

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.ФМ/Т.33.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

САФАРОВ АКМАЛ АСКАРОВИЧ

**АТРОФ МУҲИТ ОБЪЕКТЛАРИНИНГ ПАСТ АКТИВЛИГИНИ
ЎРГАНИШ: ГАММА СПЕКТРОМЕТРИЯДА ЯНГИ ЁНДАШУВ**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси. Тезлаштирувчи техника

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

Тошкент – 2021

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

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

**Content of the dissertation abstract of the doctor of philosophy (PhD) on
physical and mathematical sciences**

Сафаров Акмал Аскарлович

Атроф-муҳит объектларининг паст активлигини ўрганиш: гамма-
спектрометрияда янги ёндашув..... 5

Сафаров Акмал Аскарлович

Исследование низких активностей объектов природной среды: новый
подход в гамма-спектрометрии 21

Safarov Akmal Askarovich

The study of low activities of environmental objects: a new approach in
gamma spectrometry..... 39

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works..... 43

**ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ
ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.02/30.12.2019.ФМ/Т.33.01 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

САМАРҚАНД ДАВЛАТ УНИВЕРСИТЕТИ

САФАРОВ АКМАЛ АСКАРОВИЧ

**АТРОФ МУҲИТ ОБЪЕКТЛАРИНИНГ ПАСТ АКТИВЛИГИНИ
ЎРГАНИШ: ГАММА СПЕКТРОМЕТРИЯДА ЯНГИ ЁНДАШУВ**

01.04.08 – Атом ядроси ва элементар зарралар физикаси. Тезлаштирувчи техника

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

Тошкент – 2021

Физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2020.2.PhD/FM508 рақами билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Самарқанд давлат университетида бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгашнинг веб-саҳифасида (www.inp.uz) ва «Ziyonet» таълим ахборот тармоғида (www.ziyonet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар: **Муминов Толиб Мусаевич**
физика-математика фанлари доктори, профессор, академик

Расмий оппонентлар: **Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич**
физика-математика фанлари доктори, профессор

Бекмирзаев Раҳматулла Нурмурадович
физика-математика фанлари доктори, профессор

Етакчи ташкилот: **Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон миллий университети**

Диссертация химояси Ядро физикаси институти ҳузуридаги DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 рақамли Илмий кенгашнинг 2021 йил _____ соат _____ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100174, Тошкент ш., Улуғбек кўрғони, Ядро физикаси институти. Тел. (+99871) 289-31-41; факс (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

Диссертация автореферати 2021 йил «__» _____ куни тарқатилди.
(2021 йил “__” _____ даги _____ рақамли реестр баённомаси)

М. Ю. Ташметов

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

О.Р. Тожибоев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби, ф.-м.ф. PhD

И. Нуритдинов

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. Ҳозирги кунда дунёда сцинтилляцияцион детекторлар (биринчи навбатда NaI(Tl) кристалларига асосланган) ядро физикаси, тиббий диагностика, дозиметрия, радиология, кончилик, нефт-газ соҳаси, кимё саноати, озиқ-овқат ва қурилиш материаллари хавфсизлиги радиацион назорати, криминалистика, геология ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш соҳаларида кенг қўлланилади. Сцинтилляцияцион гамма-спектрометрларнинг бир қатор афзалликларига қарамай, уларнинг муҳим камчилиги энергия бўйича паст ажрата олиш қобилиятидир. Сўнгги йилларда дунёнинг етакчи ишлаб чиқарувчилари томонидан янги инновацион материалларга асосланган $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ва $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ каби детекторлар ишлаб чиқарилмоқда. Ушбу детекторлар 2 барабар юқори энергия бўйича ажрата олиш қобилиятига эга, аммо ҳатто улар ҳам мураккаб радионуклидли таркибга эга, масалан, табиий муҳит объектлари намуналаридаги интерференцияловчи гамма нурларини идентификация қила олишмайди. Шу муносабат билан, сцинтилляцияцион детекторларнинг энергия бўйича паст ажрата олиш қобилиятини компенсация қилишга қаратилган усулларни ишлаб чиқиш долзарб вазифадир.

Жаҳонда атроф-муҳит муҳофазасининг физикавий таҳлиliga бағишланган тадқиқотларнинг асосий қисми, фундаментал илмий изланишлар билан бир қаторда инсонларни ортиқча радиоактив зарарланишдан ҳимоя қилишга йўналтирилган. Шу сабабли, аҳолининг нурланиш дозаларини баҳолашда қўлланиладиган сцинтилляцияцион спектрларни қайта ишлашнинг янги ёндашувларини топиш, масалан, гамма-спектрларни математик алгоритмлар ёки эталон манбалари спектрлари ёрдамида таркибий қисмларга ажратиш усулларини ишлаб чиқиш бўйича тадқиқотларга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ўзбекистонда атом электр станцияси қурилиши режалаштирилганлиги муносабати билан ҳукумат томонидан атом энергетикасини ривожлантириш Концепцияси қабул қилинган ва унда инсон саломатлиги билан боғлиқ радиацион хавфсизлик масалаларига алоҳида эътибор қаратилган. Президент томонидан белгилаб ўтилган “атом энергиясидан фойдаланишда атроф-муҳит муҳофазасини ва одамларни радиациядан ҳимоя қилишни таъминлаш” вазифасини бажариш мақсадида атроф-муҳит радиацион ҳолатини назорат қилишда гамма спектрометрик таҳлилларнинг самарадорлигини ошириш муҳим аҳамиятга эга. Мамлакатимизда илм-фаннинг муваффақиятли ривожланиши учун фундаментал тадқиқотлар ва ишланмаларнинг асосий йўналишлари ва уларни амалий қўллаш Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича 2017–2021 йилларга мўлжалланган Стратегиясида¹ ўз аксини топган.

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги № ПФ-4947 сон Фармони «2017–2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини ривожлантиришнинг бешта устувор йўналиши бўйича Ҳаракатлар стратегияси»

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”, 2018 йил 19 июлдаги ПФ-5484-сон “Ўзбекистон Республикасида атом энергетикасини ривожлантириш чоратadbирлари тўғрисида” фармонлари, 2019 йил 7 февралдаги ПҚ-4165-сон “2019-2029 йилларда Ўзбекистон Республикасида атом энергетикасини ривожлантириш концепциясини тасдиқлаш тўғрисида” ва 2019 йил 16 октябрдаги ПҚ-4492-сон “Ўзбекистон Республикасининг ядро-энергетика дастури учун кадрлар салоҳиятини ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида” қарорлари ҳамда ушбу соҳадаги бошқа меърий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Диссертация тадқиқотлари республика фан ва технологияларни ривожлантиришнинг IV. «Қишлоқ хўжалиги, биотехнология, сув ресурслари муаммолари, экология, атроф-муҳитни муҳофаза қилиш» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Бугунги кунга қадар дунёнинг кўплаб мамлакатларидаги олимлар, шу жумладан исроиллик (K. Kovler, Z. Prilutskiy, S. Antropov, N. Antropova, V. Bozhko, Z.B. Alfassi, N. Lavi), юнонистонлик (M. Pilakouta, F.K. Pappa, D.L. Patiris, C. Tsabaris, C.A. Kalfas), покистонлик (Muhammad Iqbal, Muhammad Tufail, Sikander M. Mirza), хитойлик (Jian-Feng He, Yao-Zong Yang, Jin-Hui Qu, Qi-Fan Wu, Hai-Ling Xiao, Cong-Cong Yu), бельгиялик (C. Mertens, C. De Lellis, P. Van Put, F. Tondeur), буюк британиялик (J.D. Allyson, D.C.W. Sanderson), америкалик (Robin P. Gardner, Xianyun Ai, Cody R. Peeples, Jiaxin Wang, Kyoung Lee, Johanna L. Peeples, Adan Calderon) ва бошқалар томонидан экспериментал гамма спектрларни таҳлил қилишнинг турли усуллари ишлаб чиқилган.

Сўнгги йилларда сцинтилляцион гамма спектрларни таҳлил қилиш бўйича мавжуд усуллар радионуклид таркиби маълум бўлган намуналардаги табиий радионуклидларнинг солиштирма активлигини юқори аниқлик билан ҳисоблашга имкон беради. Шу билан бирга, сцинтилляцион детекторларнинг гамма квантларни қайд қилиш эффективлиги юқорироқ бўлганлиги сабабли, намунани таҳлил қилиш вақти яримўтказгичли детекторларга нисбатан бир неча баравар қисқарок.

Бироқ, мавжуд математик ечимлар муайян спектрометрнинг жавоб бериш функциясининг ноаниқлиги билан чекланган. Спектрал интерваллардаги радионуклидларнинг сезгирлик коэффициентларини ўлчашга асосланган экспериментал усуллар намунада фақат ^{232}Th , ^{238}U ва уларнинг емирилиш маҳсулотлари, шунингдек ^{40}K мавжудлиги тахмини билан чегараланган. Намунада бошқа гамма нурланишга эга радионуклидлар мавжуд бўлганда, интерференцияловчи фоточўққилар ва уларнинг таркибидаги Комптон тақсимотининг улуши туфайли ўлчов хатоликларини ҳисоблаш имконияти чегараланиб қолади.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Самарқанд давлат университети илмий-тадқиқот ишлари режасининг № ОТ-Ф2-025 “Оғир металллар ва радионуклидларнинг биологик тизимларнинг техноген ифлосланган ҳудудларида эко-физиологик жараёнларига таъсирини ўрганиш” (2007-2009), № ИТД-7-024 “Тушувчи радионуклидларнинг гамма-спектрометрияси (^{137}Cs , ^7Be) ва Ўрта Осиёда тупроқнинг емирилишини баҳолаш” (2009-2011), № А-7-13 “Ўзбекистоннинг қишлоқ жойларида оммавий қурилиш жойларида радон хавфини баҳолаш” (2015-2017), № А-7-6 “Ичимлик сувининг радиацион хавфсизлигини мониторинг қилиш усуллари ишлаб чиқиш ва амалга ошириш” (2015-2017), № ПЗ-20170927132 “Қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш методикаси” (2018-2020) мавзусидаги илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади мураккаб радионуклидли таркибга эга объектлар тадқиқотларида сцинтилляцион гамма спектрометрияда кузатиладиган энергия буйича паст ажрата олиш қобилиятини компенсация қилиш ечимларини топишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

мураккаб радионуклидли таркибга эга намуналарининг сцинтилляцион ү-спектрларини таркибий қисмларга ажратиш буйича услубий ечимларини ишлаб чиқиш;

топилган ечимлар асосида:

атроф-муҳитнинг турли объектларида радионуклидларнинг фон миқдорларини тадқиқ қилиш;

тушувчи радионуклидлар солиштирма активлиги билан тупроқ эрозияси жараёнлари орасидаги боғланишни ўрганиш;

қурилиш материалларининг радиацион ҳолати буйича тезкор таҳлил имкониятларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объектини Нурота ҳудудидаги тупроқ, ўсимликлар, сув, фойдали қазилмалар ва қурилиш материаллари намуналари ташкил этади.

Тадқиқотнинг предметини атроф-муҳит объектларидаги табиий, техноген ва космоген радионуклидларнинг солиштирма активлиги ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Сцинтилляцион ва яримўтказгичли гамма спектрометрия, математик статистика, спектрометрик маълумотларни қайта ишлаш, спектрометрик тизимнинг параметрларини барқарорлаштириш, сигналларни шакллантириш ва амплитуда буйича чегаралаш (дискриминация этиш) усулларидан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидагилардан иборат:

паст активлик ва мураккаб радионуклидли таркибга эга намуналар гамма спектрометрик таҳлилларида мавжуд гамма фоточўққилар интерференцияси муаммосини бартараф этувчи ва Комптон тақсимотининг фоточўққиларга

қўшган улушини тўғри ҳисобга олувчи сцинтилляцион гамма спектрларни таркибий қисмларга ажратишга асосланган янги ёндашув таклиф этилган;

Нурота табиий муҳит объектлари таркибидаги табиий, космоген ^7Be ва техноген ^{137}Cs радионуклидларнинг солиштирма активлиги миқдорлари илк бор аниқланган;

тупроқларнинг ўрта ва қисқа муддатли эрозиясини миқдорий баҳолашда жараён бориш тезлигининг ^7Be ва ^{137}Cs тушувчи радионуклидлар концентрацияси ва тарқалишига боғлиқлиги аниқланган;

қурилиш материалларининг радиацион ҳолатини тезкор баҳолашда ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасидаги мувозанат бузилишини ҳисобга олган ҳолда таҳлил вақтини ўн карра қисқартирувчи усул ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

паст активликга эга атроф-муҳит намуналарини ўрганишда сцинтилляцион гамма спектрометрлардан фойдаланиш имкониятлари кенг даражада оширилган;

тушувчи радионуклидлар солиштирма активлигини ўлчаш асосида тупроқ эрозияси даражасини миқдорий баҳолашда сцинтилляцион гамма спектрометрларнинг қўлланилиши мумкинлиги асосланган;

қурилиш маҳсулотларининг 300 дан ортиқ намуналари таркибидаги табиий радионуклидлар таҳлили асосида ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари орасидаги мувозанатнинг бузилиш диапазони аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги Менделеев номидаги метрология институти томонидан аттестацияланган стандарт намуналардан фойдаланилганлиги, олинган натижалар Халқаро атом энергияси агентлиги ядро физикаси ва асбобсозлик лабораторияси, Сиберсдорф, Австрия ва АҚШ қишлоқ хўжалиги вазирлиги ҳузуридаги шамол эрозияси ва сувни тежаш тадқиқот маркази, Биг Спринг, Техас, Америка Қўшма Штатлари ташкилотлари билан ҳамкорликда таҳлил қилинганлиги ва олинган натижаларнинг адабиёт маълумотларига ва умумий физик тушунчаларига мос келганлиги билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти паст активлик ва мураккаб радионуклидли таркибга эга объектлар тадқиқотлари жараёнида интерференцияловчи фоточўққилларни аниқлаш имкониятларини оширишга ва радионуклидлар солиштирма активлигини аниқлашдаги статистик хатоликларни $\approx 1\%$ ва ундан кам даражагача камайтиришга олиб келувчи гамма спектрларни қайта ишлашнинг янги ёндашувини ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамиятини радиацион дозаларни баҳолаш, sanoat корхоналари радиоэкологик мониторинги, тупроқ эрозиясини миқдорий баҳолаш, қурилиш материаллари ва озиқ-овқат маҳсулотларининг радиацион ҳавфсизлигини таъминлаш соҳаларида сцинтилляцион гамма спектрометрлардан фойдаланиш кўламини кенгайтириш ташкил этади.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Сцинтилляцион гамма спектрларни таркибий қисмларга ажратиш ва атроф-муҳит объектларининг

радиоактивлигини ўрганиш бўйича олинган натижалар асосида:

паст активлик ва мураккаб радионуклидли таркибга эга объектлар тадқиқотларида мавжуд гамма фоточўққилар интерференцияси муаммосини бартараф этувчи ва Комптон тақсимотининг фоточўққиларга қўшган улушини тўғри ҳисобга олувчи сцинтилляцион гамма спектрларни таркибий қисмларга ажратишга асосланган янги ёндашувдан ЎзР ФА Ядро физикаси институти ва Қибрай тумани СЭОМ ўртасидаги № РЛТ-046-2018, № РЛТ-092-2018, № РЛТ-142-2019, № РЛТ-167-2019 тижорат шартномалари доирасида ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th элементлар таркибини аниқлашда (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2020 йил 21 октябрдаги 2/1255-2237- сон маълумотномаси) ҳамда чет эл олимлари илмий ишларида фойдаланилган (халқаро журналлардаги ҳаволалар: International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(13) (2011) 3105–3110; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 3, 2012, p. 659-675; International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research ISSN 2348-5736 (Online) Vol. 3, Issue 1 (2015) 40-47; Revista Mexicana de Física 58 (2012) 241–248). Илмий натижаларнинг қўлланилиши озиқ-овқат маҳсулотларининг радиацион хавфсизлиги бўйича таҳлилларнинг самарадорлигини ошириш ва табиий радионуклидларнинг солиштирма активлигини ҳисоблаш имконини берган;

Нурота атроф-муҳит объектлари таркибидаги табиий, космоген ва техноген радионуклидларнинг аниқланган миқдорлари бўйича маълумотлардан ЎзР ФА Ядро физикаси институти ва “UZLITI ENGINEERING” қўшма корхонаси ўртасидаги № РЛТ-002-2019 тижорат шартномаси доирасида ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs , ^7Be элементлар таркибини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2020 йил 21 октябрдаги 2/1255-2237- сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши Ўзбекистондаги биринчи атом электр станцияси қурилиши режалаштирилган ҳудуддаги радиоэкологик изланишларнинг дастурини тузиш имконини берган;

тупроқларнинг ўрта ва қисқа муддатли эрозия ва чўкма жараёнлари интенсивлигининг тушувчи радионуклидлар концентрациясига боғлиқлигини ўрганишда олинган маълумотлардан ЎзР ФА Ядро физикаси институти ва “Uzbekistan GTL” қўшма корхонаси ўртасидаги № UzGTL-CON-0065 тижорат шартномаси доирасида ^{137}Cs , ^7Be элементлар таркибини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2020 йил 21 октябрдаги 2/1255-2237- сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши Қашқадарё вилоятида жойлашган “Uzbekistan GTL” қўшма корхонаси объектларининг қурилиши режалаштирилган ҳудудида тушувчи радионуклидларнинг тупроқдаги чуқурлик бўйича тақсимотини аниқлаш имконини берган;

таҳлил вақтини ўн карра қисқартирувчи қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш усулидан республика сертификатлаш органлари ва корхоналарнинг буюртмаларига кўра ЎзР ФА Ядро физикаси институти ва Қибрай тумани СЭОМ ўртасидаги № РЛТ-098-

2018, № РЛТ-119-2019 тижорат шартномалари доирасида ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K элементлар таркибини аниқлашда фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академиясининг 2020 йил 21 октябрдаги 2/1255-2237- сон маълумотномаси). Илмий натижаларнинг қўлланилиши қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлиги бўйича таҳлилларнинг самарадорлигини ошириш ва маҳсулотларни сертификатлашда ишлаб чиқарувчиларнинг харажатларини камайтириш имконини берган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертация ишининг асосий натижалари 4 та халқаро ва республика илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилиниши. Диссертация мавзуси бўйича жами 9 та илмий иш чоп этилган, шулардан, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг диссертацияларнинг асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган илмий журналларда 5 та мақола, шундан 4 таси хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация кириш, учта боб, хулоса ва адабиётлар рўйхатидан иборат. Диссертация ҳажми 121 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва унга бўлган талаб, тадқиқот мақсади ва вазифалари асосланади, 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, олинган натижаларнинг ишончлилиги асосланган, нашр қилинган ишлар, иш апробацияси ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг "**Паст активликка эга атроф-муҳит намуналарини ўлчашнинг гамма-спектрометрик усуллари**" деб номланган биринчи бобида гамма сцинтилляцион ва яримўтказгичли спектрометрлар вауларнинг хусусиятлари тўғрисида қисқача маълумот берилган. Чет эллик муаллифларнинг бир қатор ишларида паст спектрал ажрата олиш қобилиятини компенсациялашга мўлжалланган усуллар билан биргаликда эффективлиги юқори ва нархи арзон NaI(Tl) детекторларидан, намуна таркиби табиий радионуклидлар билан чегараланган ҳоллар учун, кўп сонли намуналар таҳлилларини ўтказишда фойдаланиш афзаллиги кўрсатилган. Таъкидланишича, ҳозирги кунга қадар намуналарнинг радионуклид таркиби номаълум бўлган ҳолатлар учун сцинтилляцион гамма-спектрларни ўлчаш ва таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш ва табиий объектларнинг, масалан сув ёки ўсимликлар, пастактивлигини ўрганиш бўйича тадқиқотлар долзарб бўлиб қолмоқда.

Диссертациянинг "**Паст активликка эга атроф муҳит намуналарини**

Ўрганишда янги ёндашув" номли иккинчи боби муаллиф томонидан ишлаб чиқилган сцинтилляцион гамма спектрларини компонентларга ажратиш усулига бағишланган. Бу усул интерференцияловчи фоточўққиларни ва Комптон тақсимотининг радионуклидлар тўлиқ ютилиш фоточўққиларига кўшган ҳиссасини тўғри ҳисобга олади.

Таъкидланишича, паст активликка эга атроф-муҳит намуналарини ўлчашнинг мавжуд усулларида қуйидаги муаммолар мавжуд:

фон ва намуна спектрал таркибининг ўхшашлиги;
атроф-муҳитдаги кўпчилик объектлар учун хос бўлган радионуклидларнинг паст концентрацияси;

табiiй фон активлигининг намунадаги табiiй радионуклидлар активлигига тенглиги ва кўп ҳолларда эса юқорилиги;

кўпчилик радионуклидларнинг γ -нурланишлари тўлиқ ютилиш фоточўққиларининг интерференцияси.

Ўлчанган спектрларни ^{226}Ra , ^{222}Rn , ^{228}Ac ва уларнинг емирилиш маҳсулотлари, ^{235}U , ^{40}K , ^{137}Cs ҳамда ^7Be билан боғлиқ компонентларга ажратиш орқали сцинтилляцион детекторнинг энергия бўйича паст ажрата олиш қобилияти компенсациялаштирилган.

Тадқиқотларда 10 см қалинликдаги қўрғошин ҳимоясига жойлаштирилган NaI(Tl) сцинтилляцион γ -спектрометрдан фойдаланилган. Детектор $\varnothing 63 \times 63$ мм ўлчамга ва $\Delta E_{\gamma}/661 \text{ кэВ} = 8,5 \%$ энергия бўйича ажрата олиш қобилиятига эга.

Ўлчаш учун сув, тупроқ ва кўмир намуналари 1 литр Маринелли идишларида герметик равишда қадоқланган. Экспериментал спектрларни компонентларга ажратиш ва уларнинг активлигини аниқлаш учун ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K ва ^{137}Cs ОМАСН ҳажмий эталон манбаларидан фойдаланилган. Улар 0,85-0,98 кг/л зичликка ва $A_E = 7350-13790$ Бк активликка эга (хатоликлари $\Delta A_E/A_E \leq 0,06$).

Умуман олганда, намунанинг спектрини, намуна таркибидаги радионуклидлар ва уларнинг емирилиш маҳсулотлари нурланишлари; фоннинг космик, детектор ва унинг атрофидаги объектларнинг нурланишлари компонентларининг йиғиндисини сифатида ифодалаш мумкин.

1. Намуна спектри r (зичлиги ρ_r) қуйидагича кўриб чиқилади:

$$R = F_r + R_{Ra} + R_{Th} + R_K + R_{Cs} + R_{Be} + R_U \quad (1)$$

бу ерда F_r – фон, $R_{...}$ – намунадаги радионуклидлар компонентлари.

2. F_r компоненти сифатида зичлиги ρ_r бўлган I инерт намунанинг I_{ρ} спектри олинади (инерт намунанинг активлигини ҳисобга олмаса ҳам бўлади).

3. R_{Ra} , R_{Th} , R_K ва R_{Cs} компонентлар сифатида зичлиги ρ_r га яқин эталон намуналарнинг E_{Ra} , E_{Th} , E_K и E_{Cs} спектрлари олинади. Ушбу спектрлар ўлчаш вақти ва тўлиқ ютилиш фоточўққилар юзалари N_{γ} бўйича намуна спектрларига нормаллаштирилган (фон компонентлари олиб ташланган 1764 кэВ ^{214}Bi , 2614 кэВ ^{208}Tl , 1461 кэВ ^{40}K ва 661 кэВ ^{137}Cs

фоточўққилар, α_{Ra} , α_{Th} , α_K ва α_{Cs} – нормаллаштириш коэффициентлари):

$$R_{Th} = \alpha_{Th} \times E_{Th}; R_{Ra} = \alpha_{Ra} \times E_{Ra}; R_K = \alpha_K \times E_K; R_{Cs} = \alpha_{Cs} \times E_{Cs} \quad (2)$$

4. Кейинчалик намуна спектридан компонентлар кетма кет айириб ташланади:

$$R_0 = R - F_R, R_1 = R_0 - \alpha_{Th} \times E_{Th}, R_2 = R_1 - \alpha_{Ra} \times E_{Ra}, \\ R_3 = R_2 - \alpha_K \times E_K, R_4 = R_3 - \alpha_{Cs} \times E_{Cs} \quad (3)$$

5. R дан барча компонентларни айириб ташлагандан сўнг, 478 кэВ ${}^7\text{Be}$, 43 ва 185,7 кэВ ${}^{235}\text{U}$ нурланишлари ҳамда μ тақсимоти йиғиндисидан иборат спектр ҳосил бўлади. Бунда μ методик ва статистик хатоликларни характерлайди.

$$R_4 = R_{Be} + R_U + \mu \quad (4)$$

6. Юқоридагиларни инобатга олиб, экспериментал спектрни (1) қуйидаги формула билан ифодалаш мумкин:

$$R = I_p + \alpha_{Ra} \times E_{Ra} + \alpha_{Th} \times E_{Th} + \alpha_K \times E_K + \alpha_{Cs} \times E_{Cs} + R_{Be} + R_U + \mu \quad (5)$$

${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ ва ${}^{137}\text{Cs}$ қуйидаги формула бўйича аниқланади:

$$A_{RN} = A_E \alpha_{RN} / m \quad (6)$$

${}^7\text{Be}$ ва ${}^{235}\text{U}$ эса 478 кэВ ${}^7\text{Be}$ ва 185,7 кэВ ${}^{235}\text{U}$ тўлиқ ютилиш фоточўққилар юзалари N_γ бўйича ҳисобланади:

$$A_{RN} = \frac{N_\gamma}{\varepsilon_\gamma \alpha_\gamma t m} \quad (7)$$

бу ерда ε_γ ва α_γ – қайд қилиш эффе́ктивлиги ва γ -нурланишнинг квант чиқиши, t – ўлчаш вақти, m – намуна массаси.

Методик ва статистик хатоликларни μ тақсимоти ва E_{PH} спектрлардаги γ -нурланишларининг энергетик интервалларидаги импульслар сони орқали қуйидаги муносабат билан баҳолаш мумкин

$$\delta_{RN} \approx \frac{N_{\mu, \Delta E_\gamma}}{N_{RN, \Delta E_\gamma}} \quad (8)$$

Бунда, интерваллар қуйидаги кўринишга эга:

F_r учун $E_\gamma > 0$, R_{Ra} ва R_{Th} учун $E_\gamma > 500$ кэВ, ${}^{40}\text{K}$ учун $E_\gamma = 1300 - 1600$ кэВ ва ${}^{137}\text{Cs}$ учун $E_\gamma = 500 - 750$ кэВ.

Танланган сув, тупроқ ва кўмир намуналари мисолида (ν , P ва C) экспериментал γ -спектрларни таҳлил қилиш усуллари, уларни компонентларга ажратиш тартиби ва R_4 қолдиқ спектрини дока планшетига тушадиган ойлик атмосфера ёғинлари спектри билан таққосланиши кўрсатилган.

Энг баланд ва паст интенсивликли ($I(V_0) = 4,46 \cdot 10^6$ ва $I(V_1) = 5,68 \cdot 10^5$ *имп/б соат*) спектрлар қудукдаги катта миқдорда радонга эга v_0 ва v_1 сув намуналарида кузатилди (бунда v_1 бу 45 кун давомида сақланган v_0 намунаси). F_r фон спектри интенсивлиги ($I(F_r) = 5,277 \cdot 10^5$ *имп/б соат*) сув, тупроқ ва кўмир спектрларидаги барча компонентлар интенсивликларидан юқори қийматга эга (сувдаги ^{222}Rn нинг $V(\text{Rn})$ ва кўмирдаги $C(\text{Ra})$ компонентлардан ташқари) (1-жадвал).

1-жадвал

Намуналар спектрлари ва уларнинг компонентларининг нисбий интенсивликлари $I[R(i)]/I[F_r]$

Намуна	R	R (Rn)	R (Ra)	R (Th)	R (K)	R (^{235}U)	R (Cs)	R (Be)	R (δ)
v_0	8,45	738	0,054	0,013	0,004	$<10^{-4}$	-	-	-
v_1	1,08	-	0,054	0,013	0,004	$<10^{-4}$	-	-	0,003
P(0-0,3 см)	2,07	-	0,250	0,360	0,172	$<0,005$	0,129	0,135	0,004
C	4,10	-	1,667	0,989	$<0,002$	0,401	-	-	0,038

Ушбу маълумотларни кўриб чиқиб $R(i)$ компонентларининг интенсивлигини аниқлашда статистик ва услубий хатоликларни баҳолаш мумкин.

Диссертациянинг «**Табиий объектларни ўрганишда гамма спектрларни компонентларга ажратиш усулини қўллаш**» номли учинчи бобида амалий масалалар мисолида, табиий объектларнинг сцинтилляцион гамма спектрларини ўлчаш ва таҳлил қилишда яратилган усулдан фойдаланиш имкониятлари кўрсатилган:

- усул ёрдамида атроф-муҳит объектларида радионуклидларнинг фон миқдорларини аниқлаш;
- тушувчи радионуклидларнинг ер юзасидаги тақсимотини ўлчаш орқали тупроқнинг кўчиш жараёнларини миқдорий баҳолаш;
- қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш. Олинган экспериментал натижалар қуйидаги амалий аҳамиятга эга:
- иқтисодиётнинг турли соҳаларида қурилиши режалаштирилган саноат корхоналарининг атроф-муҳитга таъсирини баҳолашни ўтказиш. Жаҳон амалиётида бирон бир замонавий йирик саноат корхонаси ушбу баҳоловсиз молиялаштирилмайди;
- қисқа вақт ичида катта майдонлар учун тупроқ эрозияси даражасини аниқлаш усулларини ишлаб чиқиш. Бу вазифа ер ресурсларини бошқаришдаги долзарб муаммоларидан бири бўлиб қолмоқда;
- қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш орқали намуналарнинг таҳлил вақтини ўнлаб кунлардан 3 соатгача қисқартириш ва қурилиш саноати корхоналари учун харажатларни камайтириш.

Нурота ҳудудидаги табиий объектларининг радиоактивлигини ўрганиш.

Нурота худудидаги табиий сувлар, чўкмалар, тупроқлар, тоғ жинслари, ўсимликлар, озиқ-овқат маҳсулотлари ва ойлик атмосфера ёғинлари таркибидаги табиий, космоген ^7Be ва техноген ^{137}Cs радионуклидларнинг миқдорини сцинтилляцион γ -спектрометрик усул ёрдамида ўрганилди (1-расм).



1-расм. Нурота худудида намуна олиш жойлари

Табиий радионуклидларнинг тупроқ, чўкмалар, тоғ жинслари ва қурук ўсимликлар намуналаридаги ^{238}U , ^{232}Th ва ^{40}K ўлчанган солиштирма активликлари, уларнинг нисбатлари ва ер қобиғидаги ушбу радионуклидларнинг кларклари 2-жадвалда келтирилган.

Изоҳ: **тупроқлар** а) қумли ва кулранг (серозем), б) кулранг ва шудгорли, с) жигарранг карбонат, д) шағал; **ёввойи ўсимликлар** э) қамиш ва шувок, ф) исирик ва янтоқ, г) ўт аралашмаси, х) дарахт - тол; **тоғ жинслари** и) туз, к) мрамар, л) гранит, м) палеоген доломит, н) маъданли доломит, о) кўрғошин-рух рудаси, п) оҳактош, қ) қумтош ва сланец.

Озиқ-овқат намуналарида радиоактивлик асосан ^{40}K га, тупроқдаги ^7Be ва ^{137}Cs активликлари эса ёғингарчилик миқдорига боғлиқ.

Ўтказилган тадқиқотлар сцинтилляцион γ -спектроскопия усуллари табиий муҳитнинг радиоактивлигини ўрганишда қўллашнинг мақсадга мувофиқ эканлигини кўрсатди.

Тупроқ жараёнларини тушувчи радионуклидлар ёрдамида тадқиқ этиш.

Ишлаб чиқилган усулнинг имкониятлари экспериментал майдон худудида ^{137}Cs нинг ер юзасидаги тақсимотини тадқиқ этиш ва ушбу тақсимотни тупроқ кўчиши жараёнлари билан боғлиқлигини ўрганиш мисолида кўрсатилди.

Ушбу изланишларда тупроқнинг эрозиясини миқдорий баҳолашда ^{137}Cs нинг солиштирма активлигини катта аниқлик билан ҳисоблаш жуда муҳимдир.

2-жадвал

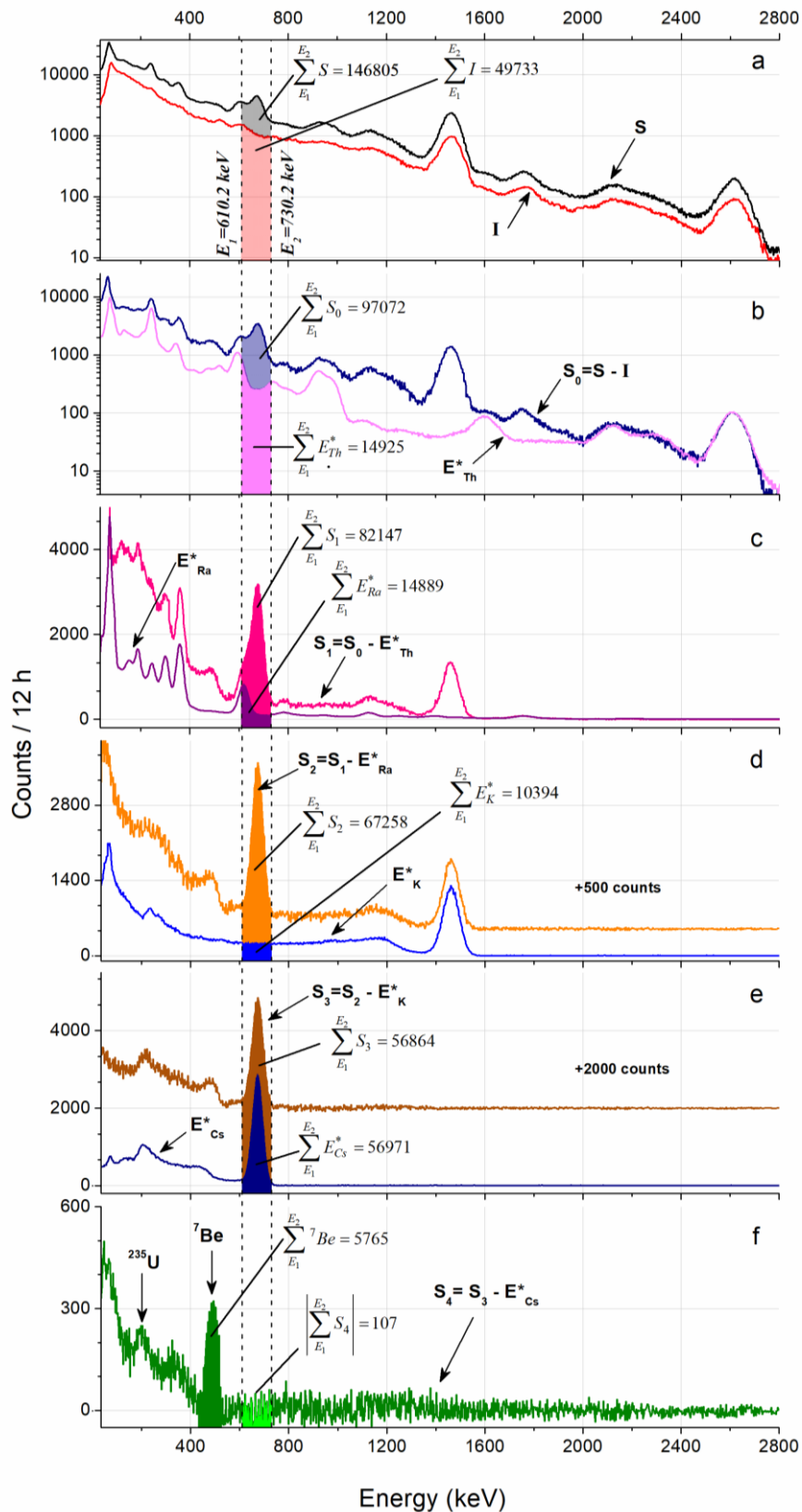
Табиий радионуклидларнинг тупроқ, ўсимлик ва тоғ жинсларидаги
солиштирма активликлари

№ намуна	A _{min} -A _{max} , Бк/кг			A(²²⁸ Ac)/A(²²⁶ Ra)	A(⁴⁰ K)/A(²²⁶ Ra)
	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac	⁴⁰ K		
к (кларклар)	31	52	775	1,68	9,5
1-4, 9, 5-8 а)	16-29	23-41	430-610	1-1,7	18-31
11,12 б)	30-45	33-46	620-690	0,9-1,3	17-27
13,14,17 в)	31-45	51-68	700-870	1,3-1,9	18-28
12,23 д)	?	?	210-270		
1-3;5-9 е)	15-26	9-27	240-320	0,6-1,3	10-15
5-8,9 ф)	27-40	31-44	280-460	0,9-1,1	10-16
14 г)	25-31	36-40	620-750	1,2-1,5	22-27
10,11 ҳ)	9-15	18-22	340-376	1,4-1,9	23-39
9и)	≤4	≤3	<10		
10 к)	9-17	<3	<20	<0.3	<1
12 л)	16-30	50-83	900-1250	2,3-3,5	10-16
15 м)	6-14	<2-4	140-170	≤0.3	12-18
15 н)	590-650	7-13	<20	<0.02	<0.03
15 о)	310-400	220-270	<20	0.6-0.7	<0.06
15 п)	10-15	<5	<10-90	<0.5	<1-6
18 қ)	11-21	38-43	400-430	2,2-3,4	21-36

Қоратепа тоғларидаги қоялар тагидан бошланиб, 5 км шимол томон дренаж ҳавзасининг пастки қисмига қараб 32 та нуқталарда тупроқ намуналари олинди. Бизнинг вазифамиз ¹³⁷Cs нинг ер юзасидаги тақсимоти асосида трансект бўйлаб тупроқни бир неча ўн йиллик давр мобайнида қайта тақсимланишининг тарихини ўрганишдан иборат эди.

Тупроқ намунасининг спектри 2-расмда кўрсатилган. Бу ерда ¹³⁷Cs нинг активлиги спектрнинг компонентларга ажратиш усули билан аниқланган.

Барча нуқталардан олинган намуналарда ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs ва унинг миграцияси максимал чуқурлиги, ҳамда ⁷Be нинг ойлар бўйича активлиги ўлчанган.



2-расм. Тупрокнинг юза қатлами намунаси ($m=1,3$ кг) S ($N_s= 2,63 \times 10^6$ имп) спектрининг компонентларга ажратиш. Солиштирма активликлар: ^{226}Ra – 32 (2,5) Бк/кг, ^{232}Th – 28 (2,5) Бк/кг, ^{40}K – 604 (45) Бк/кг, ^{137}Cs – 53 (4) Бк/кг, ^7Be – 32 (3) Бк/кг, ^{235}U – $\approx 5,3$ Бк/кг

Тоғнинг 12, 14 ва 15 нуқталарида кузатилган ^{137}Cs нинг жуда паст активлиги ва саёз миграцияси шамол ва сув эрозиясидан далолат беради. Адир тупроқлари таркибида ^{137}Cs мавжуд бўлиб, бунда унинг активлиги ва миграция чуқурлиги тахмин қилинган гидрология ва эрозия режимига тўғри келади.

^{137}Cs нинг ер юзасидаги тақсимоти бўйича олинган экспериментал маълумотлар тупроқнинг кўчиш жараёнлари билан аниқ боғлиқлигини кўрсатади. Бу ўз навбатида ушбу тадқиқотларда спектрларни компонентларга кетма кет ажратиш қўлланиши мумкинлигини тасдиқлайди.

Қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш.

Ҳозирги замонда одамлар 80% вақтини бинолар ичида ўтказишади. Шунинг учун, қурилиш материалларида табиий радионуклидлар мавжудлигини инобатга олган ҳолда, уларнинг инсон организмга радиация таъсирини ўрганиш муҳимдир. Қурилиш материаллари хавфсизлигининг кўрсаткичи сифатида солиштирма эффектив активлик (Ra_{eq}) катталиги олиниб, у миллий ва халқаро ҳужжатлар билан тартибга солинади.

Тадқиқотларимизда Ra_{eq} ни ҳисоблаш учун қуйидаги формуладан фойдаланганмиз:

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K \quad (9)$$

бу ерда A_{Ra} , A_{Th} ва A_K - ^{226}Ra , ^{232}Th ва ^{40}K ларнинг солиштирма активликлари (Бк/кг).

Бир хил радиацион дозани 370 Бк/кг ^{226}Ra , 260 Бк/кг ^{232}Th ва 4810 Бк/кг ^{40}K радионуклидлари ҳосил қилади деб тахмин қилинади. Бунда $Ra_{eq} < 370 \text{ Бк/кг}$ га эга материаллар хавфсиз деб ҳисобланади.

Одатда, қурилиш материалларини таҳлил қилиш учун талаб қилинадиган вақт 40 кунгача бўлиши мумкин. Бунинг сабаби, ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасидаги мумкин бўлган мувозанат бузилишини ҳисобга олиш кераклигидир. Намунани тайёрлашнинг стандарт жараёни радиоактив мувозанатни ўрнатиш учун намунани герметизация қилишни ва сақлашни (^{222}Rn нинг 10 ярим емирилиш давригача) тавсия этади.

Қурилиш материалларининг намуналарини герметик ҳолда сақламасдан тезкор таҳлилини амалга ошириш имконияти ўрганиб чиқилди ва кўп сонли таҳлилларни ўтказиш учун оптимал ўлчаш вақти аниқланди. Бундай ҳолда, маълумотларнинг таҳлили ишлаб чиқилган янги сцинтилляцион усулидан фойдаланган ҳолда амалга оширилди.

Қурилиш материалларининг асосий турлари учун ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасидаги радиоактив мувозанатнинг бузилиш диапазонини экспериментал равишда аниқланди.

Радий учун тузатиш коэффициентини (k) қуйидагича аниқланади: $k = \frac{A_t}{A_0}$.

Бу ерда A_0 ва A_t намунани сақлашдан олдин ва кейин бўлган радийнинг солиштирма активлиги. Радий активлигининг фоиз миқдориди ўсиши (p) қуйидаги формула бўйича ҳисобланади $p = (k - 1) \cdot 100$.

Экспериментал маълумотларга кўра, намунани сақлаш пайтида радий активлигининг ошиши сопол ғишт ва шағал намуналари учун минимал (11%) ва кулранг гранит намунаси учун максимал (22%) бўлган. Бу тузатиш коэффициентларининг 1,11 ва 1,22 қийматларига мос келади. Кулранг гранит ҳолатида радий солиштирма активлигининг 22% га ўзгариши Ra_{eq} қийматининг тахминан 6,5% га ўзгаришига олиб келади.

Тузатиш коэффициентини инобатга олган ҳолда, (9) - формулани қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$Ra_{eq} = k \cdot A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K \quad (10)$$

Ўлчанган намуналар учун k нинг қиймати 1,1 дан 1,2 гача бўлган интервалда ётади. Консерватив ёндошувни ҳисобга олган ҳолда, кузатилган максимал энг юқори тузатиш коэффициентига янада 10% ноаниқлик кўшиб, радий ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасида мумкин бўлган мувозанат бузилишини ҳисобга оладиган $k=1,3$ коэффициент қийматига эга бўламиз.

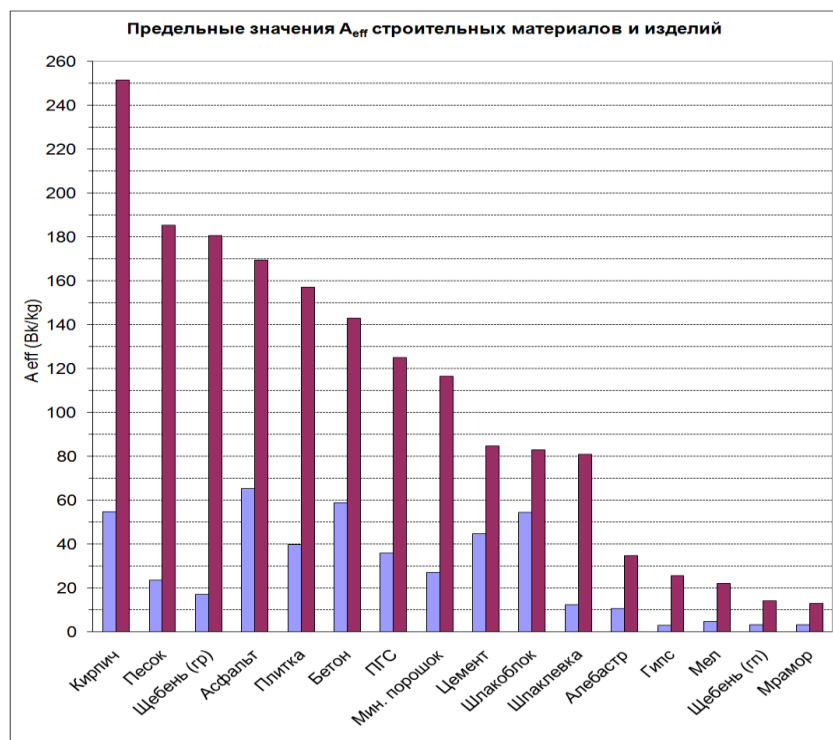
Қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезкор баҳолаш услубини синаб кўриш учун, 2016-2018 йилларда танлаб олинган 16 турдаги 304 та қурилиш материаллар намуналари таҳлил қилинди. Натижалар 3-расмда келтирилган.

Тузатиш коэффициентидан фойдаланиш таҳлил вақтини ўн карра қисқартиради, ва бу, ўз навбатида, қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини тезда баҳолаш имконини беради.

Тадқиқотларга кўра, Ўзбекистонда ишлаб чиқарилган қурилиш материалларининг табиий радиоактивлик даражаси юқори эмас ва кўп ҳолларда Ra_{eq} қийматлари 370 Бк/кг стандартидан анча паст.

Шу сабабли, узоқ муддатли намуналарни сақлаш, кўп соатлик намуна ва фон ўлчашлари, ҳамда спектрларни қайта ишлаш учун махсус усулларидан қуйидаги ҳолларда фойдаланиш мумкин:

- Ra_{eq} + хатолиги 370 Бк/кг га яқин бўлган ҳолатларда;
- Қурилиш материаллари ишлаб чиқаришда саноат чиқиндиларини қўллашда (масалан, фосфогипс, металлургия саноатидаги шлаклар ва хоказо);
- Қурилиш материалларини импорт қилишда.



3-расм. Қурилиш материаллари намуналарининг йиғинди солиштирма эффектив активликларининг максимал ва минимал қийматлари

ХУЛОСА

“Атроф-муҳит объектларининг паст активлигини ўрганиш: гамма спектрометрияда янги ёндашув” мавзусидаги физика-математика фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси доирасида ўтказилган тадқиқотлар асосида қуйидагиларни хулоса қилиш мумкин:

- Табиий муҳит объектларидаги радионуклидларнинг паст активлигини ўрганишда сцинтилляцион гамма спектрларни ^{226}Ra , ^{222}Rn ва ^{228}Ac , ^{235}U , ^{40}K , ^{137}Cs ва ^7Be компонентларга ажратишга асосланган янги ёндашув илк бор таклиф этилди;
- Янги ёндашувнинг радионуклидларни аниқлашда статистик хатоликларни сезиларли даражада камайтиришга имкон бериши (1% гача), интерференцияловчи гамма фоточўққиллар муаммосини бартараф этиши ва Комптон тақсимотининг тўлиқ ютилиш фоточўққилларга қўшган хиссасини тўғри ҳисобга олиши кўрсатилди. Таклиф қилинаётган ёндашув универсал характерга эга бўлиб, яримўтказгичли спектрометрлар, шу жумладан HPGe детекторлар спектрлари таҳлили учун қўлланиши мумкин. Масалан ^{235}U ва ^{226}Ra даги интерференцияловчи фоточўққилларни ажратиш учун;
- Ушбу ёндашувнинг паст активликка эга табиий муҳит намуналарини ўлчаш билан боғлиқ амалий масалаларни ечишда сцинтилляцион гамма спектрометрларидан фойдаланиш имкониятларини сезиларли даражада кенгайтириши намоён этилди;

- Нурота худуди табиий объектларидаги радионуклидларнинг фон миқдорлари ўлчанди ва сцинтилляцион гамма спектрометрларни биз томонидан ишлаб чиқилган ёндашув ёрдамида худудларнинг радиоэкологик мониторингини ўтказишда қўлланиши мумкинлиги ва мақсадга мувофиқлиги кўрсатилди;
- Анъанавий тупроқшунослик усуллари билан олиб борилган тадқиқотларда эришиш қийин бўлган, тупроқларнинг ўрта ва қисқа муддатли эрозия ва чўкма жараёнлари интенсивлигининг тушувчи радионуклидлар концентрациясига боғлиқлиги аниқланди. Бу эса тупроқ эрозиясини миқдорий баҳолашда сцинтилляцион спектрометрлардан фойдаланиш имкониятини беради;
- Ўзбекистоннинг 9 вилоятларидан олинган 16 тур 304 дона қурилиш материаллар намуналари учун ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасидаги радиоактив мувозанатининг бузилиш диапазони аниқланди;
- ^{226}Ra ва унинг емирилиш маҳсулотлари ўртасидаги радиоактив мувозанатнинг мумкин бўлган бузилишини ҳисобга олувчи қурилиш материалларининг радиацион хавфсизлигини баҳолашнинг тезкор усули ишлаб чиқилди. Ушбу усул таҳлил вақтини ўн карра қисқартириб, кўп сонли намуналарни экспресс таҳлилини ўтказишга ва ишлаб чиқарувчиларининг харажатларини сезиларли даражада камайтиришга имкон беради.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ИНСТИТУТЕ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

САМАРКАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

САФАРОВ АКМАЛ АСКАРОВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ НИЗКИХ АКТИВНОСТЕЙ ОБЪЕКТОВ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ: НОВЫЙ ПОДХОД В ГАММА
СПЕКТРОМЕТРИИ**

01.04.08 - Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ускорительная техника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам

Ташкент – 2021

Тема диссертации доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером В2020.2.PhD/FM508.

Докторская диссертация выполнена в Самаркандском государственном университете.

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

Научный руководитель: **Муминов Толиб Мусаевич**
доктор физико-математических наук, профессор,
академик

Официальные оппоненты: **Лутпуллаев Сагдулла Лутфуллаевич**
доктор физико-математических наук, профессор

Бекмирзаев Рахматулла Нурмурадович
доктор физико-математических наук, профессор

Ведущая организация: **Национальный университет Узбекистана
имени Мирзо Улугбека**

Защита диссертации состоится «___» _____ 2021 года в ___ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 при Институте ядерной физики (Адрес: 100174, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-41, факс: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

С докторской диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Института ядерной физики (регистрационный номер _____) (Адрес: 100214, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел. (+99871) 289-31-19).

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2021 г.
(Реестр протокола рассылки № _____ от _____ 2021 г.).

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

О.Р. Тожибоев
Ученый секретарь Научного совета по присуждению
ученых степеней, PhD.ф.-м.н.

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 в мире сцинтилляционные детекторы, в первую очередь на основе кристаллов NaI (Tl), широко применяются в ядерной физике, медицинской диагностике, дозиметрии, радиологии, горнодобывающей промышленности, нефтегазовом секторе, химической отрасли, контроле радиационной безопасности пищевой продукции и строительных материалов, криминалистике, геологии, охране окружающей среды. Несмотря на ряд безусловных преимуществ сцинтилляционных гамма спектрометров существенным их недостатком остается низкое энергетическое разрешение. В последние годы ведущие мировые производители разработали детекторы на основе новых инновационных материалов, как, например, $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ и $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ с более чем в 2 раза лучшим энергетическим разрешением, однако этого по-прежнему недостаточно для идентификации интерферирующих гамма линий в образцах со сложным радионуклидным составом таких, как объекты природной среды. В связи с этим разработка методов, позволяющих компенсировать низкое энергетическое разрешение сцинтилляционных детекторов, является актуальной задачей.

В мире основная часть исследований, посвященных физическому аспекту анализа объектов окружающей среды, наряду с фундаментальными научными изысканиями посвящена проблеме защиты населения от радиационного воздействия. В связи с этим, особое внимание уделяется поиску новых подходов обработки сцинтилляционных гамма-спектров, например, методов их разложения на составляющие с использованием математических алгоритмов или спектров эталонных источников, позволяющих, в частности, проводить оценку дозовых нагрузок на население.

В связи с планируемым строительством атомной электростанции в Узбекистане правительство приняло Концепцию развития атомной энергетики, в которой особое внимание уделяется вопросам радиационной безопасности населения. Повышение эффективности проведения гамма-спектрометрических анализов при мониторинге радиационного состояния окружающей среды имеет важное значение для выполнения поставленной Президентом задачи “обеспечение защиты окружающей среды и защиты людей от радиации при использовании атомной энергии”. Направления этих фундаментальных исследований, имеющих важное значение для развития науки нашей страны и её практического применения, отражены в стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 г.¹

Исследования в этой области соответствуют целям и задачам, предусмотренным в Указах Президента № УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, УП-5484 «О мерах по развитию атомной энергетики в Республике Узбекистан» от

¹Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 “О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан” от 07 февраля 2017 г.

19 июля 2018 года, Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-4165 «Об утверждении концепции развития атомной энергетики в Республике Узбекистан на период 2019 — 2029 годов» от 7 февраля 2019 года, № ПП-4492 «Об утверждении стратегии развития кадрового потенциала для ядерно-энергетической программы Республики Узбекистан» от 16 октября 2019 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данном направлении.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий в республике IV. «Сельское хозяйство, биотехнологии, проблемы водных ресурсов, экология, охрана окружающей среды».

Степень изученности проблемы. К настоящему времени учеными многих стран мира, в том числе израильскими (К. Kovler, Z. Prilutskiy, S. Antropov, N. Antropova, V. Bozhko, Z.B. Alfassi, N. Lavi), греческими (M. Pilakouta, F.K. Pappa, D.L. Patiris, C. Tsabaris, C.A. Kalfas), пакистанскими (Muhammad Iqbal, Muhammad Tufail, Sikander M. Mirza), китайскими (Jian-Feng He, Yao-Zong Yang, Jin-Hui Qu, Qi-Fan Wu, Hai-Ling Xiao & Cong-Cong Yu), бельгийскими (C. Mertens, C. De Lellis, P. Van Put, F. Tondeur), британскими (J.D. Allyson, D.C.W. Sanderson), американскими (Robin P. Gardner, Xianyun Ai, Cody R. Peeples, Jiaxin Wang, Kyoung Lee, Johanna L. Peeples, Adan Calderon) и другими авторами разработаны различные методы обработки экспериментальных гамма спектров.

Доступные в последние годы методы обработки сцинтилляционных гамма спектров позволяют с высокой точностью определять удельные активности естественных радионуклидов в образцах с известным радионуклидным составом. При этом, за счет более высокой эффективности регистрации гамма квантов сцинтилляционных детекторов, для достижения заданной минимально детектируемой активности необходимое время измерения одного образца в разы меньше по сравнению с полупроводниковыми гамма спектрометрами.

Однако, существующие математические подходы ограничены неопределенностью функции отклика конкретного спектрометра. Экспериментальные методы, основанные на измерениях коэффициентов чувствительности радионуклидов в спектральных окнах, ограничены предположением присутствия в образце исключительно радионуклидов ^{232}Th , ^{238}U и их дочерних продуктов распада, а также ^{40}K . При наличии в образце других гамма излучающих радионуклидов оценить ошибки измерений невозможно, так как возникают трудности, связанные с установлением вклада интерферирующих пиков и их комптоновского распределения.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научно-исследовательских проектов Самаркандского государственного университета

по темам: № ОТ-Ф2-025 «Исследование влияния тяжелых металлов и радионуклидов на эко-физиологические процессы биологических систем в техногенно-загрязненных регионах» (2007-2009); № ИТД-7-024 «Гамма – спектрометрия выпадающих радионуклидов (^{137}Cs , ^7Be) и оценка деградации почв в Центральной Азии» (2009-2011); № А-7-13 «Оценка потенциальной радоноопасности мест массовой застройки в сельской местности Узбекистана» (2015-2017), № А-7-6 «Разработка и внедрение методов контроля радиационной безопасности питьевой воды» (2015-2017); № ПЗ-20170927132 «Методика ускоренной оценки радиационной безопасности строительных материалов» (2018-2020).

Целью исследования является поиск решений компенсации низкого энергетического разрешения сцинтилляционной гамма-спектрометрии в исследованиях объектов со сложным радионуклидным составом.

Задачи исследования:

отработка методических подходов разложения сцинтилляционных гамма спектров объектов со сложным радионуклидным составом на компоненты; на основе найденных решений:

измерение фоновых содержаний радионуклидов в различных объектах природной среды;

изучение взаимосвязи между удельной активностью выпадающих радионуклидов и процессами эрозии почв;

определение возможности проведения экспресс анализа радиационной безопасности строительных материалов.

Объектом исследования являются пробы почв, растений, воды, полезных ископаемых, строительных материалов с территории Нурата.

Предметом исследования являются удельные активности естественных, техногенных и космогенных радионуклидов в объектах окружающей среды.

Методы исследования. Используются методы сцинтилляционной и полупроводниковой гамма-спектрометрии, математической статистики, обработка спектрометрических данных, стабилизация параметров спектрометрического тракта, формирование импульсов и амплитудная дискриминация сигналов.

Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

предложен новый подход в исследованиях низко-активных объектов со сложным радионуклидным составом, основанный на разложении сцинтилляционных гамма-спектров на составляющие, позволяющий устранить проблему интерферирующих гамма линий и корректно учесть вклад комптоновского распределения в пики полного поглощения;

впервые определены содержания естественных, космогенного ^7Be и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в объектах природной среды Нуратау;

установлена зависимость интенсивностей средне- и краткосрочных почвенных процессов эрозии от концентраций и пространственного распределения выпадающих радионуклидов ^7Be и ^{137}Cs ;

разработан метод экспресс оценки радиационной безопасности строительных материалов, на порядок сокращающий время проведения анализа за счет учёта возможного нарушения радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

существенно расширены возможности применения сцинтилляционных гамма-спектрометров в исследованиях низко-активных объектов природной среды;

показана возможность количественной оценки степени деградации почв на основе измерений удельной активности выпадающих радионуклидов методом сцинтилляционной гамма-спектрометрии;

установлен диапазон нарушения равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада в результате анализа более чем 300 образцов строительной продукции.

Достоверность результатов исследования обусловлена применением аттестованных ВНИИМ им. Менделеева стандартных образцов сравнения, проведением обработки полученных данных совместно с коллегами из Nuclear Science and Instrumentation laboratory, Seibersdorf, IAEA и Agricultural Research Service Wind Erosion and Water Conservation Research Unit, Big Spring, Texas, United States department of agriculture, сопоставлением полученных результатов с литературными данными и не противоречием их существующим общефизическим понятиям и закономерностям.

Научная и практическая значимость результатов исследования:

Научная значимость результатов исследования заключается в разработке нового универсального подхода к обработке гамма спектров, позволяющего улучшить возможности идентификации интерферирующих фотопиков и снизить статистические погрешности определения удельной активности радионуклидов до уровня $\approx 1\%$ и менее при измерении низко-активных проб со сложным радионуклидным составом.

Практическая значимость результатов исследования заключается в расширении применимости сцинтилляционных гамма-спектрометров в области проведения радиоэкологического мониторинга, в том числе для оценки дозовых нагрузок на население и при проведении оценки воздействия на окружающую среду планируемых к строительству крупных промышленных предприятий, количественной оценки эрозии почв, радиационной безопасности строительных материалов и пищевой продукции.

Внедрение результатов исследования. На основе полученных результатов по разложению сцинтилляционных гамма спектров на составляющие и исследованию низко-активных объектов природной среды:

предложенный новый подход в исследованиях низко-активных объектов со сложным радионуклидным составом, позволяющий устранить проблему интерферирующих гамма линий и корректно учесть вклад комптоновского распределения в пики полного поглощения использован в Институте ядерной физики АН РУз в рамках выполнения коммерческих контрактов № РЛТ-046-

2018, № РЛТ-092-2018, № РЛТ-142-2019, № РЛТ-167-2019 с ЦСЭБ Кибрайского района при измерении удельных активностей ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th (Справка Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-2237 от 21.10.2020 г.) и зарубежными учеными (ссылки в международных журналах International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(13), pp. 3105–3110, 2011; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 3, 2012, p. 659-675; International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research ISSN 2348-5736 (Online) Vol. 3, Issue 1, pp: (40-47), 2015; Revista Mexicana de Física 58 (2012) 241–248). Использование научных результатов позволило повысить эффективность проведения анализов на радиационную безопасность пищевой продукции и определения удельной активности естественных радионуклидов;

данные по содержаниям естественных, космогенного ^7Be и техногенного ^{137}Cs радионуклидов в объектах природной среды Нуратау использованы в Институте ядерной физики АН РУз в рамках выполнения коммерческого контракта № РЛТ-002-2019 с СП “UZLITIENGINEERING” при определении удельных активностей ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs и ^7Be (Справка Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-2237 от 21.10.2020 г.). Использование научных результатов позволило разработать программу радиэкологического мониторинга на территории строительства первой в Узбекистане атомной электростанции;

данные, полученные в исследованиях зависимости интенсивностей средне- и краткосрочных почвенных процессов эрозии и седиментации от концентраций и пространственного распределения выпадающих радионуклидов ^7Be и ^{137}Cs использованы в Институте ядерной физики АН РУз в рамках выполнения коммерческого контракта № UzGTL-CON-0065 с СП “Uzbekistan GTL” при определении ^{137}Cs и ^7Be (Справка Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-2237 от 21.10.2020 г.) Использование научных результатов позволило установить глубинные распределения выпадающих радионуклидов в почвах на территории планируемого строительства объектов СП “Uzbekistan GTL”, расположенного в Кашкадарьинской области;

разработанный метод экспресс оценки радиационной безопасности строительных материалов использован в Институте ядерной физики АН РУз в рамках выполнения коммерческих контрактов № РЛТ-098-2018, № РЛТ-119-2019с ЦСЭБ Кибрайского района при определении ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K (Справка Академии наук Республики Узбекистан № 2/1255-2237 от 21.10.2020 г.). Использование научных результатов позволило повысить эффективность проведения анализов на радиационную безопасность строительных материалов и сократить издержки производителей при сертификации продукции.

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались на 4 международных и республиканских научных конференциях.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, 5 научных статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 4 в зарубежных научных журналах.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 121 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во **введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, отражены цели и задачи, указаны объект, предмет и методы исследования, соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, раскрыта научная новизна и практическая значимость результатов работы, обоснована достоверность полученных результатов, приведены сведения об апробации работы и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Гамма спектрометрические методы измерения низких активностей объектов окружающей среды»** дана краткая информация о гамма сцинтилляционных и полупроводниковых методах измерения активностей радионуклидов, а также их сравнительные характеристики. На конкретных примерах публикаций зарубежных авторов показано, что более высокая эффективность и более низкая стоимость NaI(Tl) детектора, при условии разработки и применения методик, предназначенных для компенсации более низкого спектрального разрешения, делают использование NaI(Tl) детекторов предпочтительным, особенно при проведении массовых анализов образцов, возможный радионуклидный состав которых ограничивается естественными радионуклидами. Отмечается, что по-прежнему актуальными остаются исследования по разработке методов измерений и обработки сцинтилляционных гамма спектров для случаев неизвестного радионуклидного состава образцов и в исследованиях низких активностей природных объектов, например, таких как вода или растения.

Вторая глава **«Новый подход к исследованию низких активностей в образцах окружающей среды»** посвящена разработанному автором методу разложения сцинтилляционных гамма спектров на составляющие компоненты для устранения влияния интерферирующих пиков и корректного учета вклада комптоновского распределения в пики полного поглощения соответствующих радионуклидов.

Отмечается, что в существующих методах измерения низких активностей объектов окружающей среды не решены в комплексе трудности, связанные с:

- подобием спектрального состава фона излучению естественных радионуклидов пробы;
- характерными для значительной части объектов окружающей среды низкими концентрациями радионуклидов;

- сравнимостью, а во многих случаях и превосходством, интенсивности излучения естественного фона над излучением естественных радионуклидов пробы;
- интерференцией большинства пиков полного поглощения γ -излучений РН.

Трудности, вызванные низким разрешением сцинтилляционного детектора, мы попытались преодолеть разложением измеренного спектра на составляющие, связанные с цепочками распада ^{226}Ra , ^{222}Rn и ^{228}Ac и распадом ^{235}U , ^{40}K , ^{137}Cs и ^7Be .

В исследованиях использовался γ -спектрометр на базе сцинтилляционного детектора с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})$, $\varnothing 63 \times 63$ мм ($\Delta E_{\gamma}/661$ кэВ = 6,9 %), помещённым в свинцовую защиту толщиной 10 см. Пробы представляли собой образцы воды, почвы и угля, герметично упакованные в сосуды Маринелли объёмом 1 л. Для разложения экспериментальных спектров на составляющие компоненты и установления их активности использовались объёмные эталонные источники ОМАСН - ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K и ^{137}Cs , упакованные в идентичные с пробами сосуды с наполнителями плотностью 0,85-0,98 кг/л и активностями $A_E = 7350-13790$ Бк, прокалиброванными с точностью $\Delta A_E/A_E \leq 0,06$.

В общем случае спектр пробы можно представить в виде суммы составляющих спектров излучения отдельных радионуклидов и их дочерних продуктов распада в пробе и фонового излучения, обусловленного космическим излучением, радиоактивностью самого детектора и окружающих его объектов (фоновое излучение частично ослаблено в пробе).

1. Спектр пробы r (плотность ρ_r) рассматривается в виде:

$$R = F_r + R_{Ra} + R_{Th} + R_K + R_{Cs} + R_{Be} + R_U \quad (1)$$

где F_r – составляющая фона, $R_{...}$ – составляющие соответствующих радионуклидов.

2. В качестве составляющей F_r принимается спектр I_{ρ} инертной пробы I (активностью которой можно пренебречь) с плотностью близкой к ρ_r .
3. В качестве составляющих R_{Ra} , R_{Th} , R_K и R_{Cs} принимаются спектры E_{Ra} , E_{Th} , E_K и E_{Cs} эталонных источников (с плотностью наполнителей близких к ρ_r) нормированных (на коэффициенты α_{Ra} , α_{Th} , α_K и α_{Cs}) по времени измерения и по интенсивностям N_{γ} пиков полного поглощения слабо-интерферирующих излучений 1764 кэВ ^{214}Bi , 2614 кэВ ^{208}Tl , 1461 кэВ ^{40}K и 661 кэВ ^{137}Cs , из которых вычтены фоновые составляющие к соответствующим пикам полного поглощения в спектрах:

$$R_{Th} = \alpha_{Th} \times E_{Th}; R_{Ra} = \alpha_{Ra} \times E_{Ra}; R_K = \alpha_K \times E_K; R_{Cs} = \alpha_{Cs} \times E_{Cs} \quad (2)$$

4. Далее последовательно вычитаются компоненты:

$$R_0=R-F_R, R_1=R_0- \alpha_{Th} \times E_{Th}, R_2=R_1- \alpha_{Ra} \times E_{Ra},$$

$$R_3=R_2- \alpha_K \times E_K, R_4=R_3 - \alpha_{Cs} \times E_{Cs} \quad (3)$$

5. После вычитания из R всех указанных составляющих, конечный спектр соответствует сумме спектров излучений 478 кэВ ${}^7\text{Be}$, 43 и 185,7 кэВ ${}^{235}\text{U}$ и распределения μ , которое характеризует методические и статические погрешности:

$$R_4=R_{Be}+R_U+\mu \quad (4)$$

6. Выполнение указанных процедур приводит к аппроксимации экспериментального спектра (1) выражением:

$$R=I_p+ \alpha_{Ra} \times E_{Ra}+ \alpha_{Th} \times E_{Th}+ \alpha_K \times E_K+ \alpha_{Cs} \times E_{Cs}+R_{Be}+R_U+\mu \quad (5)$$

${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{232}\text{Th}$, ${}^{40}\text{K}$ и ${}^{137}\text{Cs}$ определяются как:

$$A_{RN} = A_E \alpha_{RN}/m \quad (6)$$

${}^7\text{Be}$ и ${}^{235}\text{U}$ - традиционным методом по интенсивности N_γ пиков полного поглощения 478 кэВ ${}^7\text{Be}$ и 185,7 кэВ ${}^{235}\text{U}$:

$$A_{RN} = \frac{N_\gamma}{\varepsilon_\gamma a_\gamma t m} \quad (7)$$

где ε_γ и a_γ соответственно эффективности регистрации и квантовый выход γ -излучения, t – время измерения, m – масса образца.

Методические и статические погрешности в разложении γ -спектров проб на составляющие R_{Ra} , R_{Th} , R_K и R_{Cs} можно оценить по отношениям

$$\delta_{RN} \approx \frac{N_{\mu, \Delta E_\gamma}}{N_{RN, \Delta E_\gamma}} \quad (8)$$

интенсивности распределения μ и спектров E_{RN} в энергетических интервалах, характерных для γ -излучений рассматриваемых радионуклидов:

$E_\gamma > 0$ – для F_r , $E_\gamma > 500$ кэВ – для R_{Ra} и R_{Th} ,

$E_\gamma = 1300 - 1600$ кэВ – для ${}^{40}\text{K}$ и

$E_\gamma = 500 - 750$ кэВ – для ${}^{137}\text{Cs}$.

На примере выбранных проб воды, почвы и угля (индексы v , P и C) продемонстрированы возможности предложенного метода обработки экспериментальных γ -спектров, процедура их разложения на составляющие и сравнения остаточного спектра R_4 со спектром месячных атмосферных выпадений, экспонированных на марлевый планшет.

Наиболее и наименее интенсивными являются спектры проб воды из самоизливающейся скважины с повышенным содержанием радона v_0 и пробы воды v_1 (проба v_0 выдержанная в течение 45 суток) ($I(V_0) = 4,46 \cdot 10^6$ и $I(V_1) =$

$5,68 \cdot 10^5 \text{имп/6 час}$), соответственно. Фоновый спектр F_r по интенсивности ($I(F_r) = 5,277 \cdot 10^5 \text{имп/6 час}$) превосходит интенсивности всех компонент рассматриваемых спектров воды, почвы и угля за исключением компонентов ^{222}Rn в воде $V(\text{Rn})$ и компонентов ^{226}Ra в угле $C(\text{Ra})$ (таблица 1).

Рассмотрение этих данных позволяет оценить статистические и методические погрешности в установлении интенсивностей компонентов $R(i)$.

Таблица 1

Относительные интенсивности спектров проб и их компонент $I[R(i)]/I[F_r]$

проба	R	$R(\text{Rn})$	$R(\text{Ra})$	$R(\text{Th})$	$R(\text{K})$	$R(^{235}\text{U})$	$R(\text{Cs})$	$R(\text{Be})$	$R(\delta)$
v_0	8,45	738	0,054	0,013	0,004	$<10^{-4}$	-	-	-
v_1	1,08	-	0,054	0,013	0,004	$<10^{-4}$	-	-	0,003
$P(0-0,3 \text{ см})$	2,07	-	0,250	0,360	0,172	$<0,005$	0,129	0,135	0,004
C	4,10	-	1,667	0,989	$<0,002$	0,401	-	-	0,038

В третьей главе диссертации «**Применение метода разложения гамма спектров в исследованиях природных объектов**» на примере конкретных прикладных задач продемонстрированы возможности применения, разработанного нами метода измерений и обработки сцинтилляционных гамма спектров объектов природной среды:

- исследована возможность определения фоновых содержаний радионуклидов в объектах окружающей среды;
- апробировано применение метода в исследованиях почвенных процессов переноса на основе измерений пространственного распределения выпадающих радионуклидов;
- с использованием разработанного нами метода рассмотрена возможность ускоренной оценки радиационной безопасности строительных материалов.

Полученные экспериментальные результаты имеют большую практическую значимость для:

- проведения оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) планируемых к строительству промышленных предприятий различных отраслей экономики. В современной мировой практике финансирование ни одного крупного промышленного предприятия не осуществляется без проведения этой оценки;
- разработки методов количественной оценки степени эрозии почв, позволяющих получить информацию для больших площадей за короткое время. Эта задача по-прежнему остается одной из актуальнейших проблем управления земельными ресурсами;
- экспресс оценки радиационной безопасности строительных материалов, позволяющей сократить время проведения измерений до 3 часов вместо

Таблица 2

Удельные активности естественных радионуклидов в пробах почв, растений и горных пород

№ проба	C _{min} -C _{max} , Бк/л			C(²²⁸ Ac)/C(²²⁶ Ra)	C(⁴⁰ K)/C(²²⁶ Ra)
	²²⁶ Ra	²²⁸ Ac	⁴⁰ K		
к (земная кора - кларки)	31	52	775	1,68	9,5
1-4,9, 5-8 а)	16-29	23-41	430-610	1-1,7	18-31
11,12 б)	30-45	33-46	620-690	0,9-1,3	17-27
13,14,17 в)	31-45	51-68	700-870	1,3-1,9	18-28
12,23 д)	?	?	210-270		
1-3;5-9 е)	15-26	9-27	240-320	0,6-1,3	10-15
5-8,9 ф)	27-40	31-44	280-460	0,9-1,1	10-16
14 г)	25-31	36-40	620-750	1,2-1,5	22-27
10,11 х)	9-15	18-22	340-376	1,4-1,9	23-39
9и)	≤4	≤3	<10		
10 к)	9-17	<3	<20	<0.3	<1
12 л)	16-30	50-83	900-1250	2,3-3,5	10-16
15 м)	6-14	<2-4	140-170	≤0.3	12-18
15 н)	590-650	7-13	<20	<0.02	<0.03
15 о)	310-400	220-270	<20	0.6-0.7	<0.06
15 п)	10-15	<5	<10-90	<0.5	<1-6
18 q)	11-21	38-43	400-430	2,2-3,4	21-36

Примечание: **почвы** а) песчаные и сероземные целинные, б) сероземные и типично залежные, в) коричневые карбонатные, д) щебенистые; **растения дикорастущие**, е) камыш и полынь, ф) гармола и верблюжья колючка, г) травосмесь, х) дерево – ива; **горные породы** и) соль, к) мрамор, л) гранит, м) доломит палеогена, н) доломит рудовмещающий, о) свинцово-цинковая руда, р) известняк, q) песчаник и сланцы.

В натуральных продуктах питания растительного происхождения радиоактивность, в основном, обусловлена ⁴⁰K, а активности ⁷Be и ¹³⁷Cs в почвах коррелируют с количеством осадков. Полученные значения удельных активностей радионуклидов в образцах сравнимы с данными, приводящимися в литературных источниках.

Проведенные исследования позволили продемонстрировать возможности и целесообразность использования методов сцинтилляционной γ-спектроскопии в исследованиях радиоактивности природной среды.

Исследование почвенных процессов методом выпадающих радионуклидов.

Демонстрация возможностей разработанного нами метода проведена на примере исследований пространственного распределения ¹³⁷Cs на территории экспериментальной площадки и изучения возможной связи этого

распределения с процессами переноса почв, в том числе ее эрозии. Очевидно, что точность определения удельной активности ^{137}Cs в почве критична для количественной оценки эрозии.

Пробы почв отобраны в 32 контрольных точках (КТ) вдоль линейной трансекты, начинающейся у основания голой скалы в горах Каратепа и идущей в северном направлении 5 км до дна дренажного бассейна. Наша задача состояла в том, чтобы исследовать декадные (несколько десятков лет) истории перераспределения почв вдоль трансекты на основе пространственных распределений ^{137}Cs .

На рисунке 2 приведен спектр пробы почвы, где активность ^{137}Cs определена методом его разложения на составляющие.

Во всех КТ измерены активности естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , техногенного радионуклида ^{137}Cs и его максимальная глубина миграции, а также активности космогенного ^7Be по месяцам.

Очень низкая активность и неглубокая миграция ^{137}Cs , отмеченная на площадках 12, 14 и 15 горного участка указывают на ветряную и водную эрозию. Почвы предгорной равнины (адыров) также содержат ^{137}Cs , при этом активности и глубина миграции ^{137}Cs в них соответствует предполагаемому режиму гидрологии и эрозии.

Полученные экспериментальные данные о пространственном распределении ^{137}Cs указывают на его однозначную связь с процессами переноса почв, что, в свою очередь, подтверждает возможность применения в этих исследованиях гамма-сцинтилляционных спектрометров с использованием предложенного нами метода обработки спектров путем последовательного их разложения на составляющие.

Ускоренная оценка радиационной безопасности строительных материалов.

Измерение содержания естественных радионуклидов в строительных материалах важно для оценки воздействия радиации на людей, которые проводят до 80% своего времени внутри помещений. Показателем безопасности строительных материалов является удельная эффективная активность (Ra_{eq}), величина, которая регулируется национальными и международными нормативными документами.

В наших исследованиях мы применяли следующую формулу для вычисления значений Ra_{eq} :

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K \quad (9)$$

где A_{Ra} , A_{Th} и A_K — удельные активности в Бк/кг ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K соответственно.

Предполагается, что одну и ту же дозу создают 370 Бк/кг ^{226}Ra , 260 Бк/кг ^{232}Th и 4810 Бк/кг ^{40}K . Материалы, для которых $Ra_{eq} < 370 \text{ Бк/кг}$ считаются безопасными.

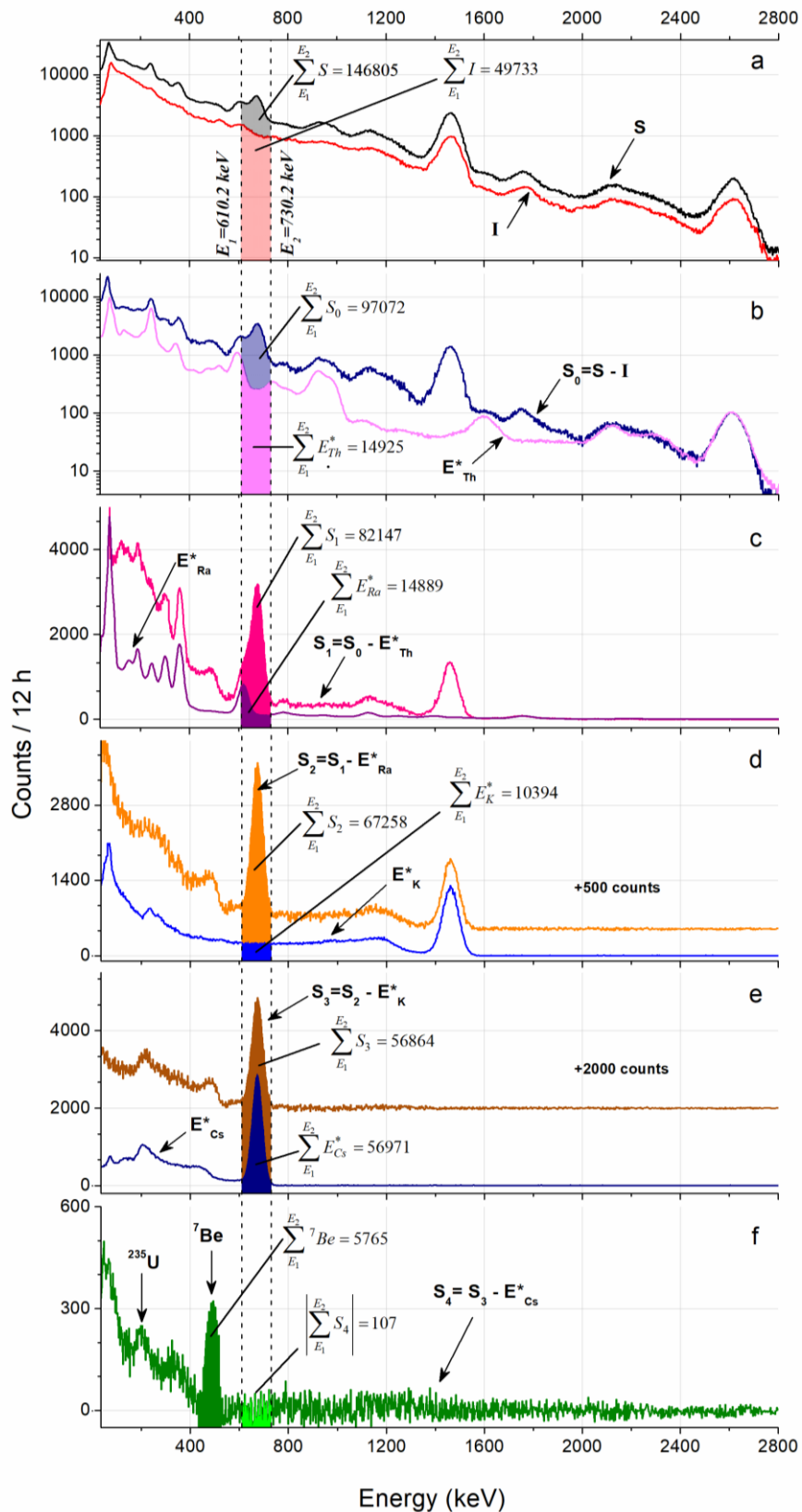


Рис. 2 Разложение спектра S ($N_s = 2,63 \times 10^6$ имп) пробы ($m = 1,3$ кг) поверхностного слоя почвы на составляющие. Удельные активности ^{226}Ra – 32 (2,5) Бк/кг, ^{232}Th – 28 (2,5) Бк/кг, ^{40}K – 604 (45) Бк/кг, ^{137}Cs – 53 (4) Бк/кг, ^7Be – 32 (3) Бк/кг, ^{235}U – < 5,3 Бк/кг

Обычно время, необходимое для проведения анализа строительных материалов может составлять до 40 дней. Это обусловлено тем, что необходимо учитывать возможное нарушение равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада. Стандартная процедура подготовки проб рекомендует герметизацию и выдержку (до 10 периодов полураспада ^{222}Rn) для установления радиоактивного равновесия.

Нами исследована возможность проведения экспресс-анализов образцов строительных материалов без их выдержки и определено оптимальное время измерений для выполнения большого количества анализов. При этом обработка данных производилась с помощью, разработанного нами метода разложения сцинтилляционных гамма спектров.

Экспериментально определен диапазон нарушения радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада для основных видов строительных материалов и поправочный коэффициент для ^{226}Ra , используемый при вычислении Ra_{eq} без выдержки проб.

Поправочный коэффициент для радия (k) определяется как: $k = \frac{A_t}{A_0}$; где

A_0 и A_t удельные активности радия до и после выдержки. Рост активности радия в процентном соотношении (p) вычисляется по формуле $p = (k - 1) \cdot 100$.

Согласно экспериментальным данным, во время выдержки, наблюдаемый рост активности радия был минимален для проб керамического кирпича и щебня (11%) и максимален для пробы серого гранита (22%), что соответствует значениям поправочных коэффициентов 1.11 и 1.22. В случае серого гранита, изменение удельной активности радия на 22% приводит к изменению значения Ra_{eq} примерно на 6.5%.

Учитывая поправочный коэффициент k , можно переписать формулу (9) в следующем виде:

$$Ra_{eq} = k \cdot A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K \quad (10)$$

Для наших проб значение k лежит примерно в диапазоне от 1,1 до 1,2. Принимая консервативный подход, включив дополнительную 10% неопределенность, получаем значение $k=1,3$, учитывающее возможное нарушение равновесия между радием и его дочерними продуктами.

С целью апробирования предлагаемой нами методики экспресс оценки радиационной безопасности строительных материалов были проанализированы 304 пробы 16 основных видов строительных материалов и производимых из них изделий, отобранных в период с 2016 по 2018 годы в 9 регионах Узбекистана. Полученные результаты показаны на рисунке 3.

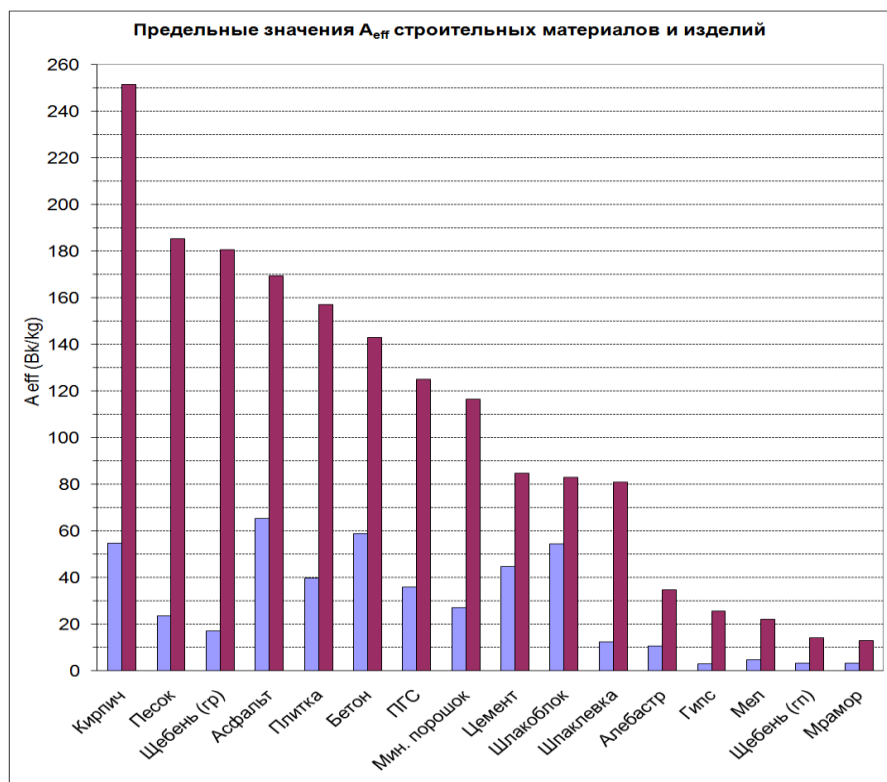


Рис. 3. Максимальные и минимальные значения суммарной удельной эффективной активности проб строительных материалов и изделий

Использование поправочного коэффициента позволяет уменьшить время измерения в несколько раз, что дает возможность проводить быструю оценку радиационной безопасности строительных материалов.

Проведенные исследования показали, что производимые в Узбекистане строительные материалы не имеют повышенных уровней естественной радиоактивности и поэтому в большинстве случаев значения Ra_{eq} гораздо меньше норматива 370 Бк/кг.

Поэтому, точные измерения с многодневными выдержками, многочасовыми измерениями проб и фона и применение специальных методов обработки спектров можно проводить в случаях:

- когда $Ra_{eq} +$ погрешность близки к значению 370 Бк/кг;
- при использовании промышленных отходов в производстве стройматериалов (например, фосфогипс, шлаки металлургических производств и т.д.);
- при импорте строительных материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по физико-математическим наукам на тему «Исследование низких активностей объектов природной среды: новый подход в гамма спектрометрии» можно сделать следующие выводы:

- Предложен новый подход в исследованиях низких активностей радионуклидов в объектах природной среды, основанный на разложении экспериментального спектра на составляющие, связанные с цепочками распада ^{226}Ra , ^{222}Rn и ^{228}Ac и распадом ^{235}U , ^{40}K , ^{137}Cs и ^7Be ;
- Показано, что новый подход позволяет существенно снизить статистические погрешности в установлении содержаний радионуклидов (до 1%), устранить проблему интерферирующих гамма линий и корректно учесть влияние комптоновского вклада в пики полного поглощения. Предложенный подход имеет универсальный характер и может быть применен для полупроводниковых, в том числе HPGe спектрометров, для идентификации интерферирующих гамма линий, например, ^{235}U и ^{226}Ra ;
- Продемонстрировано существенное расширение возможности применения сцинтилляционных гамма спектрометров в решении конкретных прикладных задач при измерении низких активностей объектов природной среды;
- Определены фоновые содержания радионуклидов в природных объектах обширного района Нурата и показана предпочтительность использования сцинтилляционных гамма-спектрометров с применением разработанного нами подхода при проведении радиоэкологического мониторинга территорий;
- Установлена зависимость интенсивностей средне- и краткосрочных почвенных процессов эрозии и седиментации, труднодоступных в исследованиях традиционными методами почвоведения, от концентраций выпадающих радионуклидов на отдельных участках местности, что открывает перспективы применения сцинтилляционных спектрометров в разработке количественных методов оценки степени эрозии почв;
- Определен диапазон нарушения радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада для 304 проб 16 видов строительных материалов, отобранных в 9 регионах Узбекистана;
- Предложена методика экспресс оценки радиационной безопасности строительных материалов, основанная на учете возможного нарушения радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и его дочерними продуктами распада. Метод позволяет на порядок сократить время анализа, осуществлять массовые экспресс-анализы образцов строительных материалов и снизить издержки предприятий строительной индустрии.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 ON AWARD OF
SCIENTIFIC DEGREES AT THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

SAMARKAND STATE UNIVERSITY

SAFAROV AKMAL ASKAROVICH

**THE STUDY OF LOW ACTIVITIES OF ENVIRONMENTAL OBJECTS: A
NEW APPROACH IN GAMMA SPECTROMETRY**

01.04.08- Atomic nucleus and elementary particle physics. Acceleratory facilities

**DISSERTATION ABSTRACT
of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences**

Tashkent– 2021

The dissertation theme of the doctor of philosophy (PhD) on physical and mathematical sciences has been registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.2.PhD/FM508.

The dissertation work has been carried out at Samarkand State University.

An abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian, English (summary)) is available on the website of the Scientific Council (www.inp.uz) and on the Information and Education Portal "ZiyoNet" (www.ziyo.net).

Scientific supervisor:

Muminov Tolib

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor, Academician

Official opponents:

Lutpullaev Sagdulla

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Bekmirzaev Rakhmatulla

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

Leading organization:

**National University of Uzbekistan
named after Mirzo Ulugbek**

The defense of the dissertation will take place on «_____» _____ 2021 at _____ at the meeting of the Scientific Council DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics (Address: 100214 Tashkent, Ulugbek village, Institute of Nuclear Physics; Tel. (+99871) 289-31-18; Fax: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

The dissertation can be looked through in the Information Resource Centre of the Institute of Nuclear Physics (registered under No. _____) Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city. tel. (+99871) 289-31-19.

Abstract of dissertation was sent out on «_____» _____ 2021.
(Mailing report № _____ of «_____» _____ 2021.

M. Y. Tashmetov

Chairman of scientific council on award of scientific
degree of doctor of sciences D.Ph.M.S., professor

O.R. Tojiboev

Scientific secretary of scientific council on award
of scientific degree of doctor of sciences, PhD.Ph.M.S.

I. Nuritdinov

Chairman of scientific seminar under scientific
council on award of scientific degree
of doctor of sciences, D.Ph.M.S., professor

INTRODUCTION (annotation of PhD dissertation)

The aim of the research is to find solutions to compensate for the low energy resolution of scintillation gamma spectrometry in studies of objects with a complex radionuclide composition.

Tasks of the research:

development of methodological approaches for decomposition of scintillation gamma spectra of objects with a complex radionuclide composition into components;

based on found solutions:

measurement of reference levels of radionuclides in various objects of the natural environment;

study of the relationship between the specific activity of fallout radionuclides and soil erosion processes;

determination of the possibility of carrying out a rapid analysis of the radiation safety of building materials.

The objects of the research are samples of soil, plants, water, minerals, building materials collected from Nurata region.

The subjects of the research are the specific activities of natural, technogenic and cosmogenic radionuclides in environmental objects.

The scientific novelty of the dissertation research is as follows:

a new approach to the study of low-activity objects with a complex radionuclide composition is proposed. It is based on the decomposition of scintillation gamma spectra into components, which makes it possible to eliminate the problem of interfering gamma lines and correctly take into account the contribution of the Compton distribution to the total absorption peaks;

for the first time the concentrations of natural, cosmogenic ^7Be and technogenic ^{137}Cs radionuclides in objects of the environment of Nurata were determined;

the dependence of the intensities of medium- and short-term soil erosion processes on the concentrations and spatial distribution of the fallout ^7Be and ^{137}Cs radionuclides was established;

a method for rapid assessment of the radiation safety of building materials has been developed. It reduces the analysis time by an order of magnitude by taking into account the possible violation of the radioactive equilibrium between ^{226}Ra and its daughter decay products.

Implementation of the research results. Based on the results related to the decomposition of scintillation gamma spectra into components and the study of low-activity objects of the natural environment:

the proposed new approach in the study of low-activity objects with a complex radionuclide composition, which allows to eliminate the problem of interfering gamma lines and to correctly take into account the contribution of the Compton distribution to the total absorption peaks, was used at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan within the framework of the implementation of commercial contracts № RLT-046-2018, № RLT-092-2018, № RLT-142-2019, № RLT-167-2019 with Kibray region CSEW when measuring

the specific activities of ^{137}Cs , ^{226}Ra and ^{232}Th (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No.2/1255-2237 dated 21.10.2020) and by foreign scientists (references in international journals International Journal of the Physical Sciences Vol. 6 (13), pp. 3105–3110, 2011; Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, v. 29, núm. 3, 2012, p. 659-675; International Journal of Mathematics and Physical Sciences Research ISSN 2348-5736 (Online) Vol. 3, Issue 1, pp: (40-47), 2015; Revista Mexicana de Física 58 (2012) 241-248). The use of scientific results has made it possible to increase the efficiency of analyses for the radiation safety of food products and the determination of the specific activity of natural radionuclides.

the data on the concentrations of natural, cosmogenic ^7Be and technogenic ^{137}Cs radionuclides in objects of the environment of Nurata was used in the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan within the framework of the implementation of commercial contract № RLT-002-2019 with JV “UZLITIENGINEERING” when measuring the specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs and ^7Be (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No.2/1255-2237 dated 21.10.2020). The use of scientific results allowed to develop a program of radio ecological monitoring on the construction site of the first nuclear power plant in Uzbekistan.

the data obtained in studies of the dependence of the intensities of medium- and short-term soil erosion and sedimentation processes on the concentrations and spatial distribution of the fallout radionuclides was used at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan within the framework of the implementation of commercial contract № UzGTL-CON-0065 with JV “Uzbekistan GTL” when measuring the specific activities of ^{137}Cs and ^7Be (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No.2/1255-2237 from 21.10.2020). The use of scientific results allowed to establish the depth distribution of fallout radionuclides in the soils on the planned construction site of JV “Uzbekistan GTL” located in the Kashkadarya region.

the developed method for rapid assessment of the radiation safety of building materials was used at the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan within the framework of the implementation of commercial contracts № RLT-098-2018, № RLT-119-2019 with Kibray region CSEW when measuring the specific activities of ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K (Reference of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan No.2/1255-2237 dated 21.10.2020). The use of scientific results has made it possible to increase the efficiency of analyses for the radiation safety of building materials and to reduce the costs of manufacturers when certifying products.

The structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of references. The volume of the dissertation is 121 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Muminov I.T., Muhamedov A.K., Osmanov B.S., Safarov A.A., Safarov A.N. Application of NaI(Tl) detector to measurement of natural radionuclides and ¹³⁷Cs in environmental samples – new approach by decomposition of measured spectrum //Journal of environmental radioactivity.– Elsevier, (2005). - V.84(3). - p.321-331. (№3.Scopus; IF=2,161)
2. Inoyatov A.Kh., Muminov I.T., Mukhamedov A.K., Rashidova D.Sh., Osmanov B.S., Safarov A.A., Safarov A.N., Khushmurodov Sh.Kh. Radionuclides in the environment of Nuratau // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – Springer (Netherlands), 2007. - Vol.273, No 2. - pp. 497-506. (№3.Scopus; IF=1,137)
3. Muminov T., Nasirov M., R.Scott Van Pelt, Safarov A., Halikulov A., Xushmurodov Sh. Radionuclides in soils along a mountain-Basin transect in the Koratepa Mountains of Uzbekistan // Journal of Soil and Water Conservation. –Soil and Water Conservation Society (USA), 2010. –N 65(5). – pp. 117A-121A. (№ 1.Web of Science, IF=2,175)
4. Safarov A.A., Safarov A.N., Azimov A.N., Darby I.G. Rapid assessment methodology in NORM measurements from building materials of Uzbekistan // Journal of Environmental radioactivity. - Elsevier, 2017. - Vol. 169-170. – pp. 186-191. (№3.Scopus; IF=2,161)
5. Мухамедов А.К., Сафаров А.А., Журакулов Ш., Муратов Р.Р., Шаронов И.А., Маматкулов О. О радиационной безопасности отечественных строительных материалов // Научный вестник СамГУ. – Самарканд, 2019. - №3(115). - С. 67-71. (01.00.00. № 2)

II бўлим (II часть; partII)

6. Azimov A.N., Begimkulov Kh., Muminov I.T., Muhamedov A.K., Rashidova D.Sh., Safarov A.A., Safarov A.N., Khushmuradov Sh. Radioactivity of the environment of north-west spurs of Zarafshan mountain range // The Sixth International Conference “Modern Problems of Nuclear Physics”: Book of Abstracts, September 19-22, 2006.–Tashkent,– pp.318-319.
7. Nasyrov M., Safarov A.A., R.Scott Van Pelt, Xolikulov A.B., Xushmurodov Sh., Muminov T.M. Soil erosion and sedimentation studies at south-western spurs of Zarafshan range using γ -spectrometric technique // International Conference “Nuclear Science and its application”: Book of Abstracts, September 25-28, 2012, Samarkand. – Tashkent,–pp.322-323
8. Safarov A.A., Safarov A.N., Azimov A.N., Darby I.G. Low-cost NORM concentrations measuring technique for building materials of Uzbekistan //

European Geosciences Union, General Assembly: Geophysical Research Abstracts, 17-22 April, 2016. –Vienna (Austria), 2016. - Vol.18. -EGU2016-17932.

9. Азимов А.Н., Базарбаев Н.Н., Бойназаров М.А., Муминов И.Т., Мухамедов А.К., Муратов Р.Р., Насыров М., Сафаров А.А., Худайбердиев А.Т. Радионуклиды в почвах западных отрогов Гиссарского хребта // Физиканинг долзарб муаммолари: Тез. докл. Респ. научн.-практ. конф. 14 октября 2017. - Ташкент, 2017. - С. 208-209.