sup> W	107	5,3с	0,0001	10	10-2-10	10	0,01
Au→ <sup>197m</sup> Au	278	7,2с	0,0007	10-15	20-2-15	10	0,5
U→ <sup>239</sup> U	74	23,5м	$25 \cdot 10^{-5}$	10	25м-5м-20м	1	$5 \cdot 10^{-5}$

Одним из возможных методов экспрессного определения золота в смоле

могут быть исследования процесса возбуждения изомерного состояния ядра золота, быстрыми нейтронами. При этом матрица из-за низких сечений активации нейтронами спектра деления практически не активируется. Учитывая вышеизложенное, рассмотрена возможность анализа золота в набухшей и воздушно-сухой смолах по реакции - (n,n', $\gamma$ ).

Средняя расходимость результатов анализа смолы по сравнению с результатами пробирного анализа в интервале содержаний по золоту 0,5-4,5 г/кг составляет не более 8%. Воспроизводимость результатов анализа при 4 кратном анализе составляет не более 2%.

Найдены оптимальные режимы для золота и сопутствующих элементов.

**Таблица 2**

**Оптимальные условия НАА ионообменной смолы**

Элемент→РН	$T_{1/2}$	$m_{обр}$ , г.	$t_{обл}, t_{охл}, t_{изм}$ ; с.	$N_{п}$	$L_D$ , %
$V \rightarrow ^{52}V$	3,75 м	70	300-100-300	1	0,05
$Cu \rightarrow ^{66}Cu$	5,1м	70	300-100-300	1	0,4
$Se \rightarrow ^{77m}Se$	17,5 с	7	35-2-35	10	0,03
$Ag \rightarrow ^{110}Ag$	24,4 с	7	50-2-50	10	0,06
$W \rightarrow ^{183m}W$	5,3 с	7	12-2-12	10	1,0
$Au \rightarrow ^{197m}Au$	7,4 с	250	20-3-15	5	0,4
$Au \rightarrow ^{197m}Au$	7,4 с	70	20-2-15	10	0,8

Разработанная методика определения содержания золота и сопутствующих элементов в технологических продуктах использована для контроля процесса утилизации золотосодержащей магнитной фракции с одно`временным получением золота, сернокислого железа и металлического лома. Промышленная утилизация МФ с производительностью 8 тыс.т/год (столько же образуется промежуточных отходов в производстве НГМК) позволяет получить дополнительно 50 кг золота и сульфата железа (в твердом и жидком состоянии) в количестве 17,8 тыс. т/год.

В главе также представлены результаты разработанной методики анализа почв, сточных и подземных вод с использованием атомного реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз с выходом нейтронов  $5 \cdot 10^{13}$  нейтр/сек\*см<sup>2</sup>. Образцы почвы высушивали при температуре 105<sup>0</sup>С до постоянного веса, навески проб (50 мг) упаковывали в полиэтиленовые пакеты и алюминиевую фольгу. Анализ проб почвы проводился в двух временных режимах облучения и измерения. Для анализа элементов (As, La, Sm, W, Au,U) по среднеживущим радионуклидам время облучения составляет - 1 час, а время «остывания» 3 дня. При анализе элементов (Sc, Fe, Co, Ni, Rb, Ag, Sb, Cs,Ce, Eu, Tb, Lu, Hf, Hg) по долгоживущим РН время облучения составляет 10 час, а время «остывания»-20 дней.

Методика определения содержания 22 химических элементов в пробах почв, отобранных из 580 точек в районе действия ГМЗ-2 для оценки техногенного влияния выполнена в следующей последовательности. Образцы

почвы высушивали при температуре 105 °С до постоянного веса, навески проб (50 мг) упаковывали в полиэтиленовые пакеты и алюминиевую фольгу. Для облучения проб использован реактор ВВР-СМ ИЯФ АН РУз с выходом нейтронов  $5 \cdot 10^{13}$  нейтр/сек\*см<sup>2</sup>. Анализ проб почвы проводился в двух временных режимах облучения и измерения. Для анализа элементов (As, La, Sm, W, Au, U) по среднеживущим радионуклидам время облучения составляет - 1 час, а время «остывания» 3 дня. При анализе элементов (Sc, Fe, Co, Ni, Rb, Ag, Sb, Cs, Ce, Eu, Tb, Lu, Hf, Hg) по долгоживущим РН время облучения составляет 10 час, а время «остывания»-20 дней.

Значение коэффициента обогащения элементов определяли по формуле:

$$K_{об} = \frac{C_x * K_{он}}{C_{он} * K_x} \quad (1)$$

где  $C_x$ - содержание исследуемого элемента;  $C_{он}$ - содержание опорного элемента,  $K_x$ - кларк исследуемого элемента;  $K_{он}$  - кларк опорного элемента (скандия).

Для определения формы нахождения элементов в водах применялись сорбционные и электродиализные методы исследования, основанные на использовании ионообменных мембранных фильтров. Ядерные фильтры использовались для изучения форм нахождения элементов в сточных и подземных водах.

Для оценки миграции элементов в подземных водах в районе хвостохранилища изучались анионная, катионная, нейтральная и коллоидная формы нахождения элементов.

Исследования форм нахождения элементов позволили сделать заключение о том, что золото, сурьма, хром могут служить индикаторами-мигрантами при изучении техногенного влияния хвостохранилища ГМЗ-2 на окружающую среду.

В третьей главе диссертации **«Изотопный состав урана в природных объектах и продуктах производства»** рассмотрены результаты исследований по:

- разработке и внедрению альфа-спектрометрической методики определения концентрации -  $^{234}\text{U}$  в природных водах, химконцентратах и закиси-окси урана, основанной на радиохимической подготовке, осаждении на подложку методом электролиза;
- установлению механизма образования равновесного содержания  $^{234}\text{U}$ (аллогенный) и образующегося за счет распада  $^{238}\text{U}$  (аутогенный);
- установлению механизма нарушения радиоактивного равновесия между  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  за счет ядерно-физических и технологических процессов.

*Методика определения изотопного состава урана.* Для оценки ядерно-физических параметров изотопов урана в процессе нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана определяли относительное содержание  $^{234}\text{U}$  (мкг/г) в природном уране в случае сохранения радиоактивного равновесия между  $^{234}\text{U}$ - $^{238}\text{U}$ . Активность  $^{238}\text{U}$  с учетом его массовой доли в смеси изотопов урана (Бк/г природного урана)

определяется уравнением:

$$A_{U-238} = \frac{m_{U-238} * \ln 2 * N_A}{T_{U-238} * \mu_{U-238}} \quad (2)$$

где  $m_{U-238}$  - относительная массовая доля изотопа  $^{238}\text{U}$  в 1 грамме природного урана (грамм);  $N_A$ - постоянная Авогадро;  $T_{U-238}$  -период полураспада -  $^{238}\text{U}$  (сек),  $\mu_{U-238}$  - атомная масса -  $^{238}\text{U}$ .

Такую же активность в 1 грамме природного урана имеет и  $^{234}\text{U}$ , что соответствует его массе (грамм)

$$M_{U-234} = \frac{A_{U-234} * T_{U-234} * \mu_{U-234}}{\ln 2 * N_A} \quad (3)$$

где  $T_{U-234}$ - период полураспада -  $^{234}\text{U}$ , с;  $A_{U-234}$ - удельная активность -  $^{234}\text{U}$ ,  $\mu_{U-234}$  - атомная масса -  $^{234}\text{U}$ .

Таким образом, массовое содержание  $^{234}\text{U}$  в исследуемых образцах природного урана будет составлять (мкг/г природного урана):

$$M_{U-234} = \frac{A_{U-234} * K}{A_{U-238}} \quad (4)$$

где  $A_{U-234}$  - измеренная активность -  $^{234}\text{U}$ (Бк);  $A_{U-238}$  - измеренная активность -  $^{238}\text{U}$  (Бк);  $K$  - пересчетный коэффициент, равный 53,41 (мкг/г природного урана).

Полученные в течение более чем десяти лет (2006-2016гг.) результаты показывают, что между изотопами урана в химконcentратах, отобранных из участков подземного выщелачивания, наблюдается нарушение радиоактивного равновесия. Результаты определения средней концентрации  $^{234}\text{U}$  (мг/г) в химконcentратах, отобранных по кварталам в течение 2016 года, приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

**Средняя концентрация  $^{234}\text{U}$  в химконcentратах (мг/г) в течение 2016 года**

Номера проб	I квартал	II квартал	III Квартал	IV Квартал
Р-3	50,1	49,9	50,8	48,5
Р-2	50,4	49,5	51,1	49,4
Р-1	51,1	49,3	47,1	50,1
С	53,1	51,7	51,9	53,0
Ки	57,8	56,7	56,2	56,0
К	69,9	67,5	73,1	68,7

Измерение содержания  $^{234}\text{U}$  в товарной продукции проводилось в

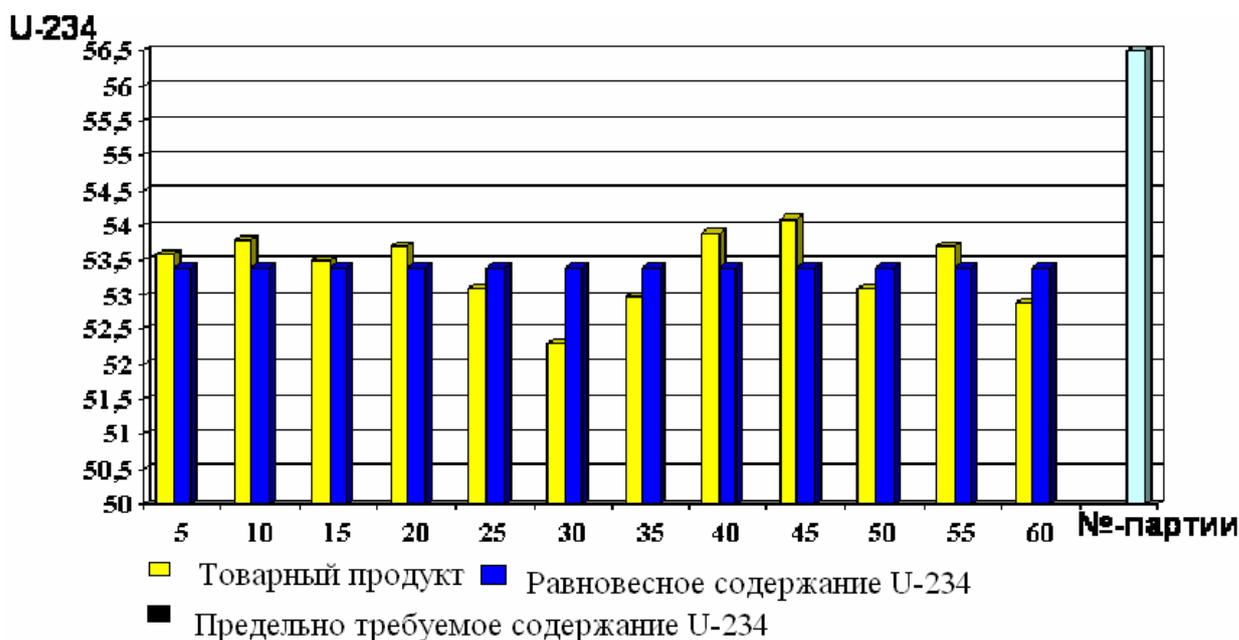
течение 2006-2016 годов. Результаты приведены на рис. 2.

Видно, что методом шихтовки получали товарный продукт с концентрацией  $^{234}\text{U}$  ниже порогового, т.е. требуемого значения.

Степень смещения радиоактивного равновесия выражается в% и определяется соотношением:

$$K_{pp} = \frac{\alpha}{\alpha_0} * 100\% \quad (5)$$

где  $\alpha$  - отношение -  $^{234}\text{U}$  к  $^{238}\text{U}$  в исследуемом образце,  $\alpha_0$ - равновесное соотношение между изотопами урана (в нашем случае оно равно – 53,41).



**Рис. 2. Изменение концентрации -  $^{234}\text{U}$  в товарной продукции урана в течение 2006-2016 годов**

*Исследование процесса нарушения радиоактивного равновесия изотопов урана.*

В ядерных превращениях радиоактивных семейств урана после первого же акта альфа - распада, изотоп -  $^{234}\text{U}$  приобретает значительную по величине энергию отдачи, достаточную для того, чтобы их связи в кристаллической решетке оказались существенно нарушенными. Поэтому изотоп -  $^{234}\text{U}$  геохимический оказывается на порядок более подвижным по сравнению с материнским -  $^{238}\text{U}$ , то есть  $\alpha$ -энергия (4770 кэВ) изотопа -  $^{234}\text{U}$  больше, чем  $\alpha$ -энергия (4195 кэВ) изотопа -  $^{238}\text{U}$ .

Исследованы факторы, влияющие на нарушение изотопного равновесия на примере трех рудоуправлений, где применяются различные технологии выщелачивания урана: безрагентная, миниреагентная, кислотная, гипохлоридная.

При кислотном выщелачивании кроме «молодых минералов» растворяются и минералы более раннего образования (настуран, уранинит),

где, в основном, содержится более 90% урана из общего количества в руде, где сохраняется радиоактивное равновесие между изотопами урана.

Для выпуска товарного продукта естественного урана (закись-окись) с нормативными значениями удельной активности (0,68 мКи/кг) предложен способ шихтовки химконцентрата с различными значениями  $^{234}\text{U}$  (48,0-73,0 мкг/г) в технологическом процессе аффинажа урана. Внедрение предложенного способа позволило получать за последние 10 лет готовую продукцию урана, соответствующую мировым стандартам.

В четвертой главе диссертации **«Проблемы радиозащиты и обеспечения радиационной безопасности при производстве урана»** рассмотрены разработка и внедрение методов контроля радиозащитных аспектов предприятий по добыче урана, в частности:

- оценено поведение радия в статических и динамических условиях при подземном выщелачивании урана и раскрыт механизм нарушения радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ ;

- разработаны методики определения фракционного состава урансодержащих частиц, выбрасываемых в атмосферу при прокатке готовой продукции урана, основанные на последовательном использовании ядерных фильтров с различной крупностью ячеек(пор) с целью минимизации экологического вреда и выбора оптимального режима работы, цеха прокатки готовой продукции завода;

- оценено состояние радиационно-опасных объектов; отвалов, образованные при переработке урансодержащих руд горным способом, участков ПВ урана уранодобывающих предприятий и хвостохранилища урановых отходов.

*Поведение радия в технологическом процессе.* Для исследования закономерностей и химизма поведения радия в производстве урана проводилось выщелачивание урана и радия в статических и динамических условиях с использованием различных растворителей (воды, бикарбонатов, серной и соляной кислот).

В результате проведенных исследований установлено, что:

- радий присутствует в продуктивных растворах и других промпродуктах подземного выщелачивания, как кислотного, так и бикарбонатного, его концентрация по наблюдаемой откачной скважине в процессе выщелачивания возросла с  $6,2 \cdot 10^{-7}$  мг/л до  $8,2 \cdot 10^{-7}$  мг/л;

- при бикарбонатном и сернокислотном выщелачивании концентрация радия в продуктивных растворах меньше, чем при прямом контакте руды с дистиллированной водой. Это свидетельствует о том, что часть радия соосаждается в процессе бикарбонатного выщелачивания с кальцитом, кислотного - с гипсом;

- по поведению радия в процессе сорбции имеется значительное количество данных, свидетельствующих о сорбции радия на смоле АМП, но примерно такое же количество результатов указывает на то, что в процессе сорбции и десорбции урана происходит десорбция радия со смолы.

Проведенные исследования могут являться основанием для организации

работ по рекультивации отработанных участков ПВ и оценки радиоэкологического состояния в подразделениях по подземному выщелачиванию урана.

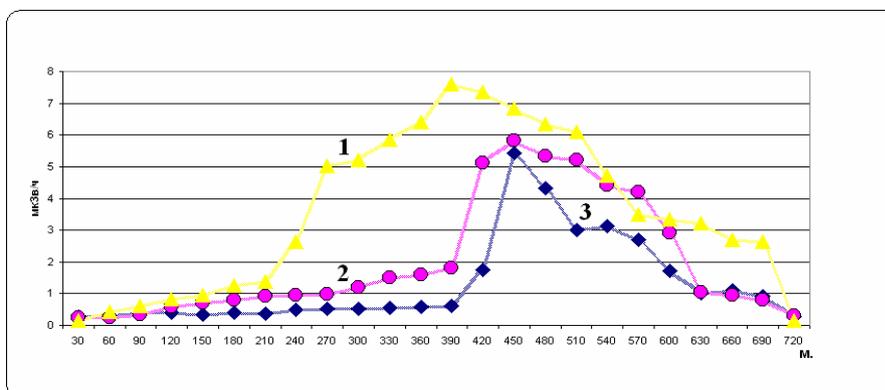
*Контроль технологии производства урана.* Среди общих радиоэкологических проблем, связанных с процессами развития горнорудной промышленности, особенно выделяется оценка значений естественного радиационного гамма фона на территориях действующих уран перерабатывающих заводов. Основными техногенными источниками загрязнения окружающей среды на этих объектах являются отвалы балансовых урановых руд, технологические растворы, отработанные участки подземного выщелачивания урана, выбросные газы с прокалки товарной продукции уран производящего завода.

Длительное хранение отвальных твердых хвостов представляет важную и сложную проблему, поскольку в них сконцентрировано до 70% содержащихся в руде радиоактивных продуктов (не считая урана), в основном долгоживущего -  $^{226}\text{Ra}$  чрезвычайно опасного потенциального источника радиоактивного заражения окружающей среды.

*Радиометрические исследования техногенных объектов.* Одним из оперативных ядерно-физических методов обследования техногенных объектов является радиометрический метод. На основании этого метода можно получить о техногенном объекте полноценную информацию.

На рис 3. приведены линейные зависимости МЭД гамма-излучения от точки замера на территориях техногенного объекта приведены. Значения фона и МЭД гамма-излучения в стыкующих точках по периметру техногенного объекта в среднем не превышают 0,25 мкЗв/час.

Мощность эквивалентной дозы - (МЭД) гамма-излучения в прилегающих территориях техногенных объектах составляет в среднем - 0,17 - 0,25 мкЗв/час, при значении естественной мощности эквивалентной дозы - 0,11 - 0,15 мкЗв/час. Линейные зависимости МЭД гамма-излучения от точки замера на территориях техногенного объекта приведены на рис 3. Значения фона и МЭД гамма-излучения в стыкующих точках по периметру техногенного объекта в среднем не превышают 0,25 мкЗв/час.



**Рис. 3. Линейные зависимости МЭД гамма-излучения от точки замера**

Как видно из рис.3 в техногенных объектах пространственное распределение значения МЭД гамма-излучений распределено нелинейно. Как видно из кривых 1, 2, 3 значения МЭД гамма-излучений колебаться от 0,30 мкЗв/час до 7,80 мкЗв/час, от 0,40 мкЗв/час до 5,90 мкЗв/час и от 0,28 мкЗв/час до 5,30 мкЗв/час соответственно. Это свидетельствует, что отходы различного состава имеют различный радиоизотопный состав и различную толщину слоя.

В исследованном техногенном объекте среднее значение МЭД гамма-излучений от 10 до 40 раз меньше чем установленная норма. Полученные результаты показывают, что все требования нормативных документов по размещению отходов производств выполняются на этом объекте в полном объеме.

Из полученных экспериментальных данных средняя концентрация радиоизотопов  $P_1$  и  $P_2$  в водах, отобранных ежеквартально в 2012-2016 годах из наблюдательных скважин пробуренных по периметру техногенного объекта, не превышает регламентируемых значений радиоизотопов в воде для  $P_1$  (45 Бк/л) и  $P_1$  (2,0 Бк/л). Природоохранные работы в этом техногенном объекте организованы в соответствии с установленными требованиями и полностью соответствует вышеперечисленным нормам, установленным в Республики Узбекистан.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему: «Разработка ядерно-физических методик контроля процессов извлечения золота, урана и их техногенный вклад в экосистему» получены следующие результаты:

1. Разработана и внедрена методика ИНАА для определения золота и сопутствующих элементов по короткоживущим и среднеживущим радионуклидам, с использованием  $^{252}\text{Cf}$ -источника нейтронов непосредственно в производственных условиях, с чувствительностью 0,4 г/кг при навеске 250г, 0,8 г/кг при навеске 70г в смолах.

2. Для решения радиоэкологических задач методом радиометрии и гамма-спектрометрии определены концентрации радиоактивных элементов и активности естественных радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{40}\text{K}$ ) в почвах отобранных из хвостохранилища ГМЗ-1 и наблюдательных зон, на территории уранодобывающих подразделений комбината. Найдены закономерности миграции радия в технологическом процессе извлечения урана, на основании которых предложен способ рекультивации отработанных участков подземного выщелачивания урана.

3. Проведено непрерывное измерение значения естественного радиационного фона на территории ГМЗ-1 в течение 5 лет. На основании результатов исследований по определению концентрации урана и фракционного состава урансодержащих частиц, выбрасываемых в атмосферу при прокатке готовой продукции урана, основанных на последовательном

использовании ядерных фильтров различной крупности, найдена зависимость, по которой можно оценить режим работы цеха готовой продукции прокалки урана.

4. Усовершенствована методика радиохимической очистки урана от сопутствующих радиоактивных изотопов и приготовления, так называемого, «счетного образца». Методика позволяет проводить идентификацию изотопов урана по их излучению и определять малые концентрации  $^{234}\text{U}$  в природных водах различного происхождения, в продуктивных растворах и химконцентраатах урана.

5. Изотоп урана  $^{234}\text{U}$ , образующийся в результате альфа - распада, в валовом природном уране находится в равновесном количестве 0,0053% (аллогенный фактор). Однако, он в молодых минералах дополнительно образуется за счет не равновесного радиоактивного распада изотопа  $^{238}\text{U}$  (аутогенный). При появлении в образце аутогенного процесса доля изотопа  $^{234}\text{U}$  увеличивается, что приводит к изменению изотопного отношения -  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ .

6. Усовершенствованная методика применена для определения содержания  $^{234}\text{U}$  в химконцентраатах различных участков с различными режимами технологий ПВ, и по полученным результатам выявлен механизм нарушения радиоактивного равновесия между изотопами урана, заключающийся в следующем:

–при безреагентном, миниреагентном, гипохлоритном выщелачиваниях, когда уран переходит в раствор, за счет, как более поздних образованных минералов (коффинит, надкевит, браннерит, давидит, титанит и фосфаты), где наблюдается повышенное содержание  $^{234}\text{U}$ , так и за счет минералов, где  $^{234}\text{U}$  находится в равновесии с  $^{238}\text{U}$ ;

– при кислотном выщелачивании, так как кроме «молодых минералов» растворяются и минералы более раннего образования (настуран, уранинит), где, в основном, содержится более 90% всех изотопов урана. За счет чего сохраняется радиоактивное равновесие между изотопами урана.

7. Предложен метод для подготовки кондиционной экспортной продукции путём шихтования продукции, полученной из равновесных и не равновесных минерализованных руд. Предложение принято в НГМК к внедрению и в настоящее время используется в получении товарной продукции с регламентируемой удельной активностью 0,68 мКи/кг или 25,16 МБк/кг.

8. Впервые разработана методика определения форм нахождения элементов в подземных и сточных водах с использованием ядерных фильтров (диаметр пор 0,16-0,20 мкм) в процессе электродиализа и в сочетании с методами «меченных атомов». Найдено, что преимущественно в катионной форме находится - Fe, Ce, Eu, в анион-катионной форме - Cr, в анион-нейтральной форме - Cr, Se, Ag, Sb, Au, в катион-нейтральной форме - Sc, Cr, Co, Zn.

9. По результатам исследований факторов, загрязняющих окружающую среду, установлено:

– основным загрязняющим участком Кызылкумского региона являются забалансовые руды, находящегося на обширной территории Учкудукского региона, а также участки ПВ урана и хвостохранилища ГМЗ-1, где хранятся отработанные урановые отходы;

– для улучшения радиоэкологического состояния региона рекомендуется проведение рекультивационных работ и покрытие отработанных урановых отходов отходами переработки золотосодержащих руд ГМЗ-1 или организацией посевов дикорастущих растений.

**SCIENTIFIC COUNCIL ON AWARD OF SCIENTIFIC DEGREES  
DSC.27.06.2017.FM/T.33.01 AT INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS,  
ASTRONOMICAL INSTITUTE, NATIONAL UNIVERSITY OF  
UZBEKISTAN**

---

**INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS  
NAVOI MINING AND METALLURGICAL COMBINAT**

**MUZAFAROV AMRULLO MUSTAFOEVICH**

**DEVELOPMENT OF NUCLEUS-PHYSICAL METHODS OF THE  
MONITORING THE PROCESS OF THE EXTRACTION OF GOLD,  
URANIUM AND THEIR TECHNOGENIC CONTRIBUTION TO THE  
ECOSYSTEM**

**01.04.01 –Instruments and methods of experimental physics**

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

**Tashkent – 2018**

**The subject of the doctor of philosophy dissertation is registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan B2017.2.PhD/FM61.**

The dissertation has been carried out at the Institute of Nuclear Physics and Navoi Mining and Metallurgical Combinat.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, English and Russian (resume)) is posted on the web page at the address of [www.inp.uz](http://www.inp.uz) and Information-educational portal "Ziyonet" ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific supervisor:**

**Sattarov Gaivillo Sattarovich,**

doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Muminov Tolib Musaevich,**

doctor of sciences in physics and mathematics, professor,  
academician of the Academy of sciences of the Republic of  
Uzbekistan

**Salimov Mukhammad Ibragimovich**

doctor of philosophy (PhD) in technical sciences

**Leading organization:**

**Samarkand State University**

The defense of dissertation will take place on the \_\_\_\_\_ at the meeting of Scientific council DSC.27.06.2017.FM/T.33.01 at Institute of Nuclear Physics, Astronomical Institute, National University of Uzbekistan to address: Institute of Nuclear Physics, Ulugbek, Tashkent 100174, ph.: (+99871)289-31-18; fax: (+99871)289-31-50; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz).

The dissertation is registered at Information-resource center of Institute of Nuclear Physics, number \_\_\_\_\_. It is possible to review it in the IRC (INP, Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan, 100214), ph.: (+99871) 289-31-19).

Abstract of dissertation sent out on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 year  
(mailing report number \_\_\_\_\_ dated \_\_\_\_\_ 2018)

**M.Yu. Tashmetov**

Chairman of scientific council on award of  
scientific degrees D.Ph.M.S., professor

**R. Yarmukhamedov**

Scientific secretary of scientific council on award of  
scientific degrees D.Ph.M.S., professor

**I.Nuritdinov**

Chairman of scientific seminar under scientific council on  
award of scientific degrees, D.Ph.M.S., professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The urgency and relevance of the dissertation topic.** At the present time, the study of the technological processes of mining and production of gold and uranium is one of the determining directions for production increasing of strategic products in the world. The economy development and prospects of any country in the world is connected with its currency gold reserves and exported energy resources. In this connection, gold and uranium mining is increasing year by year in the world. If in 2012 gold production was 2613.0 tons, then in 2016 it was 3211.4 tons. At the same rate, uranium production also grows: 2012 - 53663.0 tons, 2016 - more than 61003.2 tons. The reason for this increase in the production of precious gold and radioactive uranium is an expansion of world demand. In connection with this, there is currently a certain deficit in high-quality gold and uranium in the world market.

In the years of independence, great attention has been paid to the development of experimental studies on the analytical control of all technological processes in the mining and metallurgical industry, which make a significant contribution to the country's economy and strengthen its independence, and to conduct research in this direction at the world level. On the basis of the measures program implemented in this direction, significant results have been achieved, in particular, the volume of extraction of minerals has been increased, the cost of finished products has been reduced and the annual output of products has been increased. The strategy for further development of the Republic of Uzbekistan defines tasks for the implementation of a program to develop and introduce into production methods for controlling the extraction of gold, uranium and their technogenic contribution to the ecosystem.

The Republic of Uzbekistan is among the top ten countries in the world for gold and uranium mining. All produced finished products are extracted hydrometallurgically. The depletion of the raw base of noble and radioactive metals requires the involvement of complex, diverse, poor and secondary ores in production. The tasks of a significant increase in gold and uranium mining from year to year predetermine the need to develop efficient, economical and environmentally benign technologies for the recovery of useful metals and the integrated use of raw materials. In this regard, the improvement of existing and the development of new rapid, operational and informative methods for controlling the technological process in order to reduce the cost of production, increasing the degree of through-extraction of metals, rational use of raw materials and reducing the technogenic impact of uranium-gold mining enterprises on the environment are urgent tasks of applied nuclear physics, technology and radioecology.

This research work corresponds to the tasks stipulated in the state regulatory documents, Resolutions and Decrees of the President of the Republic of Uzbekistan No. PR-1442 dated December 15, 2010 "On Priorities of Development of Industry of the Republic of Uzbekistan in 2011-2015", No.PD-4707 dated March 4, 2015 "On the Program of Measures to Ensure Structural Transformation,

Modernization and Diversification of Production in 2015-2019" and No.PD-4947 dated February 7, 2017 "On the Strategy of Actions for the Further Development of the Republic of Uzbekistan".

**Conformity of the research with the priority directions of development of science and technology in the Republic.** The dissertation research was carried out in accordance with the priority directions of the development of science and technology in the Republic of Uzbekistan: II. "Energy, energy and resource saving", III. "Development and use of renewable energy sources" and VII. "Earth sciences (geology, geophysics, seismology and processing of mineral raw materials)."

**Degree of knowledge of the problem.** Scientific research on the development of nuclear physical methods for controlling the processes of gold, uranium and their technogenic contribution to the ecosystem was carried out by many leading scientists of the world, for example, the scientists of European countries Teldeshi Yu., Keller K., Burgess D.D., Lyon W.S., Rastegas E., Vandekastle K., Osek F. and Russian (Flerov G.N., Mednis I.V., Myasoyedov B.F., Kuznetsov R.A., Burmistenko Yu.N., Ivanov I.N., Perelman A.I., Laskorin B.N., Petrov Yu.V., Kiryakov G.I., Vozzhenikov G.S., Zabarenko K.B. and others. However, all these works were dedicated to the development of various general methods, by studying other industrial products, mining and metallurgical and ecological objects, which differ in chemical composition and structure from our investigated object.

Uzbek scientists developed nuclear-physical techniques for analytical control of technological processes of gold and uranium (Kist.A); certain results have been achieved on the use of nuclear physical techniques for controlling the technological processes of gold and uranium, as well as on the application of these techniques for monitoring ecosystems (Ganiev AG, Muminov T.M., Khatamov Sh.Kh., Aripov G.A., Khudoyberganov U., Miranskiy I.N., Haydarov R.A., Bakiev S.A., Mukhamedov SM, Sattarov GS, Flitsian EG, Kulmatov RA, etc.). In these developments, there is no detailed study of the radioactive imbalance between  $^{238}\text{U} / ^{226}\text{Ra}$  and  $^{238}\text{U} / ^{234}\text{U}$ , an increase of  $^{234}\text{U}$  content in the produced uranium protoxide-uranium oxide, a mechanism for disturbing the radioactive equilibrium between uranium isotopes, the degree of environmental pollution of mining and metallurgical complexes and tailings of hydrometallurgical enterprises and probability of groundwater contamination by technogenic compounds.

**The connection between the topic of the dissertation and the research work of the research institution, where the thesis was completed.** The dissertation research was carried out within the framework of scientific projects of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan on the subject: 3.1.3.8. "Development and introduction of methods for extracting valuable metals from industrial waste of industrial enterprises of the Republic of Uzbekistan and methods for their analytical control" (2000-2002), A-13.113 "Development of a method for controlling the technological process for the production of rhenium, gold and other precious metals" (2006-2008) and Navoi State Mining Institute (GSTP-7) on the theme 3.8.3 "Investigation of the natural

and technogenic conditions of the Navoi region and the development of interactive teaching methods for students of natural specialties" (2009-2011).

**The aim of the research work** is to develop nuclear-physical methods for analyzing the elemental composition, isotopic composition of uranium and its decay products in natural and technological materials, to control the extraction of gold, uranium and associated metals, and to introduce them for solving technological and environmental problems.

**The tasks of research:**

Development of instrumental neutron activation analysis (INAA) using an encapsulated  $^{252}\text{Cf}$  neutron source to study the technological process of gold recovery and some other elements;

Introduction of an alpha-spectrometric method for uranium isotopic determination in chemical concentrates and finished uranium products;

Development and implementation of a technique for mixture preparation and obtaining commercial uranium products with a regulated specific activity of 0.68 mCi/kg;

Introduction of a method for the continuous monitoring of the radioecological situation in uranium production and the determination of the amount of radionuclide release into the atmosphere using nuclear filters;

Development and application of INAA using a nuclear reactor to assess the technogenic impact of the gold-mining industrial enterprise on the environment.

**The object of the research work** are gold-containing, uranium-containing technological samples, chemical concentrates and uranium oxide, technological solutions, industrial effluents, mining waste, off-balance ores and ecosystem samples (air, soil, water).

**The subject of the study** the processes of extraction of gold-bearing ores by the open method, hydrometallurgical and geotechnological methods for processing gold-containing and uranium-bearing ores and ecological aspects of the technological process.

**Methods of research.** Complex methods of research, including scientific generalizations, experimental studies in the laboratory and industrial conditions on the use of NPMA, the INAA method, the X-ray fluorescence method, the "labeled atoms" method, radiometry, alpha and gamma spectrometry, as well as mathematical statistics and correlation analysis of test results using modern computer technology.

**Scientific novelty of the research work** is as follows:

for the first time developed a method for determining the form of elements in underground and sewage, based on electrodialysis using nuclear filters of different pore diameters (0.16-2.0  $\mu\text{m}$ ), which allowed to estimate the behavior of ions (scandium, chromium, iron, cobalt, zinc, selenium, silver, antimony, cerium, europium and gold) of technogenic origin in natural conditions;

a radiochemical method for concentrating uranium in chemical concentrates and uranium oxide-uranium has been developed, which makes it possible to determine the isotope composition of uranium ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) by an alpha-spectrometric method;

the mechanism of disturbance of radioactive equilibrium between uranium isotopes ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ) in technological products of NMMC has been revealed;

optimal operating modes of the process shop for calcination have been found to reduce the level of harmful emissions into the atmosphere;

there have been suggested method for reclamation of waste sites of underground uranium leaching, which allows to reliably protect personnel and the environment from the harmful effects of ionizing radiation.

**The practical results of the study** are as follows:

the methods of multi-element neutron activation analysis of the composition of technological and natural samples using an atomic reactor and a californium neutron source for operational control of the extraction of gold, uranium, associated precious metals and for solving environmental problems have been developed;

the results of studies on the development of a technique for determining the isotopic composition of uranium and natural radioactive elements in various natural, technological samples were obtained, and regularities were found for the violation of radioactive equilibrium between the  $^{226}\text{Ra} / ^{238}\text{U}$  and  $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$ ;

the factors influencing the amount of radioactive substances release into the environment on uranium production are estimated and practical recommendations on minimization of technogenic influence of enterprises on the environment are given out;

the spatial distribution of man-made elements in the area of activity of gold mining enterprises, the form of finding elements in production sewage and groundwaters, with the purpose of establishing the regularity of pollution and predicting the magnitude of the technogenic impact in the future on the environment is determined.

**The reliability of the results** of the study is justified by a significant amount of theoretical and laboratory research, the use of modern methods and means of measurement, a comparative analysis of the developed methodologies with data from international reference samples, parallel analysis and comparison of data from various researchers and laboratories.

**Scientific and practical significance of the research results.** The scientific significance of the results of the study is to assess the factors that influence the release of harmful radioactive substances into the atmosphere in the production of uranium, the discovery of a previously unknown phenomenon - a violation of the radioactive equilibrium between the  $^{226}\text{Ra} / ^{238}\text{U}$  and  $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$  isotopes, depending on the specific geotechnology of uranium, the mechanism and pattern of pollution territory around the gold mining enterprise, technogenic elements depending on hydrometallurgical conditions of extraction and processing ore.

The practical significance of the research results consists in the development and application of the INAA express methodology for determining the gold content and a number of elements directly under the production conditions of metals extraction using a  $^{252}\text{Cf}$  neutron source, determining the form of location and migration conditions of elements in sewage and groundwater, water pollution.

### **Introduction of research results.**

On the basis of the results obtained on the development of nuclear-physical methods for analyzing the elemental composition, the isotopic composition of uranium and its decay products in natural and technological materials, controlling the extraction of gold, uranium and associated metals:

methods for measuring the isotope composition of uranium ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) by the alpha-spectrometric method in uranium chemical concentrates selected from the sites of underground leaching and uranium oxide-uranium of NMMC are developed (the act of introducing the HMP-1 NMMC No. 2455 from 14.12.2017). The use of the developed methods in the practice of ore mining "HMP-1" allowed to obtain the commodity uranium products from chemical concentrates, corresponding to the customer's regulatory requirements, thereby improving the quality of the finished products entering the sale;

a method for determining the content of natural and anthropogenic elements in soil and in groundwater in the area of the HMP-2 tailings of the Central Mining Administration of NMMC (act of introducing the CMA NMMC No. 2446 from 12.12.2017). Using the developed methodology, it was possible to evaluate the technogenic impact of the HMP-2 tailings storage facility of the CMA NMMC on the environment. The results of the research are applied to the design of the third stage of the tailing dump and observation wells of the CMA HMP-2;

the developed methods of multi-element neutron activation analysis of the composition of technological and natural samples were used for the analysis of environmental objects of the applied project FA-A7-F056 "Multi-element characterization of the ecological situation in Tashkent using nuclear-analytical methods to identify the connection with the health of the population" (2009-2011) (a letter of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No. 2/1255-1737 dated 03.07.2018). The use of these methods allowed to determine the averaged values of air pollution, surface water, soil and submit maps of the distribution of elements in the biosphere objects for the districts of Tashkent in order to develop measures to protect public health;

the developed methods for determining the isotopic composition of uranium and natural radioactive elements in various natural, technological samples were used for the analysis of metallurgical waste ((URHMP)Uzbek combine refractory and heat-resistant metals, AMMC(Almalyk mining metallurgical combine) for the determination of rare and dispersed elements of the applied project FA-A14-F060 "Development of new highly sensitive nuclear-physical methods for determining the severity ferrous and rare metals in natural and technological materials" (2009-2011). Using these techniques, it was possible to determine the content of up to 30 microelements with 10-4-10-9% detection limits, which is important for determining impurity composition of uranium products and environmental protection.

**Approbation of research results.** The results of the research were discussed at 5 international and 2 republican scientific-technical and scientific-practical conferences.

**Published results of the study.** 19 research papers were published on the topic of the thesis, including 10 scientific articles, 3 of them in international scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Republic of Uzbekistan for publication of the main scientific results of the Ph.D. in technical sciences, 1 certificate of official registration of the program for computers of the Republic of Uzbekistan.

**Structure and scope of the dissertation.** The thesis consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of literature and attachments. The volume of the thesis is 122 pages.

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

**I бўлим (part I; I часть)**

1. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кадиров Ф., Латышев В.Е. Методы оценки техногенного влияния хвостохранилищ промышленных предприятий на окружающую среду //Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2002. – №2. – С.85-89 (05.00.00; №7).

2. Саттаров Г.С., Камилов Ж.М., Музафаров А.М., Кадиров Ф.М., Латышев В.Е. Информативные и оперативные ядерно-физические методы контроля технологического процесса//Горный журнал.– Москва, 2002. - Специальный выпуск. – С. 137-139 (05.00.00; №28).

3. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Думбрава А.А., Петухов О.Ф., Ослоповский С.А. Исследование изотопного состава урана альфа-спектрометрическим методом //Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2005. – №2. – С. 94-98 (05.00.00; №7).

4. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кист А.А. Нейтронно-активационный анализ золота и сопутствующих элементов в технологических продуктах с использованием  $^{252}\text{Cf}$ -источника нейтронов//Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2007. – №2. – С. 92-95 (05.00.00; №7).

5. Музафаров А.М., Глотов Г.Н., Саттаров Г.С., Кист А.А. О вопросе нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана//Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – №1. – С.57-60(05.00.00; №7).

6. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Оценка влияния техногенных факторов на экологию региона //Горный журнал.– Москва, 2013. – №8. – С. 61-64(05.00.00; №28).

7. Музафаров А.М., Темиров Б.Р., Саттаров Г.С. Экологический мониторинг техногенных факторов при добыче и переработке урана и золота//Экологический вестник. – Ташкент, 2013. – №12. – С.24-33 (04.00.00; №1).

8. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Кист А.А. Опыт применения ядерно-физических методов в горно-металлургическом производстве//Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2015. – №1. – С.120-124 (05.00.00; №7).

9. Музафаров А.М., Ослоповский С.А., Саттаров Г.С. Радиометрические исследования техногенных объектов//Цветные металлы. – Москва, 2016. – №2. – С. 15-19(05.00.00; №91).

10. Музафаров А.М., Шарафутдинов У.З., Дониеров Н.А., Ражаббоев И. Современное состояние радиозэкологической обстановки производства Навоийского ГМК и его влияние в экосистему//Экологический вестник. – Ташкент, 2016. – №9. – С.15-17 (04.00.00; №1).

## II бўлим (part II; II часть)

11. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Мустафоев М.А., Уринов Ш.Р. Расчет параметров локально-поверхностного распределения техногенно-загрязняющих элементов //Государственное патентное ведомство РУз. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №DГУ 04449. 23.02.2017г.

12. Музафаров А.М., Мясников В.А., Саттаров Г.С., Камилов Ж.М. и др. Комплекс ядерно-физических методов в контроле металлургического процесса //Исследования по теоретической и экспериментальной физике: Сб. научн.трудов СамГУ.- Самарканд, 1997. - С. 181-186.

13. Muzafarov A.M.,Kadirov F.M., Sattarov G.S., LatichevV.Ye., Kist A.A. Determination of elements presence speculation in natural and man-caused waters //Radioisotopes and their applications: Abst. the IIIConf. 8-10 October 2002. – Tashkent, 2002. - pp.74-75.

14. Muzafarov A.M., Sattarov G.S., Kist A.A.Impact of mining industries on anenvironment //Modern problems of Nuclear physics: VIntern. Conf. 12-15 August 2003. –Samarkand, 2003. -pp.311-312.

15. Музафаров А.М.,Думбрава А.А., Саттаров Г.С., Петухов О.Ф. Изучение изотопного состава урана  $\alpha$ -спектрометрическим методом //Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: Материалы 4Межд. конф. Москва-Навои18-25 сентября 2005. – Москва, 2005.- С.343-344.

16. Muzafarov A.M., Sattarov G.S. Radiation-dosimetric researches on uranium mining enterprises //Modern problems of Nuclear physics: Abstract of the VII International Conference 22-25 September 2009. - Tashkent, 2009. - pp. 200-202.

17. Музафаров А.М.,Саттаров Г.С., Кист А.А. Исследование радиоактивного равновесия между  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в урановых продуктах //Ядерная и радиационная физика: Тез. докл. 9-ой Межд. конф. 24-26 сентября 2013. – Алматы (Казахстан), 2013. - С. 194-195.

18. Музафаров А.М.,Саттаров Г.С., Назаров Ж., Кист А.А. Факторы нарушения радиоактивного равновесия в урановой цепочке между изотопами  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ //Актуальные вопросы химической технологии и защиты окружающей среды:Материалов III-ой Всероссийской конференции 21-22 ноября 2013. – Новочебоксарск (Россия), 2013.-С.65-66.

19. Музафаров А.М.,Саттаров Г.С., Иванов В.Н., Кист А.А. Величины соотношения  $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$  как геофизический фактор при исследовании природных и техногенных процессов/ Ўзбекистонда геология фанлари: муаммолар, ривожланиши ва инновацион йўналишлари: Респ. Илмий-техник анжумани материаллари.- Ташкент, 2013. - С.247-249.