

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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

ВАСИДОВ АБДИСАМАТ

**КОНСТРУКЦИЯВИЙ ВА БИОЭКОЛОГИК МАТЕРИАЛЛАРНИ
АКТИВАЦИОН ВА ИЗЛАРНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

01.04.01 – Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент-2021

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси автореферати
мундарижаси**

**Оглавление
автореферата диссертации доктора технических наук (DSc)**

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

Васидов Абдисамат

Конструкциявий ва биоэкологик материалларни активацион
ва изларни таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш..... 3

Васидов Абдисамат

Разработка методик для активационного и трекового анализа
конструкционных и биоэкологических материалов 30

Vasidov Abdisamat

Development of methods for the activation and track analysis of
construction and bioecological materials 57

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works 62

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

ЯДРО ФИЗИКАСИ ИНСТИТУТИ

ВАСИДОВ АБДИСАМАТ

**КОНСТРУКЦИЯВИЙ ВА БИОЭКОЛОГИК МАТЕРИАЛЛАРНИ
АКТИВАЦИОН ВА ИЗЛАРНИ ТАҲЛИЛ ҚИЛИШ УСУЛЛАРИНИ
ИШЛАБ ЧИҚИШ**

01.04.01 – Экспериментал физиканинг асбоблари ва усуллари

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси
АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент-2021

Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида B2020.4.DSc/T386 рақам билан рўйхатга олинган.

Докторлик диссертацияси Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институтида бажарилган.

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

Илмий маслаҳатчи:

Мухаммедов Суюн

техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Солодухин Владимир Петрович

физика-математика фанлари доктори, катта илмий ходим

Қулматов Рашид Анорович

кимё фанлари доктори, профессор

Қурбанов Бахтияр Ибрагимович

техника фанлари доктори, катта илмий ходим

Етакчи ташкилот:

Самарқанд давлат университети

Диссертация ҳимояси 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 қўрғони, 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, Ташкент ш., Улуғбек қўрғони 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, PhD ф.-м.ф

И. Нуритдинов

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

КИРИШ (докторлик (DSc) диссертацияси аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги. Ҳозирги пайтда, ядро физикаси таҳлил усуллари, илмий-техник ва техник-иқтисодий масалаларини ҳал қилишда дунё амалиётининг энг долзарб воситаларидан бири бўлиб қолмоқда. Активацион таҳлил (АТ) усуллари турли хил табиий ва техноген материаллар ҳамда атроф-муҳит объектларидаги элементларни топиш ва уларнинг таркибини аниқлашда ядровий физика методлари имкониятларига асосланади. Элемент миқдорларини аниқлаш чегараларининг пастлиги (10^{-12} – 10^{-13} г), тезкорлиги ва ишончлилиги, намуна яхлитлигини бузмасдан 20 ва ундан ортиқ элементлар таркибини аниқлаш каби афзалликлари активацион таҳлилининг бошқа таҳлил усуллариغا нисбатан кенг фойдаланиш имконини яратди. АТ усуллари атом ядроларининг тузилиши ва хусусиятларига, ядро реакцияларидаги уйғониш функцияларининг, таҳлилий радионуклидларнинг (РН) чиқиш катталикларига ва нурланиш энергияларига асослангандир. Ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ва таҳлилий радионуклидларнинг чиқиш қийматлари зарядланган заррачалар билан активацион таҳлил (ЗЗАТ) олиб боришда: элементларнинг таркибини абсолют метод билан аниқлашда; оптимал нурлантириш энергиясини аниқлашда; элементларни аниқлашнинг сезгирлигини ва қуйи чегарасини баҳолашда; РН нурланиш активлиги қийматини топишда; бошқа АТ усуллари билан таққослашда бу катталиклар муҳим аҳамиятга эгадир.

Бугунги кунда активацион таҳлил усуллари иқтисодиётнинг қуйидаги таҳлилий вазифаларини ҳал қилишда долзарб ўрин эгаллайди. Ўсимлик органларида кимёвий элементларнинг селектив ажралиши ва ҳаракатини ўрганиш учун инструментал нейтрон активацион таҳлилининг (ИНАТ) ишлаб чиқишда, унумсиз ерларни қайта тиклаш ва ҳосилдорликни ошириш учун маҳаллий штамм бактерияларини яратишда, қадимги сутэмизувчи ҳайвонлар ва ибтидоий одамларнинг илк ҳаёти ҳамда ривожланиши ҳақидаги маълумотларни кенгроқ ўрганиш учун мамлакатимиз ҳудудларидан топилган қадимий топилмалар элементлари таркибидаги ўзгаришларни ўрганишда; алюминий ва магний енгил қотишмаларини ишлаб чиқаришни маҳаллийлаштиришда элементлар таркибини ўрганиш учун инструментал протон активацион таҳлил (ИПАТ) усулини ишлаб чиқишда устувор аҳамият касб этади.

Ўзбекистон Республикасида бугунги кунда CR-39 типдаги қаттиқ жисмли ядро детекторлари (ҚЖЯД) ёрдамида радон излари таҳлилининг қўллаш долзарб масала ҳисобланади. Шунга кўра, республикада уран ва фосфорит минералларини қазиб олиш ҳамда уларни қайта ишлашни ривожлантиришда; кўплаб радиоактив тўпламлар ва ташландиқларнинг мавжудлиги туфайли уларнинг атрофидаги аҳоли пунктлари учун асосий радон хавфи туғилишининг олдини олишда; кўплаб хонадонлар ва бинолар радон хавфли ҳудудларда жойлашганлиги ҳамда шу бинолар учун ишлатиладиган қурилиш материаллари радон эманация манбалари бўлиши мумкин. Конструкциявий ва

биоэкологик материалларни активацион ва изларни таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар катта аҳамиятга эга ва Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича 2017–2021 йилларга мўлжалланган стратегиясида¹ акс этган таҳлил қилишнинг ядровий-физикавий усуллари ва уларни қўллаш учун асос бўлиб хизмат қилади.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини 2017-2021 йилларда янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида” фармони ва 2010 йил 15 декабрдаги ПҚ-1443-сон “2011-2015 йилларда Ўзбекистон Республикаси саноатини ривожлантиришнинг устувор йўналишлари тўғрисида” ҳамда 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” қарорларида ва мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда мазкур тадқиқот иши муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялари ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлиги ва муқобил энергия манбалари» ва VII. «Ер ҳақидаги фанлар (геология, геофизика, сейсмология ва минерал хом ашёларини қайта ишлашда)» устувор йўналишига мувофиқ бажарилган.

Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи². Нейтронлар ва зарядланган заррачалар билан инструментал активацион таҳлил усуллари бўйича тадқиқотлар дунёнинг йирик ядро илмий текшириш марказларида, жумладан: Бирлашган ядро тадқиқотлар институти (Россия), Стандартлар ва технологиялар миллий институти, Лос Аламос миллий лабораторияси, Радиокимё ва активацион таҳлил лабораторияси, Миссури университети (АҚШ), «Курчатов институти» илмий текшириш маркази (Россия), Чехия фанлар академияси ядро физикаси институти (Чехия), Ядро физикаси ва кимё институти (Хитой), САНА Ядро физикаси институти (Ҳиндистон), Delft технология университети (Нидерландия), Қозоғистон Республикаси энергетика вазирлиги Ядро физикаси институти (Қозоғистон), ЎЗР ФА Ядро физикаси институти (Ўзбекистон) ва бошқалар томонидан олиб борилмоқда.

Атроф-муҳит объектларидаги радонни аниқлашда қуйидаги илмий марказлар — Бирмингем университети физика ва космик тадқиқотлар мактаби (Буюк Британия), Йожеф Стефан институти (Словения), Томск илмий текшириш политехника университети (Россия), Покистон муҳандислик ва

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

² Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий тадқиқотлар шарҳи <http://cdfe.sinp.msu.ru>, <http://www.iaea.org/books>, <http://www.saha.in>, <http://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm125> ва бошқа манбалар асосида амалга оширилди.

амалий тадқиқотлар институти (Покистон) катта ҳисса қўшиб келмоқда. Табиий ва техноген объектларда радонни аниқлашда каттик жисмли ядро детекторлари (ҚЖЯД) кенг қўлланилмоқда. Бунинг сабаби ҚЖЯДнинг қўлланишда оддийлиги, кенг диапазондаги температураларда ишлаши, юқори даражадаги гамма ва бета нурланишларининг таъсирини қайд қилмаслиги, радоннинг интеграл ёки ўртача миқдорини аниқлаш имкониятига эгаллиги билан ажралиб туради.

Дунёнинг ядро илмий тадқиқот марказларида кўп соҳалар бўйича ядровий ва амалий таҳлилда микроэлементлар таркибини аниқлашда активацион таҳлил усулларини қўллаш жуда фойдалидир. Масалан, активацион таҳлил усуллари экологияда, озиқ овқатлар сифатини назорат қилишда, соғлиқни сақлашда, геологик геофизик қидирув ишларида ҳамда материалшуносликда жуда кенг қўлланилмоқда. Активацион таҳлилда, элементларни аниқлаш сезгирлиги ва аниқланиш чегараси ядро реакциясининг активланиш кесими (уйғониш функциясига) ва таҳлилий радионуклидларнинг чиқиш катталикларига жуда боғлиқдир. Айниқса зарядланган заррачалар билан таҳлил усулида тажриба йўли билан аниқланган ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ва радионуклидларининг чиқиш катталиклари муҳим рол ўйнайди.

Бугунги кунда активацион таҳлил усуллари дунё бўйича кўплаб таҳлилий масалаларни аниқлашда қўлланилмоқда. Усулларни тадқиқ этиш ва ишлаб чиқиш қуйидаги устувор йўналишларда амалга оширилади, шу жумладан: маданий ўсимликларнинг ҳосилдорлигини ошириш ва унумсиз ерларни тиклаш учун ўсимликларнинг органларида элементларнинг ҳаракатини ўрганиш; археологик суяк топилмаларининг ёшини аниқлаш учун суяклардаги элементларнинг вариациясини ўрганиш; мустаҳкам материалларни яратиш учун конструктив материаллардаги элементлар таркибини аниқлаш, ҳамда аҳолининг соғлигини сақлаш учун атроф-муҳит объектларини радон назоратини олиб бориш.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Ҳозирги вақтда тупроқ муҳитининг ўсимликлардаги микроэлементларнинг ҳаракатига ва селективлигига таъсирини ўрганишда активацион таҳлил усули катта қизиқиш уйғотмоқда. Элементларнинг ўсимлик органларидаги ҳаракат жараёнини ва уларнинг “тупроқ – ўсимлик” системасидаги тақсимланишини ўрганишда россиялик (Полынов Б.Б., Виноградов А.П., Протасова Н.А., Зволинский В.П., Батовская Е.К., ва бошқалар), польшалик (Kabata-Pendias A., Pendias H.), шунингдек, ўзбекистонлик (Кист А.А., Хатамов Ш.Х., Бакиев С.А., Қулматов Р.А., Мўминов Т.М., Курбанов Б.И., Данилова Е.А., Осинская Н.С.) олимларнинг катта ҳиссалари бор. Аммо илмий адабиётларда тупроқ минерал ва биологик ўғитлар билан озиқлантирилганда микроэлементларнинг ўсимликлар томонидан ўзлаштирилишини ўрганишга оид маълумотлар жуда кам.

Россиялик олимларнинг маълумотларига кўра (Антипина Е.Е., Зайчик В.Е.), археологик топилмалардан ҳисобланган ҳайвонлар ва одамларнинг

суяклари ер юзида энг кўп тарқалган ва сақланувчан материалдир. Аммо қадимги суяк топилмаларидаги элементлар таркибидаги ўзгаришни ўрганишга бағишланган илмий ишлар деярли йўқ. Шунинг учун суяклардаги таркибий ва бошқа элементларни аниқлаш орқали сутэмизувчи ҳайвонлар суякларининг ёши ва ибтидоий одамларнинг ҳаёт тарзи тўғрисида маълумотларни олиш мумкин.

Енгил (Li, B, C, N) ва бошқа баъзи элементларни (Ti, Fe, Y, Zr ва Pb) аниқлашда нейтрон активацион таҳлил усули қоникарли натижа бермайди, активацион таҳлилнинг бу қисми протон активацион таҳлил усули билан тўлдирилади. Бу соҳани ривожлантиришда америкалик (Schweikert E.A., Tilbury R.B., Balloy N.E.) ва европалик (Vandecasteele C., Chaudhri A., Debrun J.L., Qaim S.M.), япониялик (Nozaki T., Tanaka S., Furukawa M., Komura K.) ва россиялик (Краснов Н.Н., Дмитриев П.П., Калинин С.П., Казачевский И.О.) олимлар катта ҳисса қўшдилар. Айниқса, ўзбекистон олимларининг (Муминов В.А., Мухаммедов С.М., Хайдаров Р.А., Навалихин Л.В.) ишлари алоҳида диққатга сазовордир, улар томонидан зарядли заррачалар билан таҳлил бўйича қўлланмалар ва монографиялар нашр этилган. Аммо радиотаҳлил катталиклари бўйича маълумотларнинг йўқлиги сабабли конструкцион материалларни кўп элементли таҳлил қилишда протонлар билан таҳлил имкониятлари тўлиқ ўрганилмаган.

Ҳозирги кунда дунёнинг кўпгина лабораторияларида радоннинг ҳажмий активлиги ва эксхалация тезлигини аниқлаш учун CR-39 типидagi из детекторлари қўлланилади. Чунки у бошқа турдаги детекторларга нисбатан ижобий фазилатларга эга. Швециялик (Akerblom G., Anderson P., Mustonen R.), словениялик (Ilic R., Durrani S.A., Vaupotic J.), америкалик (Fleisher R.L., Hart H.R., Morgo-Campero A.), ҳиндистонлик (Singh S., Malhotra R., Kumar J.), россиялик (Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Николаев В.А.), покистонлик (Said Rahman, Al-Jarallah M.I., Abu-Jarad F., Fazal-ur-Rahman) олимларнинг CR-39 детекторлар билан олиб борган тадқиқотлари натижасида оддий уйларда радон миқдорининг кўпайиши кузатилган. Бу хонадон эгаларининг саломатлиги учун хавфлидир. Ушбу натижалар радоннинг инсонга таъсирини чеклашга қаратилган кенг қўламли тадбирларни ва интенсив изланишларни тақозо этмоқда. Аммо Ўзбекистонда бундай тадқиқотлар радон ўлчовлари изли таҳлил усуллари билан амалга оширилмаган. Шунинг учун радоннинг аҳоли уйлари ва корхоналарда уран тўпламларига яқин жойлашган аҳоли пунктларида тарқалиши ҳар томонлама ўрганилмаган. Қурилиш материаллари, деворлар ва тупроқ юзасидан тарқалаётган радон чиқиш тезлиги аниқланмаган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган илмий-тадқиқот муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси Ядро физикаси институти илмий-тадқиқотлар режасининг №01.200009706 “Маҳаллий табиий муҳит объектларини ўрганиш учун ядровий-физик таҳлил усулларини ишлаб чиқиш” (2000-2002);

№01.200009709 “Ядровий қаттиқ жисм детекторлари ёрдамида радонни ўлчаш усулини ишлаб чиқиш” (2000-2002); П-4.11 “Геологик ва археологик намуналар ёшини аниқлашнинг ядровий-физик таҳлил усуллари ишлаб чиқиш” (2003-2005); П-13.91 “Қаттиқ жисмли из детекторлари ёрдамида хонадонлар ва саноат комплексидаги радон қийматини ўлчаш усулини яратиш” (2003-2005); А-7.188 “Тошкент вилоятининг радиоэкологик паспортини яратишда ядровий-физика таҳлил усуллари методик асослари” (2006-2008); ФА-Атех-2018 “Сув тозалашда импорт ўрнини босувчи системани, табиий ва техноген сув манбаларидаги радон–222 миқдорини ва Ўзбекистон Республикасида сувнинг сифатини аниқлашнинг радиацион мониторинг системасини ва методларини яратиш” (2018-2020) ҳамда 981742-рақамли НАТО халқаро «Legacy of uranium extraction and environmental security in the Central Asian Republics of Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan» (2005-2007) мавзусидаги илмий лойиҳалар доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади ўсимлик органлари, қадимий суяк топилмалари, конструкциявий материаллар ва атроф-муҳит объектларида кимёвий ва радиоактив элементлар концентрациясини аниқлашда самарадорлиги юқори бўлган активацион ва изларни таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

инструментал протон активацион таҳлил учун зарур бўлган ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ва радионуклидларнинг чиқиш катталикларини аниқлаш;

элементлар таркибини аниқлашнинг жуда сезгир инструментал нейтрон ва протон активацион таҳлил усуллари учун қуйидаги ишланмаларни яратиш:

тупроқ таркибига минерал ва биоўғитлар билан фосформобил бактериялар штаммлари берилганда пахта ва қанд лавлаги органлари ўсиш ва ҳосилга кириш жараёнларида микро элементлар ҳаракатини аниқлаш;

мамлакатимиз антропология фани учун зарур бўлган қадимий ҳайвонлар ва ибтидоий одамларнинг суяк намуналаридаги элементлар таркибини ўрганиш ва уларнинг ўзгаришини аниқлаш;

махаллий чиқинди материаллардан алюминий ва магний асосидаги конструкцияларни олиш учун уларнинг таркибини аниқлаш усулини яратиш;

хонадонлар, ишхоналардаги ва уран тўпламлари ва унга яқин аҳоли жойларида радоннинг ҳажмий активлигини (РХА), Тошкент вилоятидаги қурилиш материаллари, тоғ жинслари ва тупроқлардаги радон эксхалация тезлигини (РЭТ) CR-39 из детекторлари билан аниқлаш методларини ишлаб чиқиш.

Тадқиқотнинг объектини тупроқ намуналари, маданий ўсимликлар, суяк топилмалари, алюминий ва магний қотишмалари, радиоактив ва инерт радон-222 гази намуналари ташкил этади.

Тадқиқотнинг предметини зарядланган зарралар ҳосил қиладиган ядро реакцияларнинг уйғониш функциялари ва радионуклидларнинг чиқиш катталиклари, ўсимликлар органларида кимёвий элементларнинг таркиби ва

миқдори ҳамда тақсимланиши, тарихгача бўлган ва қадимги суяклар, алюминий ҳамда магний асосидаги конструктив материаллар, радоннинг ҳажмий активлиги ва радоннинг эксхалация тезлиги ташкил этади.

Тадқиқотнинг усуллари. Таҳлилий ядро физикасининг тажриба усуллари, ядро реакторида иссиқ нейтронлар ва циклотронда зарядланган заррачалар билан нурлантирилган намуналарни гамма–спектрометрия ўлчаш усуллари, радоннинг альфа-зарраларини қайд қилишда CR-39 из детекторлари ва альфа изларни санашда оптик қурилмалардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгиллиги қуйидаги натижалардан иборат:

протон таъсирида ҳосил бўладиган 14 та $^{66,67}\text{Zn}$, ^{86}Sr , $^{117,120,122}\text{Sn}$, $^{121,123}\text{Sb}$, ^{103}Rh , ^{133}Cs , $^{134,136}\text{Ba}$ ва $^{204,206}\text{Pb}$ ядро реакциялари учун уйғониш функциялари аниқланган ҳамда протон ва дейтронлар таъсирида ҳосил бўладиган 76 радионуклидларнинг чиқиш катталиклари ҳисобланган;

$^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$ реакциясининг уйғониш функцияси ва чиқиш катталиги, унинг ҳосил бўлиш бўсағасидан то 16 МэВгача аниқланган ва родийни таҳлил қилишда ^{103}Pd нинг 350 кэВ энергияли (0.03%) γ -кванти ўрнига, унинг 21 кэВ энергияли (70%) X-нурлари қайд қилинганда родийни аниқлаш имкони 250 мартага ошиши исботланган;

инструментал нейтрон активацион таҳлил усули ишлаб чиқилган ва ерни биологик фосфат бактерия штамми билан ўғитлантирилганда пахта ва қанд лавлаги ўсимликлари органларидаги ўсиш ва мевалаш жараёнида 20 дан кўп элементларнинг қийматлари ва Cr, Zn, Cu, Sr ва Ba каби оғир микроэлементларнинг биологик ютилиш коэффициентлари аниқланган;

алюминий ва магний қотишмаларини протонлар билан таҳлил қилиш усули яратилган ва Li, B, C, N, O, Ni, Y, Zr, Nb, Pb элементларини аниқлашда унинг бошқа активацион усулларга нисбатан афзаллиги кўрсатилган;

экспозиция вақтини 3-6 барабар ва таҳлил хатоликларни қисқартиришга имкон берадиган CR-39 детектори билан сувдаги радон концентрациясини аниқлашнинг янги усули яратилган;

дала шароитида тупроқ юзасининг радон эксхалация тезлигини аниқлашда уч камерали радон регистратори яратилган, радон эксхалациясининг фаслларга боғлиқлиги ва унинг эксхалация тезлиги лаборатория шароитида ўлчанган тупроққа нисбатан юздан кўп марта катта эканлиги исботланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидаги натижалардан иборат:

инструментал нейтрон-активацион таҳлил усули билан тарихий суяк топилмаларида катта миқдордаги 3000 мг/кг ядровий бўлиниш элементларининг ҳосил бўлиши кўрсатилган;

тарихий ва қадимий суяк топилмаларнинг ёши ундаги уран-238 концентрациясига боғлиқлик корреляцияси мавжудлиги инструментал нейтрон-активацион таҳлил усули билан аниқланган;

Ўзбекистон аҳолисининг кўпчилиги радон ва унинг ҳосилаларидан оладиган йиллик эффектив дозаси 1 мЗв дан юқори эканлиги кўрсатилган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги намуналарнинг активлигини ўлчашда замонавий усуллар, ўлчаш воситалари ва кимёвий таркиби ҳамда физик хусусиятлари бўйича намуналарга яқин бўлган халқаро стандарт эталонлардан фойдаланилганлиги ва олинган ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ва радионуклидларнинг чиқиш каттакларининг қийматлари, ҳамда радоннинг ҳажмий активлиги ва эксхалация тезликларини ўлчаш қийматлари маҳаллий ҳамда хорижий муаллифларнинг мос натижаларини таққослаш йўли билан асосланади.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, ўрта энергияли зарядланган заррачалар ёрдамида олинган ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ва радионуклидларнинг чиқиш катталиклари дунё амалий ядро физикаси маълумотлар хазинасини тўлдиришда, ҳамда конструкцион ва биоэкологик материалларни инструментал протон ва нейтрон активацион таҳлил усулларининг яратилишига катта ҳисса қўшган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, ишлаб чиқилган таҳлил усуллари ёрдамида пахта ва шакар лавлаги ўсимликлари органларидаги кимёвий элементларнинг ҳаракатларини аниқлаш натижасида, маҳаллий р. *Bacillus* нинг янги штамм бактерияси олинган; дала шароитида тупроқ юзасининг радон эксхалация тезлигини аниқлаш учун уч камерали радон регистратори яратилган ва улар амалиётга татбиқ қилинган.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Конструкциявий ва биоэкологик материалларни активацион ва изларни таҳлил қилиш усулларини ишлаб чиқиш бўйича олинган натижалар асосида:

протон таъсирида ҳосил бўладиган 14 ядро реакцияларининг уйғониш функциялари ҳамда протон ва дейтронлар таъсирида ҳосил бўладиган 76 радионуклидларнинг чиқиш катталиклари Ўзбекистон Республикаси ва хорижий мамлакатлар зарурияти учун мақсадли радиоизотопларни олишда фойдаланилган (МЧЖ “Тезлатгич” 2021 йил 28 январдаги 0122/1 - сон маълумотномаси). Натижада, радиоактив изотопларни олиш эффективлиги ва зарядланган заррачалар билан активацион таҳлил ўтказиш экспресслиги сезиларли даражага ошиш имконини берган;

$^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$ реакциясининг уйғониш функцияси ва чиқиш катталигидан ва ^{103}Pd нинг γ -кванти ўрнига, унинг X-нурлари қайд қилинганда родийни аниқлаш имкони 250 мартага ошиши натижаси ООО «Тезлатгич» корхонаси томонидан палладий-103 радиоизотопини ажратиб олиш технологиясини ишлаб чиқишда фойдаланилган (МЧЖ “Тезлатгич” 2021 йил 28 январдаги 0122/1 - сон маълумотномаси). Натижада, Pd-103 ташувчисизни олиш технологияси усулини ишлаб чиқиш имконини берган, ихтиро патенти олинган;

инструментал нейтрон активацион таҳлил усули ва ерни биологик фосфат бактерия штамми билан ўғитлантирилганда пахта ва қанд лавлаги ўсимликлари органларидаги ўсиш ва мевалаш жараёнида микроэлементларининг қийматлари Микробиология институтининг П-11.1.31

«Самарали тупроқ унумдорлигини тиклаш ва қишлоқ хўжалиги экинлари ҳосилдорлигини ошириш» (2003-2005) амалий ва UB ARS 17 «Хом пахтадан экологик тоза ҳосил олиш учун пахтани етиштиришнинг биологик ва агротехник усуллари ишлаб чиқиш» (2003-2005) халқаро лойиҳалар доирасида фойдаланилган (Ўзбекистон Республикаси Фанлар академияси 26.11.2020 йилдаги 4/1255-2646-рақамли маълумотномаси). Натижада, фосфат бирикмаларининг эрувчанлиги 30-35%, пахта ҳосилдорлиги 7-10 ц/га, қанд лавлаги унуми эса 45 т/га гача ошишига имкон берган;

алюминий ва магний қотишмаларини протонлар билан таҳлил қилиш усули У-150 циклотронда ҳар хил материаллар таркибини таҳлил қилишда фойдаланилган (МЧЖ “Тезлатгич” 2021 йил 28 январдаги 0122/1 - сон маълумотномаси). Натижада, қўлланилган яратма турли қотишмалардаги элементлар таркибини аниқлашга имкон берган;

CR-39 детектори билан сувдаги радон концентрациясини аниқлашнинг янги усулига Ўзбекистон Республикаси Интеллектуал мулк агентлигининг патенти олинган (№ IAP 20180196, 30.09.2020) ва ЎзР ССВ Тошкент врачлар малакасини ошириш институтида фойдаланилган (Соғлиқни сақлаш вазирлигининг 04.09.2020 йилдаги 78/1597-сон маълумотномаси). Натижада, санитария меъёрлари, қоидалари ва гигиена стандартлари бўйича маълумотларни янгилашга имкон берган;

дала шароитида тупроқ юзасининг радон эксхалация тезлигини аниқлашда жуда оддий уч камерали радон регистратори, радон эксхалациясининг фаслларга боғлиқлиги ва унинг эксхалация тезлиги лаборатория шароитида ўлчанган тупроққа нисбатан юздан кўп марта катта эканлиги Тошкент врачлар малакасини ошириш институтида фойдаланилган (Соғлиқни сақлаш вазирлигининг 04.09.2020 йилдаги 78/1597-сон маълумотномаси). Натижада, курилаётган ва фойдаланувдаги уйлар учун янги радон чегара қийматлари мос равишда 100 Бк/м³ ва 200 Бк/м³ катталикларга тенг деб қабул қилинган.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертацияда келтирилган асосий тадқиқот натижалари 24 та халқаро ва республика илмий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами 40 та, жумладан, 3 та монография, 1 та патент, Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг асосий илмий натижаларини чоп этиш тавсия этилган нашрларда 9 та илмий мақола, шулардан 6 таси хорижий журналларда чоп этилган.

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация таркиби кириш қисми, бешта боб, хулоса, чоп этилган илмий ишлар рўйхати, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертация ҳажми 190 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида олиб борилган тадқиқотнинг долзарблиги ва зарурати асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий қилиш, нашр этилган ишлар ва диссертация тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг **“Ядровий-аналитик муаммоларни ҳал қилишда асосий ядро қурилмаларидан фойдаланиш ҳолати”** номли биринчи бобида кимёвий элементларнинг таркибини ва атроф-муҳит объектларида радон миқдорини аниқлашда активацион ва изли таҳлиллари билан боғлиқ муаммоларни ҳал қилишда асосий ядро қурилмалари ва ускуналарида фойдаланишнинг ҳозирги ҳолати ўрганиб чиқилган. Замонавий вазиятлар билан танишиш натижасида зарур хулосалар ва ечиш керак бўлган муаммолар асосланиб берилган.

Диссертациянинг **“Эксперимент техникаси, тадқиқот объектлари ва усуллари”** деб номланган иккинчи бобида ЎзР ФА ЯФИдаги У-150 циклотрони ва ВВР-СМ ядро реакторида тадқиқотлар ўтказиш методикаси ва уйлар ҳавосидаги РХА, қурилиш ва табиий материаллари юзасидан чиқаётган РЭТ аниқлаш учун CR-39 детекторларини қўллаш тавсифи берилган.

Циклотрон қурилмасида тадқиқотлар ўтказиш. Намуналарни нурлантириш учун икки хил нурланиш камераси ишлатилган. Яшаш даври қисқа (10-1000 с) бўлган РНларни таҳлил қилишда уларнинг уйғониш функцияларини ва чиқиш катталикларини ўлчашда пневмопочта билан жиҳозланган махсус нурлантириш камераси ишлатилди.

Яшаш даври >20 мин катта бўлган радионуклидларни ҳосил қилиш учун намуналарни нурлантириш, совутиш мосламаси бўлган вакуум камерасида амалга оширилди.

Ядро реакцияларнинг уйғониш функциялари намуналарни нурлантириш усули билан ўлчанди. Нишон элементи сифатида тоза кимёвий элементнинг кукун бирикмалари қалинлиги 2.6 ёки 7.8 мг/см² бўлган алюминий фолга юзасига дихлорэтанда эрувчи полистирол суспензияси ёрдамида бир текисда ёпиштирилган. Баъзи реакцияларнинг уйғониш функциясини ўлчашда ўша элементнинг фольгасидан фойдаланилди. Радионуклиднинг ярим яшаш даврига қараб, намуналарни яқка ҳолда ёки тўплам қилиб нурлантирилди. Ҳосил бўлган радионуклидларнинг гамма нурлари, ⁶⁰Со 1332 кэВ линиясига ажратиш қобилияти мос ҳолда 4.5 кэВ ва 1.8 кэВ бўлган Ge(Li) ва HPGe детекторларида ўлчанди.

Ядро реакторида тажриба ўтказиш техникаси. ВВР-СМ ядро реакторида намуналарни тайёрлаш ва нурлантириш қуйидаги тарзда амалга оширилди. Пахта ва қанд лавлаги турли органлари намуналарини таҳлилга

тайёрлаш учун ҳавоси тоза бўлган муҳитда табиий равишда қуритилди. Қуритишдан олдин ўсимлик органлари дистилланган сув билан ювилди ва филтр қоғози билан артилди. Бу йўл билан таёрлаганда намуналар таркибидаги элементлар сезиларли йўқотилмайди.

Эталон сифатида АҚШдаги Стандартлар ва технологиялар миллий институти таёрлаган цитрус (SRM-1572) ва қарағай (SRM-1575) барглари стандартлар коллекциясидан фойдаланилди. Намуналар ЎзР ФА ЯФИнинг ВВР-СМ ядро реакторида илиқ нейтронлар оқимида $(3-5) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ нурлантирилди.

Радонни ўлчаш техникаси. Ҳозирги вақтда радоннинг табиий радиоактивлигини ўлчаш учун турли асбоблар ва усуллар мавжуд бўлиб, улар нурланишларни қайд қилишига қараб актив ва пассив усулга бўлинади.

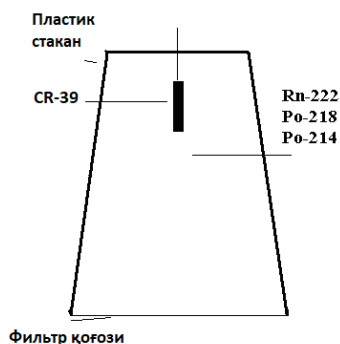
Радон ва унинг ҳосилалари муҳитига таъсир йўли билан ва уларнинг нурларини электрон асбоблар ёрдамида ўлчашлар актив усулга киради.

Пассив усулда радон детекторлари узоқ вақт давомида радон муҳитига таъсир қилмасдан интеграл қийматини қайд қилиб боради. Ваҳоланки, узоқ вақт давомида ўлчашлар ўртача радон қийматини аниқлаш имконини беради, бу қиймат орқали, одамларнинг радон туфайли оладиган йиллик эффектив дозасини ҳисоблаш мумкин. Шунинг учун радон ва унинг ҳосилаларининг альфа-нурланишларини қайд қилиш учун CR-39 турдаги из детекторини қўлладик.

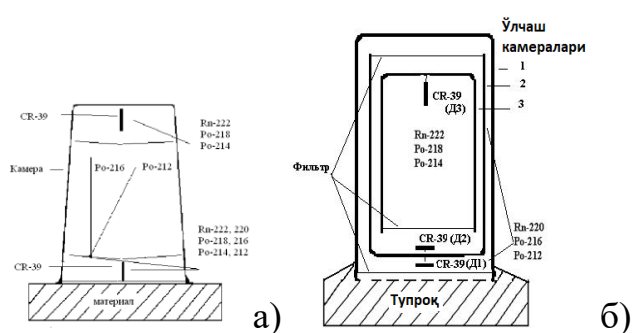
Радон ўлчов камераларини лойиҳалашда, биз ўз имкониятимизга қарадик. Бунинг учун ҳажмлари 140 см^3 ($\varnothing=6.0 \text{ см}$ ва $h=7 \text{ см}$) ва 280 см^3 ($\varnothing=5.3 \text{ см}$ и $h=13 \text{ см}$) бўлган тайёр пластик стаканлардан фойдаландик. Камераларнинг юқори қисмига CR-39 детектори ўрнатилган бўлиб, биринчиси (1-расм), хоналардаги РХА ўлчаш учун иккинчиси (2а-расм), турли материаллар юзасидан чиқаётган РЭТ лаборатория шароитида аниқлаш учун мўлжалланган.

Камераларнинг кириш қисми ҳаво аэрозолларини ва радон ҳосилаларини тутиб қолиш учун филтр қоғози билан ёпилган. РХА ва РЭТ ўлчашларида детекторларнинг экспозиция вақти 30-45 кунларни ташкил қилди.

Дала шароитида тупроқлар юзасидан чиқаётган РЭТ аниқлаш учун уч камерали радон-222 регистратори яратилди, унинг схематик кўриниши 2б - расмда берилган. Радон регистратори камералари цилиндрсимон шаклда ($\varnothing=9; 8$ и 7 см ; и $h=20; 15$ и 10 см) бўлиб, ҳар бирининг ичига CR-39 ($D1 \div D3$) детекторлари қўйилиб камераларнинг кириши қоғоз филтрлар билан ёпилган. Бир-бирининг ичига жойлаштирилган камераларнинг кириш юзалари қарама-қарши йўналишда бўлиб, ^{220}Rn учун сунъий масофа йўли қўшилган.



1-расм. Хонадаги РХА ўлчаш камерасининг схематик кўриниши



2-расм. Лаборатория а) ва дала б) шароитларида РЭТ қийматларини ўлчаш камераларининг схематик кўриниши

Камераларнинг ишлаш принципи қуйидагича: биринчи камера детектори Д1 бир вақтнинг ўзида иккала ^{222}Rn ва ^{220}Rn альфа зарраларини қайд қилади; 2-камеранинг пастки қисмида ўрнатилган Д2, фақат ^{222}Rn ва унинг ҳосилаларинининг альфаларини қайд қилади, чунки ^{220}Rn ($T_{1/2}=56\text{с}$) Д2 детекторига етиб бораолмайди. Учинчи камерадаги Д3 детектори хатоликларни назорат қилиш учун ўрнатилган.

Экспозициядан кейин детекторлардаги латент изларини микроскопда санаш учун, CR-39 детекторлари 6М моляр NaOH ишқорида 6-8 соат давомида 70°C едирилди. Катталаштирилган изларни санаш учун телекамера билан жиҳозланган оптик микроскопдан фойдаланилди.

"Ядро реакцияларнинг уйғониш функцияларини ва радионуклидларнинг чиқиш катталигини ўлчаш" бўйича, диссертациянинг учинчи бобида циклотрон ёрдамида олинган протон ва дейтрон активациясини таҳлил қилишда зарур бўладиган тадқиқот натижалари келтирилган.

Маълумки, ядровий-аналитик муаммоларни ҳал қилишда зарядланган заррачалар билан бўладиган реакцияларнинг энг муҳим ядро-физик характеристикасига реакцияларнинг уйғониш функцияси ва шу реакциялар натижасида ҳосил бўладиган РНларнинг чиқиш катталиклари киради. Юпқа фольгалар тўпламини тезлаштирилган протонлар билан урилганда ҳосил бўладиган ядро реакцияларининг уйғониш функцияси қийматини қуйидаги формуладан аниқланди:

$$\sigma = [s \cdot \exp(\lambda t_{\text{охл}}) k \cdot M_x] / \{t_{\text{изм}} \cdot \alpha_\gamma \cdot i_\gamma \cdot 6.25 \cdot 10^{12} I \cdot \rho \Delta x \cdot f \cdot \theta \cdot N_A [1 - \exp(-\lambda t_{\text{обл}})]\} \quad (1)$$

бу ерда σ - E_p энергияли протонлар учун активация кесими, см^2 ; s – фотопикнинг майдони, имп; k – ўлчаш геометриясига тузатиш; M_x – изотопнинг атом масса сони; $t_{\text{обл}}$ и $t_{\text{охл}}$, $t_{\text{изм}}$ – мос ҳолда нурлантириш и совутиш, радиоактивликни ўлчаш вақтлари, сек; α_γ – детекторнинг эффе́ктивлиги; i_γ – γ -квантнинг интенсивлиги; $\rho \Delta x = m_0/d$, намунанинг юза зичлиги, $\text{мг}/\text{см}^2$; m_0 –

наmunанинг оғирлиги, мг; d – наmunанинг нурланиш майдони, см²; f – наmunанинг вазн нисбати, г/г; θ – реакциядаги нуклиднинг табиий тарқалиши; N_A – Авогадро сони.

(p, n) реакцияси бўйича 22 ядронинг уйғониш функцияси ўлчанди, уларнинг ичида 14 ядро ^{79, 81}Br, ^{66, 67}Zn, ⁸⁶Sr, ^{117, 120, 122}Sn, ^{121, 123}Sb, ¹⁰³Rh, ¹³³Cs, ^{134, 136}Ba ва ^{204, 206}Pb учун биринчи марта ўлчанилди, қолганлари учун эса, олинган маълумотлар янгиланди. Олинган ядро реакцияларининг уйғониш функциялари диссертациянинг иловасида (1-илова) келтирилган ва радионуклидларнинг чиқиш катталикларини ҳисоблашда фойдаланилган.

Тажриба йўли билан ўлчанган радионуклидларнинг чиқиш катталиклари қуйидаги формуладан аниқланди:

$$Y(\text{Бк/мкА} \cdot \text{ч}) = [s \cdot \exp(\lambda t_{\text{охл}}) k \cdot \lambda] / \{t_{\text{изм}} \cdot \alpha_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot I[(1 - \exp(-\lambda \cdot t_{\text{обл}}))]\} \quad (2)$$

Тажрибалар натижасида протонлар ва дейтронлар билан ҳосил бўладиган юздан кўпроқ ядро реакцияларидаги радионуклидларнинг чиқиш катталиклари ўлчанган ва ҳособлаб чиқилган.

У-150 циклотронда тезлатилган протонлар натижасида ҳосил бўладиган қисқа ва узоқ яшовчи радионуклидларнинг чиқиш катталиклари 1- ва 2-жадвалларда келтирилган. 1-жадвалда $E_p = 12$ МэВ да С, N, O, Na, Se, Br, Y, Mo, Cd элементлардан ҳосил бўладиган радионуклидларнинг чиқиш катталиги (0.25– 4.4)10⁹ Бк/мкА атрофида, В, Zr, Zn, Sn, Pr учун (1.5-10.7)10⁷ Бк/мкА атрофида ва бошқалар учун 2·10⁶ Бк/мкА атрофида аниқланган.

1-жадвал

Қисқа яшовчи радионуклидларнинг чиқиш катталиги (Y, ·10ⁿ Бк/мкА)

Ядро реакциялари	Протонлар энергияси, МэВ						
	7	8	9	10	11	12	n
¹⁰ B(p, n) ¹⁰ C	-	1.6	3.3	6.3	9.8	15.2	6
¹³ C(p, n) ¹³ N	1.3	1.7	2.0	2.1	2.3	2.5	8
¹⁴ N(p, α) ¹¹ C	3.6	8.8	12.8	17.0	20.5	25	8
¹⁴ N(p, n) ¹⁴ O	-	0.4	0.8	1.4	1.9	2.9	9
¹⁶ O(p, α) ¹³ N	0.24	0.48	0.7	0.9	1.1	1.3	9
²³ Na(p, n) ²³ Mg	0.33	0.46	0.7	1.1	1.4	1.9	9
⁶⁴ Zn(p, n) ⁶⁴ Ga	-	-	-	4.8	9.3	15.1	7
⁸⁰ Se(p, n) ⁸⁰ Br	1.9	2.5	3.1	3.6	4.0	4.4	9
⁷⁹ Br(p, n) ^{79m} Kr	0.5	0.93	1.5	2.2	3.2	4.4	8
⁸¹ Br(p, n) ^{81m} Kr	0.9	3.2	7.1	12.0	16.9	22.6	7
⁸⁹ Y(p, n) ^{89m} Zr	-	0.80	1.8	3.0	4.4	5.9	8
⁹⁰ Zr(p, n) ^{90m} Nb	-	-	2.2	5.3	9.6	-	7
⁹² Mo(p, n) ⁹² Tc	-	-	-	0.6	30.9	70.1	8
¹⁰⁰ Mo(p, n) ¹⁰⁰ Tc	0.83	1.5	2.6	3.9	5.6	7.2	8
¹¹² Cd(p, n) ¹¹² In	-	1.5	3.3	5.2	7.3	9.4	8

$^{116}\text{Sn}(p, n)^{116}\text{Sb}$	1.1	1.9	2.8	4.0	4.7	6.7	7
$^{118}\text{Sn}(p, n)^{118}\text{Sb}$	-	9.8	14.0	18.6	24.0	29.0	6
$^{120}\text{Sn}(p, n)^{120}\text{Sb}$	-	3.4	5.4	7.4	8.7	10.7	8
$^{134}\text{Ba}(p, n)^{134}\text{La}$	-	0.14	0.34	0.64	1.2	2.1	6
$^{136}\text{Ba}(p, n)^{136}\text{La}$	-	0.5	1.2	2.0	4.4	8.5	7
$^{139}\text{La}(p, n)^{139\text{m}}\text{Ce}$	-	1.0	2.4	4.6	8.4	13.7	7
$^{141}\text{Pr}(p, n)^{141\text{m}}\text{Nd}$	-	-	0.02	1.9	2.7	8.2	7
$^{142}\text{Nd}(p, n)^{142}\text{Pm}$	-	0.3	0.9	1.8	3.6	6.1	7
$^{180}\text{W}(p, n)^{180}\text{Re}$	-	-	-	0.6	2.0	4.8	6

2-жадвалга асосан, $E_p=12$ МэВ қуйидаги радионуклидлар ^{45}Ti , $^{52\text{m}}\text{Mn}$, ^{60}Cu ва ^{63}Zn юқори чиқиш катталигига эга бўлди $(0.2-5.3)10^9$ Бк/мкА·ст. Қуйидаги элементлардан S, O, Ca, Zn, Ga, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr ва Mo ҳосил бўладиган радионуклидларнинг чиқиши $10^7-2 \cdot 10^8$ Бк/мкА·ст атрофида аниқланди. ^7Be , ^{48}V , ^{51}Cr , ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga РН чиқиш катталиклари нисбатан кичикдир $(3-60)10^5$ Бк/мкА·ст. ^{110}In , ^{128}I , ^{141}Nd , ^{107}Cd радионуклидларнинг чиқиш қийматлари $(2.4-7.8)10^8$ Бк/мкА·ст атрофида аниқланди; $^{110\text{m}}$, ^{111}In , ^{117}Sb , ^{121}Te , ^{130}I , ^{127}Xe , $^{133\text{m}}\text{Ba}$, ^{142}Pr , $^{182\text{m}}\text{Re}$ РН қийматлари $(0.2-7)10^7$ Бк/мкА·ст атрофида бўлса; La, Au, Pb, Th элементларидан ҳосил бўладиган радионуклидларнинг чиқиши $(0.43-4.8)10^5$ Бк/мкА·ст ташкил қилади.

2-жадвал

Ўрта ва узок яшовчи радионуклидларнинг чиқиш катталиклари ($Y \cdot 10^n \cdot \text{Бк/мкА} \cdot \text{ст}$)

Ядро реакциялари	Протонлар энергияси, МэВ						
	7	8	9	10	11	12	n
$^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$	4.8	6.2	7.3	8.1	8.5	8.7	6
$^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Be}$	0.63	0.72	0.82	0.93	1.10	1.2	6
$^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$	3.8	4.6	5.4	6.1	6.7	7.3	6
$^{34}\text{S}(p, n)^{34\text{m}}\text{Cl}$	0.83	1.7	2.4	2.8	3.5	4.2	7
$^{44}\text{Ca}(p, n)^{44}\text{Sc}$	-	-	0.4	1.0	2.0	3.4	7
$^{45}\text{Sc}(p, n)^{45}\text{Ti}$	0.2	0.44	0.7	1.0	1.3	1.6	8
$^{48}\text{Ti}(p, n)^{48}\text{V}$	1.0	2.0	3.2	4.5	6.0	7.4	6
$^{51}\text{V}(p, n)^{51}\text{Cr}$	1.3	2.0	2.8	3.9	5.1	6.4	6
$^{52}\text{Cr}(p, n)^{52}\text{Mn}$	0.11	0.53	1.1	1.9	2.9	4.3	6
$^{52}\text{Cr}(p, n)^{52\text{m}}\text{Mn}$	0.3	0.85	1.6	2.2	3.3	4.6	9
$^{56}\text{Fe}(p, n)^{56}\text{Co}$	0.5	1.5	2.8	4.7	7.6	11	5
$^{60}\text{Ni}(p, n)^{60}\text{Cu}$	0.45	1.0	2.0	3.6	6.5	10.7	8
$^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$	0.37	0.99	1.7	2.6	3.9	5.3	9
$^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$	0.46	0.8	1.1	1.6	2.2	3.0	5
$^{66}\text{Zn}(p, n)^{66}\text{Ga}$	0.22	2.3	2.8	5.3	8.8	12.8	7
$^{67}\text{Zn}(p, n)^{67}\text{Ga}$	0.28	0.51	0.81	1.3	2.0	2.7	6
$^{69}\text{Ga}(p, n)^{69}\text{Ge}$	-	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7
$^{70}\text{Ge}(p, n)^{70}\text{As}$	-	2.2	4.3	7.3	10.9	15.6	7

$^{82}\text{Se}(p, n)^{82}\text{Br}$	1.7	2.1	3.9	5.3	7.0	8.7	6
$^{79}\text{Br}(p, n)^{79}\text{Kr}$	0.61	0.96	1.44	2.0	2.7	3.1	7
$^{87}\text{Rb}(p, n)^{87\text{m}}\text{Sr}$	0.39	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	8
$^{86}\text{Sr}(p, n)^{86}\text{Y}$	-	-	0.7	1.9	4.3	7.1	6
$^{86}\text{Sr}(p, n)^{86\text{m}}\text{Y}$	-	0.1	0.33	0.73	1.6	2.4	7
$^{89}\text{Y}(p, n)^{89}\text{Zr}$	0.3	0.6	1.1	2.5	3.2	4.5	7
$^{90}\text{Zr}(p, n)^{90}\text{Nb}$	-	1.6	2.1	3.4	5.7	11.1	7
$^{95}\text{Mo}(p, n)^{95}\text{Tc}$	2.6	4.5	7.3	11.7	16.8	20	6
$^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$	0.47	1.2	2.3	3.8	5.2	6.3	6
$^{107}\text{Ag}(p, n)^{107}\text{Cd}$	1.3	3.1	5.6	9.4	15.2	21.5	7
$^{110}\text{Cd}(p, n)^{110\text{m}}\text{Jn}$	-	1.3	3.8	7.2	11.0	15.4	6
$^{110}\text{Cd}(p, n)^{110}\text{In}$	0.2	0.5	1.0	1.6	2.7	4.2	8
$^{111}\text{Cd}(p, n)^{111}\text{In}$	-	0.8	1.8	3.1	4.2	6.0	6
$^{113}\text{Cd}(p, n)^{113\text{m}}\text{In}$	0.7	1.0	1.5	2.1	2.9	3.6	7
$^{116}\text{Cd}(p, n)^{116\text{m1}}\text{In}$	0.4	1.0	1.9	3.2	4.5	5.6	7
$^{117}\text{Sn}(p, n)^{117}\text{Sb}$	0.4	1.1	1.9	3.1	4.8	7.0	7
$^{120}\text{Sn}(p, n)^{120\text{m}}\text{Sb}$	0.2	0.6	1.0	1.4	2.0	2.6	6
$^{122}\text{Sn}(p, n)^{122}\text{Sb}$	0.2	0.5	0.8	1.1	1.6	2.1	6
$^{121}\text{Sb}(p, n)^{121}\text{Te}$	0.4	1.1	2.4	4.2	7.5	-	4
$^{121}\text{Sb}(p, n)^{121\text{m}}\text{Te}$	0.4	1.3	3.0	5.9	10.0	-	5
$^{123}\text{Sb}(p, n)^{123\text{m}}\text{Te}$	0.5	1.5	2.8	4.5	7.4	-	4
$^{128}\text{Te}(p, n)^{128}\text{I}$	0.2	0.4	0.9	1.2	1.8	2.4	8
$^{130}\text{Te}(p, n)^{130}\text{I}$	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.8	7
$^{127}\text{I}(p, n)^{127}\text{Xe}$	0.8	2.3	4.9	8.9	13.4	19.1	5
$^{133}\text{Cs}(p, n)^{133\text{m}}\text{Ba}$	0.65	1.6	3.1	5.3	10.0	15.7	6
$^{139}\text{La}(p, n)^{139}\text{Ce}$	-	0.15	0.45	1.0	1.7	2.5	5
$^{142}\text{Ce}(p, n)^{142}\text{Pr}$	0,2	0.5	1.0	1.5	1.7	1.9	6
$^{141}\text{Pr}(p, n)^{141}\text{Nd}$	-	-	0.4	2.4	4.7	7.8	8
$^{151}\text{Eu}(p, n)^{151}\text{Gd}$	-	-	2.5	5.4	8.3	12.5	4
$^{153}\text{Eu}(p, n)^{153}\text{Gd}$	-	0.8	1.4	2.2	3.3	4.3	4
$^{181}\text{Ta}(p, n)^{181}\text{W}$	-	0.7	2.0	3.8	5.7	8.4	4
$^{182}\text{W}(p, n)^{182\text{m}}\text{Re}$	1,0	3.0	5.0	8.3	12.4	19.7	6
$^{197}\text{Au}(p, n)^{197}\text{Hg}$	-	-	0.1	0.6	1.4	4.1	4
$^{204}\text{Pb}(p, n)^{204}\text{Bi}$	-	0.6	2.2	5.8	11.9	20.8	4
$^{206}\text{Pb}(p, n)^{206}\text{Bi}$	0.06	0.3	0.7	1.5	2.9	4.8	5
$^{232}\text{Th}(p, n)^{232}\text{Pa}$	-	-	-	1.0	1.6	2.4	5

76 ядро реакциялари учун РН чиқиш катталиклари биринчи марта аниқланди. Булар ичида қисқа яшовчи радионуклидлардан ^{10}C , ^{23}Mg , ^{80}Br , $^{79\text{m},81\text{m}}\text{Kr}$, $^{89\text{m}}\text{Zr}$, $^{90\text{m}}\text{Nb}$, ^{100}Tc , ^{112}In , $^{116,118,120}\text{Sb}$, $^{134,136}\text{La}$, $^{139\text{m}}\text{Ce}$, $^{141\text{m}}\text{Nd}$, ^{142}Pm , ^{180}Re ва узоқ яшовчи РНдан ^7Be , ^{45}Ti , $^{55,56}\text{Co}$, $^{66,67,69}\text{Ga}$, $^{69,72}\text{Ge}$, $^{70,76}\text{As}$, $^{80\text{m},82}\text{Br}$, ^{79}Kr , $^{86,86\text{m},87,87\text{m},89,90}\text{Y}$, $^{89,95,97}\text{Zr}$, $^{90,95,96,97}\text{Nb}$, ^{103}Pd , ^{115}Cd , $^{110,110\text{m},111,113\text{m},115\text{m},116\text{m}}\text{In}$, $^{117,118\text{m},120\text{m},122}\text{Sb}$, $^{121,121\text{m},123\text{m}}\text{Te}$, $^{126,128,130,131}\text{I}$, $^{134\text{m}}\text{Cs}$, $^{133\text{m}}\text{Ba}$, ^{139}Ce , ^{142}Pr , ^{141}Nd ,

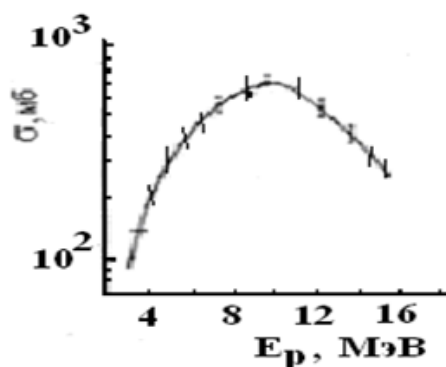
$^{151,153}\text{Gd}$, ^{182}Ta , ^{181}W , $^{182\text{m},186,188}\text{Re}$ ва $^{204,206}\text{Bi}$. Уйғониш функциялари ва РН чиқиш катталикларининг ўлчаш хатоликлари 12-15% ташкил қилди.

Родийни Х-нурланиши бўйича чегара қийматини аниқлаш. Родий элементининг чегара қийматини аниқлаш учун, $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ реакция бўйича уйғониш функцияси ва РН чиқиш катталиги ($E_p=16$ МэВ) ўлчанилган. Қуйидаги 3- расмда $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ реакциясининг эксперимент йўли билан аниқланган уйғониш функцияси $E_p=16$ МэВ келтирилган.

Родийни аниқлаш чегара қиймати (η) қуйидаги формуладан (матрица ва аралашма элементлар таҳлилга таъсири йўқ деб ҳисобланган) аниқланган:

$$\eta = A_{\min} \lambda R_x / R_m I Y (1 - e^{-\lambda t_{\text{обл}}}) \quad (3)$$

бу ерда $A_{\min} = s_{\min} / t_{\text{наб}} \cdot \alpha_{\text{эфф}} \cdot i_\gamma$; $s_{\min} = 3 \cdot (s_{\text{фон}})^{1/2} / t_{\text{наб}}$ ($T_{1/2}=17$ кун, $s_{\min} = 1.5$ имп/с); 21кэВ ва 356.7 кэВ учун $i_\gamma=77.4\%$ ва 0.029% интенсивликлар мос келади.



3 -расм. $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ ядро реакциясининг уйғониш функцияси

Нурлатиш параметрлари; $t_{\text{обл}}=1$ ч, $I_p=10$ мкА, $E_p=16$ МэВ, $t_{\text{наб}}=100$ мин, $R_x=R_m$, $Y_p=8 \cdot 10^6$ Бк/мкА·ч. γ -квант ва Х-нурланишлари учун қайд қилиш эффективлиги $\alpha_{\text{эфф}}$ HPGe ва Si(Li) детекторларда аниқланди, 21 кэВ линия учун $\alpha_{\text{эфф}}=0.8\%$ ва 356.7 кэВ учун 8% ташкил қилди. 21кэВ ва 356.7кэВ линиялари учун родийнинг аниқлаш чегара қийматлари, мос ҳолда $2.2 \cdot 10^{-6}$ ва $5.8 \cdot 10^{-4}$ г/г қийматларга тенг бўлган.

Шундай қилиб родий элементини аниқлашда ^{103}Pd нинг Х-нурини қайд қилганда, унинг чегара қиймати ^{103}Pd γ -квантига нисбатан 250 мартага ошиши исбот қилинган.

Диссертациянинг 2-иловасида РН чиқиш катталиклари протон ва дейтронларнинг энергиясига боғликлиги чизма ҳолда келтирилган бўлиб, бизнинг маълумотлар CDFE (the centre for the defense of free enterprise) сайтига қўйилган.

Диссертациянинг тўртинчи «Ядровий-физиканинг таҳлил усуллари ишлаб чиқиш ва уларни амалий масалаларни ечишда қўллаш» деб номланган бобида, ЎзР ФА ЯФИ ВВР-СМ ядро реакторини ва циклотронини агробиология, антропология ва конструктив материалларни амалиётга тадқиқ

килиш учун бир қатор инструментал активацион таҳлил усуллари ишлаб чиқилган.

ИНАТ нинг биологик тадқиқотларда қўлланилиши. Тупроққа доимий равишда фосфорли ўғитлар билан ишлов бериш, фосфоритларнинг таркибий ва кимёвий хоссаларининг ўзгаришига олиб келади, натижада ердаги фосфорит ўғитлари эримайдиган ҳолатга ўтади ва тупроқнинг унумдорлиги пасайиб кетади. Бундай тупроқларнинг ўсимликларнинг вегетатив хусусиятларига таъсирини ўрганиш учун пахта ва қанд лавлаги мисолида ЎзР ФА Микробиология институти (МБИ) билан биргаликда назорат ва тажриба майдонларида тажрибалар ўтказилган.

Тажриба майдонларида минерал ва биологик ўғитлар тупроққа эримайдиган фосфат бирикмаларини эрийдиган фосфат гуруҳларига айлантиришга қодир фосфат бактериялари штаммлари шаклида киритилган.

МБИ илмий ходимлари минерал ва биологик ўғитларнинг пахта ва қанд лавлаги ўсимликларнинг ўсишига ва ривожланиш динамикасига таъсирини ўрганишган. Ўсимликларнинг ўсиш, гуллаш ва пишиш давларида, тупроқдаги микроэлементларнинг ўсимликлар органларига ўтиши, ҳаракати ва тўпланишини, ЯФИНинг илмий ходимлари аниқлаган.

Тажриба натижаларидан шу нарса аён бўлдики, Cr, Cu ва Mn элементлари учун, ўсимликлар органида "четлаш механизми" асосий рол ўйнайди. Зарарли (антропоген) хусусиятга эга бўлган Sr ва Ba элементлари пахта ва қанд лавлагининг ўсиш ва гуллаш даврида жуда ҳаракатчанлиги кузатилган. Масалан Sr элементининг тупроқдаги концентрацияси 376-634 мг/кг атрофида бўлса, пахтанинг ўсиш даврида Sr миқдори 146 дан 478 мг/кг гача ошди, аммо ҳосилга кирганда унинг миқдори 20 мг/кг гача камайган.

Пахта ва қанд лавлаги экилган тупроқдаги ва ўсимликлар органларидаги элементларнинг боғлиқлик таҳлили натижасида элементнинг биологик ютилиш коэффиценти (ЭБЮК) қуйидагича аниқланган:

$$ЭБЮК = [M_y] / [M_m] \quad (4)$$

бу ерда $[M_y]$ —элементнинг ўсимликдаги қиймати, мг/кг; $[M_m]$ —элементнинг тупроқдаги қиймати, мг/кг. ЭБЮК қиймат катталиги, элементнинг ўсимликдаги ҳаракат ва ютилиш даражасини аниқлайди. Натижада, қанд лавлаги учун ЭБЮК қийматлари пахтага нисбатан юқори эканлиги кузатилди. Масалан, қуйидаги элементлар Zn, Ba ва Cs - 1.5; Sc, Br ва Au - 3; Cu, Mn ва Rb - 4–6 марта қанд лавлагида кўплиги аниқланган.

ИНАТ антропологик тадқиқотларда қўлланилиши. Ўзбекистон ҳудудида топилган қадимги архантроп (АС), айиқ (АЙҚС) ва тарихий (динозаврлар ДС2, ДС3 ва ДС1-Мўғулистон) суякларидаги элементлар таркибини ва ўзгаришини ўрганиш учун ИНАТ усули яратилган. Намуна суякларидаги элементлар таҳлили стандарт сутэмизувчилар (ССС) ва одамларнинг стандарт суяклари ва тупроқ намуналари (ТН) билан таққосланди. 3-жадвалда ДС, ТН ва СССР намуналарида нейтрон таҳлили билан аниқланган элементлар таркиби

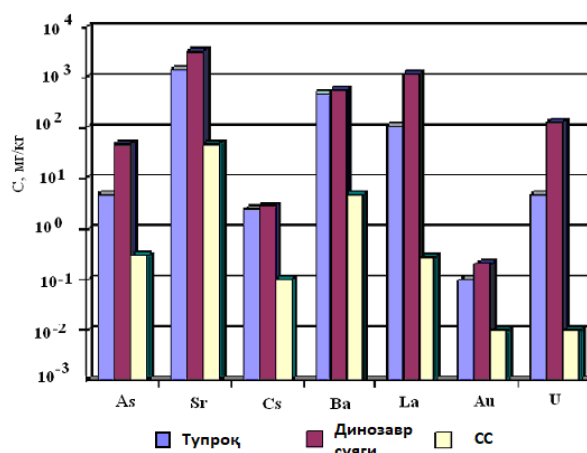
берилган. Келтирилган жадвалга кўра, ДС таркибидаги лантаноидлар - La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb ва Lu жуда юқори миқдорни 280-3200 мг/кг ташкил қилган. ДС1-ДС3 таркибида уран миқдори жуда юқори - 102-180 мг/кг аниқланган.

3-жадвал

Динозаврлар, стандарт суякларидagi ва тупроқдаги элементлар, мг/кг

№	Элемент	ДС1	ДС2	ДС3	ТН	ССС
1	Ca (%)	45.5	31.3	38.7	6.7	26
2	Sc	14.4	5.10	6.2	10.6	0.001
3	Cr	71.0	28.7	21.5	11.5	0.49
4	Fe	2026.9	0.54	3.78	$2.7 \cdot 10^4$	200
5	Co	4.82	8.11	8.3	2.4	5
6	Ni	2926.6	2400	3390	-	2.5
7	Zn	488.1	4.3	1180	383	150
8	As	97.2	8.90	-	6.8	0.3
9	Rb	-	48.2	58.2	109	5.1
10	Sr	3609	3500	1550	700	30-64
11	Ag	6.7	-	14.8	-	0.01
12	Sb	-	5.7	1.4	-	0.35
13	Cs	-	1.77	7.10	4.6	0.14
14	Ba	579	836	390	964	2-6.9
15	La	3186.6	83.10	162	48.5	0.27
16	Ce	2584.3	46	68.1	37.2	-
17	Nd	2384.5	-	-	-	-
18	Sm	563.6	80.3	19.2	3.3	-
19	Eu	175	2.7	9.6	-	-
20	Tb	143.8	0.8	5.6	-	-
21	Yb	282.2	4.9	11.4	4.18	-
22	Lu	30.1	0.48	1.22	0.4	-
23	Hf	-	1.78	4.36	5.1	-
24	Au	0.68	0.04	0.08	-	0.016
25	Th	20.6	0.6	2.13	3.68	-
26	U	180	122	102.4	3.9	0.01

4-расмда динозавр ва СССР суяклари ва тупроқ таркибидаги ушбу As, Sr, Cs, Ba, La, Au ва U элементларнинг тақсимланиш гистограммаси келтирилган. Расмдан кўриниб турибдики, кўрсатилган элементлар учун динозавр суяги яхши ютувчи ҳисобланади ва айниқса Sr, Ba, La ва U элементлари учун юқори бўлиб, уларнинг миқдори одатдаги суяк намунасига қараганда 100-10000 марта юқори эканлиги кўрсатилган.



4-расм. Баъзи элементларнинг ДС, СС ва тупроқда тақсимланиш гистограммаси

4-жадвалда айиқ ва архантроп суякларидаги 21 та элемент таркиби келтирилиб, улар стандарт суяклар ва тупроқ намуналари учун олинган маълумотлар билан таққосланган.

4-жадвал

Айиқ, архантроп, стандарт суякларидаги ва тупроқдаги элементлар миқдори, мг/кг

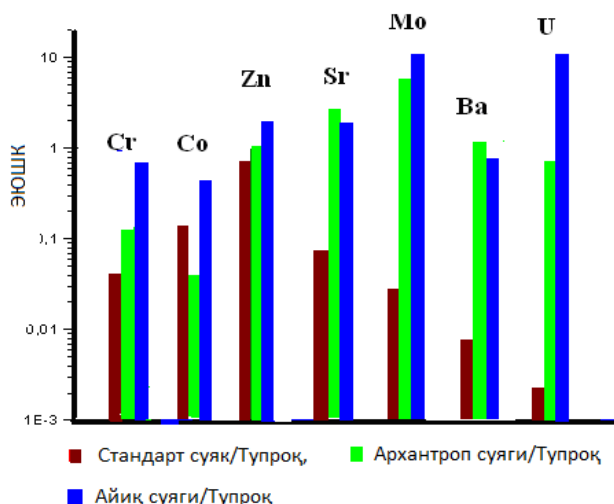
№	Элемент	АЙҚС	ССС	АС	ОСС	ТН
1	Ca (%)	48.7	26	32.9	18-36.4	2.7-6.0
2	Sc	0.11	0.001	0.07	≤0.03	3.4-6.4
3	Cr	7.18	1.4-5.2	1.41	1.4 -5.2	6.4-11.4
4	Fe	148.8	200	248.2	140-205	25 (г/кг)
5	Co	1.54	0.7	0.2	0.03-0.7	3.3-5.3
6	Zn	218.3	150	103.8	19-79	150
7	As	40.4	0.3	8.3	0.012	5-40
8	Br	8.1	4-7	4.1	0.36-16	1.5-10
9	Rb	6.3	5.1	5.8	1.4-12	30-130
10	Sr	1325	30-64	1746	18-110	100-2600
11	Mo	33	< 1.5	17.2	< 1.5	0.5-4
12	Sb	19.9	0.35	0.26	0.02-0.71	470
13	Cs	0.61	0.04-0.1	0.52	0.1-7.2	2.2-3.5
14	Ba	605.3	2-6.9	753.8	1.9	110-600
15	La	8.2	0.27	0.83	0.04-0.4	0.04-0.23
16	Ce	5.9		4.5		6.8-11.4
17	Nd	20.5		22.6		
18	Eu	0.11		0.092		0.5-1.8
19	Au	0.16	0.02	≤0.01	0.01	0.06-0,1
20	Th	≤		0.68	0.10	2.3
21	U	24.4	0.01	1.53	≤0.01	1.3-2.8

4-жадвалда келтирилган натижаларга кўра айиқ ва архантропнинг суякларида Sr, Ba, La ва Au элементлар миқдори стандарт суякка нисбатан 10-100 мартадан кўплиги кўрсатилди. Айниқса уран элементининг миқдори архантроп ва айиқ суякларида стандарт суякка нисбатан мос равишда 100 ва 2400 марта юқори эканлиги аниқланган. Биологик тадқиқотлардан фарқли ўлароқ, антропологик тадқиқотларда «суяк/тупроқ» системаси учун "элементлар ютилишининг шартли коэффиценти" (ЭЮШК) деган нисбий тушунча киритилди, ва қуйидагича аниқланган:

$$ЭЮШК = [M_c] / [M_m] \quad (5)$$

бу ерда $[M_c]$ - элементнинг суякдаги қиймати, мг/кг; $[M_m]$ - элементнинг тупроқдаги қиймати, мг/кг.

5-расмда қуйидаги элементлар учун Cr, Co, Zn, Sr, Mo, Ba, U ЭЮШК гистограммаси берилган. 5-расмга асосан, суяклар ёшининг ошиши билан ЭЮШК қийматининг ўсиши кузатилди. Масалан, айиқ ва архантроп суякларининг ёшлари бир миллион йиллар атрофида бўлгани учун, уларнинг ЭЮШК нисбатлари ҳам мос ҳолда қуйидагича: Zn – 2.2 ва 1, Sr -1.9 ва 2.5, Mo -11 ва 6, U -12 ва 0.8, Cr- 0.72 ва 0.14, Co - 0.4 ва 0.05. Ba - 0.87 ва 1.1.



5-расм. СС/тупроқ, АС/тупроқ ва АЙҚС/тупроқ системасида элементлар ютилишининг шартли коэффиценти (ЭЮШК)

Тажрибалардан шу нарсга аён бўлдики, тарихий ва қадимий суякларда уран элементи ёки бирикмаси миқдори бошқа аралашма элементларга нисбатан жуда юқори эканлиги аниқланган.

Алюминий ва магний қотишмаларини протон активацион таҳлил қилиш. Ҳозирги кунда алюминий ва магний қотишмалари авиация, космонавтика, кemasозлик, кимёвий ва озиқ-овқат ускуналари таркибида кенг қўлланилмоқда. Алюминий ва магний қотишмаларидаги бир қатор элементларнинг таркибини юқори сезувчанлик ва қотишмаларни бузмасдан аниқлашда протон активацион таҳлили (ПАТ) усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқдир. Бунинг сабаби шундаки, алюминий ва магний қотишмалари

$E_p=12$ МэВ протонлар билан нурлантирилганда асосан (p, n) реакцияси кетади ва қисқа яшовчи радионуклидлар ҳосил бўлади. Уларнинг ўлчашга таъсир бўлмайди, сабаби ўлчаш бошланмасдан аввал парчаланиб кетади.

Алюминий ва магний намуналари таблеткалар шаклида бўлиб, диаметри 14-16 мм ва қалинлиги 2-4 мм. Намуналардаги элементларни қисқа яшовчи радионуклидлар ёрдамида таҳлил қилиш учун намуналар 0.1-0.2 мкА протон оқимида, 15-20 сек давомида нурлантирилган. Нурлатилган намуналарнинг радиоактивлиги 20-25 сек ўтгандан сўнг, 20-40 сек давомида ўлчанган. Узок яшовчи радионуклидлар орқали элементларнинг таркибини аниқлаш учун, намуналар 1-2 мкА протон оқимида 40-70 дақиқа давомида нурлантирилган. Нурлатилган намуналарнинг радиоактивлиги 10-12 соатдан сўнг детекторда 30-60 дақиқа давомида ўлчанган.

Циклотрон учун стандарт эталонларнинг йўқлиги сабабли, протонлар оқим токини ва вақтини тежаш учун элементларнинг таркиби абсолют метод формуласи ёрдамида аниқланди. Алюминий қотишмаларини таҳлил қилиш натижалари 5-жадвалда келтирилган.

Ишлаб чиқилган ПАТ усули билан алюминий ва магний қотишмаларида 25та элемент 10^{-4} - 10^{-5} % атрофидаги аниқлик билан аниқланди, уларнинг 10 таси қисқа яшовчи, 15 таси узок яшовчи радионуклидлар ёрдамида $\leq 15\%$ хатолик билан аниқланди.

5-жадвал

Алюминий қотишмаларидаги асосий ва қўшимча элементлар фоизи, %

Элемент	A1	A2	A3
Li	$(7.5 \pm 2.2) \cdot 10^{-4}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	-
B	-	$(3.3 \pm 0.8) \cdot 10^{-2}$	$(6.5 \pm 1.8) \cdot 10^{-2}$
N	$(5.0 \pm 1.5) \cdot 10^{-4}$	$(9.0 \pm 2.7) \cdot 10^{-4}$	$(4.9 \pm 1.5) \cdot 10^{-4}$
Na	$(4.6 \pm 1.3) \cdot 10^{-3}$	$(3.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$	$(3.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$
Mg	2.5 ± 0.3	$(3.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-1}$	2.8 ± 0.4
Ca	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	-	$(4.4 \pm 1.3) \cdot 10^{-3}$
Ti	$(4.3 \pm 1.2) \cdot 10^{-4}$	$(5.2 \pm 1.5) \cdot 10^{-3}$	$(4.6 \pm 1.4) \cdot 10^{-3}$
V	$(3.3 \pm 0.9) \cdot 10^{-3}$	$(1.5 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-4}$
Cr	$(2.8 \pm 0.8) \cdot 10^{-3}$	$(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	$(1.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$
Mn	$(6.9 \pm 1.3) \cdot 10^{-1}$	$(5.5 \pm 1.1) \cdot 10^{-1}$	$(6.5 \pm 1.3) \cdot 10^{-1}$
Fe	$(6.3 \pm 1.8) \cdot 10^{-2}$	$(3.7 \pm 1.1) \cdot 10^{-2}$	$(2.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$
Ni	$(3.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-2}$	$(2.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$
Cu	1.6 ± 0.2	8.6 ± 1.7	1.8 ± 0.3
Zn	4.1 ± 0.6	$(2.7 \pm 0.8) \cdot 10^{-3}$	4.8 ± 0.7
Ga	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$	$(1.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$	$(1.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$
Ge	$(8.0 \pm 2.0) \cdot 10^{-4}$	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$	$(2.9 \pm 0.8) \cdot 10^{-4}$
As	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$	$(4.7 \pm 1.4) \cdot 10^{-4}$	$(6.6 \pm 1.9) \cdot 10^{-4}$
Se	$(4.8 \pm 1.5) \cdot 10^{-5}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	$(1.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$
Sr	$(2.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	$(2.7 \pm 0.8) \cdot 10^{-5}$	$(1.8 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$

Y	$(1.1 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$
Zr	$(1.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$	$(2.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	$(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$
Mo	$(3.0 \pm 0.9) \cdot 10^{-2}$	$(3.5 \pm 1.1) \cdot 10^{-4}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$
Ce	$(6.8 \pm 2.0) \cdot 10^{-3}$	$(7.0 \pm 2.1) \cdot 10^{-4}$	$(4.7 \pm 1.4) \cdot 10^{-2}$
W	$(6.0 \pm 1.8) \cdot 10^{-3}$	-	-
Pb	$(1.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$	-	$(1.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-3}$

ПАТ усули Li, B, N, Ti, Fe, Y, Zr ва Pb каби элементларни аниқлашда бошқа активацион таҳлил усулларида авзаллиги аниқланди. Бу ерда, янги материаллар таҳлилининг техник муаммоларини ҳал қилишда зарядланган заррачаларнинг активацион таҳлил имконияти кўрсатилган.

Диссертациянинг «Атроф муҳит объектларида радон ҳажмий активлигини (РХА) ва радон эксхалация тезлигини (РЭТ) изли таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш» деб номланувчи бешинчи бобида CR-39 изли детектори ёрдамида бинолардаги РХА таҳлил қилиш ва қурилиш материаллари, уйларнинг деворлари ва тупроқ юзасидан РЭТ аниқлаш усули ишлаб чиқилди. Ўрганилаётган объектлар Тошкент шаҳрининг турар жойлари ва иш жойлари, шунингдек, Тошкент вилоятининг ишлаб чиқариш объектлари ва аҳоли пунктлари бўлди. Тажрибалар олдида CR-39 детектори, ўлчаш камераларида калибровка ва мувозанат коэффицентлари аниқланди.

CR-39 детекторини калибровка қилиш учун радон эманация контейнери ва AlphaGUARD-PG2000 радон ўлчаш мониторидан фойдаланилди. Калибровка коэффицентини (KK) қиймати қуйидаги формуладан топилди:

$$KK = \rho / A_{Rn} t_e \quad (6)$$

бу ерда ρ – изларнинг юза зичлиги, $\text{из}/\text{см}^2$; A_{Rn} – радоннинг ҳажмий активлиги, $\text{Бк}/\text{м}^3$; t_e – экспозиция вақти, соат–ст.

Калибровка тажрибаларида РХА ва РЭТ учун ўлчаш камераларининг KK аниқланди, улар мос равишда $0.0086 \text{ (из}/\text{см}^2)/(\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{ст})$ ва $0.0096 \text{ (из}/\text{см}^2)/(\text{Бк} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{ст})$ қийматларга тенглиги топилди. Ҳар хил қурилиш материалларидан иборат уйларда радон ва унинг ҳосилалари ўртасидаги мувозанат коэффицентини ёзда $0.37\text{--}0.48$ ва қиш даврида $0.56\text{--}0.66$ атрофида аниқланди, унинг ўртача қиймати 0.5 тенг деб олинди.

Бинолардаги РХА ўлчаш. Бинолардаги радон ўлчовлари натижаларига кўра РХА қийматлари – қурилиш материалларига, жойига ва йил фаслларида боғлиқ бўлиб, катта ораликда ўзгариши аниқланди. Масалан, РХА темир-бетон уйлар учун $46\text{--}87 \text{ Бк}/\text{м}^3$, пишган ва пишмаган ғиштли уйларда мос ҳолда $65\text{--}210 \text{ Бк}/\text{м}^3$ ва $95\text{--}600 \text{ Бк}/\text{м}^3$ бўлса, қишда эса РХА қийматларининг 1.8 ва 2.1 мартага ошиши кузатилди. Фосфорит ўғитлари ишлаб чиқарувчи «АММОФОС» корхонасининг цехларида РХА $1100\text{--}1600 \text{ Бк}/\text{м}^3$ атрофида ўлчанди. Бу рақамлар уран тўпламларига яқин аҳоли пунктларидан ҳам катта бўлиб, радон учун қўйилган чегара қийматидан $5\text{--}6$ марта юқоридир. Уран тўпламларига яқин жойлашган аҳоли пунктларида, қиш ва ёз ойларида, олиб

борилган радон ўлчовлари 6-жадвалда келтирилган. Уран тўпламларига яқин жойлашган аҳоли пунктларидаги уйларда РХА 50-590 Бк/м³ интервалда бўлиши аниқланди.

6 жадвал

Бинолардаги радоннинг қийматлари, ёз ва қиш ойларида, Бк/м³

Бинолар	Янгиабд		Қизилтепа		Чоркесар	
	Ёз	Қиш	Ёз	Қиш	Ёз	Қиш
Ғиштли	37–78	45–162	35–75	42–155	68–208	96–350
Кесакли	75–132	85–260	64–126	64–235	95–332	150–590
Муассалар	66–88	98–135	42–115	67–147	50–83	78–160
Мактаб	70–110	80–150	34–116	67–185	41–83	64–145
Боғча	60–85	50–90	40–70	65–105	83–140	120–210
Касалхона	45–75	56–90	44–58	55–110	190–236	260–396
Тиббиёт	88–148	125–220	32–52	48–78	120–210	150–290
Дўкон	700–1100	1000–1700				
Дорихона					226	412

Йиллик эффектив дозани аниқлаш. Уйлар ва ишхоналарнинг қурилишига ва жойлашишига қараб радон нурланиши туфайли хонадон эгаларининг ва хизматчиларининг оладиган йиллик эффектив дозаси аниқланди. Уран тўплами яқинидаги аҳоли учун 1.5–22 мЗв/йил, темир бетон уйлари 0.7–1.3 мЗв/йил, ғиштли уйларда 1.4–10.7 мЗв/йил, кесакли уйларда 1.3–8.3 мЗв/йил. Энг радон хавфли деб, Янгиабд дўкони 22.1 мЗв/йил, Чоркесар касалхонаси ва дорихонасида йиллик дозалар мос ҳолда 5.32 ва 6.3 мЗв деб топилди.

Радон эксхалация тезлиги (РЭТ). Яратилган усул ёрдамида қурилиш материаллари, деворлар, турли тоғ жинслари ва тупроқ юзасидан чиқаётган РЭТ (Бк/м²·см) катталиги қуйидаги формуладан топилди:

$$CЭР = A\lambda VT_{эфф} / S \quad (7)$$

бу ерда A – материалнинг активлиги, Бк/м³; λ – емирилиш доимийси, $ст^{-1}$ ($\lambda_{Rn}=7.567 \cdot 10^{-3} ст^{-1}$); V – камера ҳажми, м³; S – камеранинг кириш юзаси, м²; $T_{эфф}$ – эффектив вақт, $T_{эфф} = t/[1+\lambda(1-e^{-\lambda t})]$; t – экспозиция вақти, ст.

Маҳаллий қурилиш материалларини ва тоғ жинсларини ўлчашлардаги излар зичлиги, радон активлиги ва эксхалация қийматлари 7-жадвалда берилди. Қурилиш материаллари ва тупроқларнинг РЭТ мос равишда 0.03–0.16 Бк/м²·ст ва 0.06–2.65 Бк/м²·ст атрофида аниқланди.

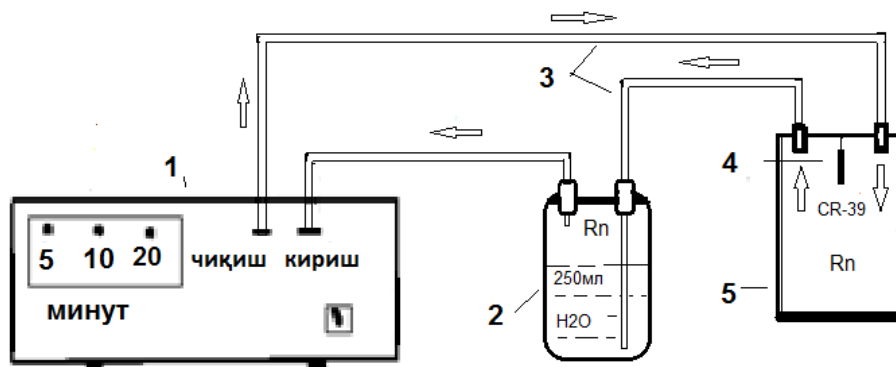
Шахта чиқинди маҳсулотларини радиацион нурланишини текширмасдан бинолар қурилишида ишлатиш хонадон эгалари учун хавфлидир. Сабаби, бу маҳсулотларнинг РЭТ қийматлари 1.85 - 26.2 Бк/м²·ст жуда юқори бўлган.

Қурилиш ва бошқа материалларнинг радон эксхалация тезлиги

№	Қурилиш материаллари	Из зичлиги, из/см ² ·кун	Активлик, Бк/м ³	РЭТ, Бк/м ² ·ст
1	Тоғ жинси	22.1	94.8	0.071
2	Кесак	48.7	210	0.16
3	Ғишт	9.4	40.4	0.03
4	Тошлар	24.2	104	0.077
5	Қум	36	155	0.12
6	Цемент	5.3	22.8	0.017
7	Алебастр	5.0	22	0.016
8	Порода	530-7500	2300-32550	1.85-26.2
9	Шахта жинси	2510	10900	9.1
10	Шурф	1230	5350	4.30
11	Бентонит	56	242	0.20
12	Фон	3 - 4		

Тупроқдаги РЭТ дала шароитида ўлчаиш. Бунинг учун учкамерали радон регистраторидан фойдаланилди (26-расм). Тупроқдаги РЭТ ўлчашлар натижаларидан шулар маълум бўлдики, РЭТ қиймати баҳор ойларида 20.3 дан 25.4 Бк/м²·ст атрофида бўлса, ёзда 11.2 - 22.1 Бк/м²·ст камайиши кузатилди. Тупроқнинг дала шароитида ўлчанган РЭТ қийматлари (16.4÷22.1 Бк/м²·ст), шу тупроқни лаборатория шароитида ўлчанган РЭТ қийматларидан (0.08 ÷0.12 Бк/м²·ст) 160 ва 220 марта юқори эканлиги исботланди. Сабаби, дала шароитида жуда кўп табиий факторлар РЭТ катталигига таъсир қилади.

Радоннинг сувдаги концентрациясини (РСК) CR-39 из детектори билан аниқлаш усули. Ушбу усулнинг моҳияти шундаки, CR-39 детекторли қуруқ экспозицион камераси ичига, намуна сувдаги радон-222 газини барботер ёрдамида ўтказилгандан кейин, камера ажратилиб, 12 кун экспозицияда ушлаб туришдан иборат. РСК усулининг схематик кўриниши 6-расмда келтирилган.



6-расм. Сувдаги радон-222 барботирлаш билан экспозиция камерасига тўплаш системасининг схематик кўриниши

Системанинг ишлаш принципи. Намуна идишига (2) 250 мл сув олинади. Кейин, мини насоснинг (1), намуна идиши (2), экспозиция камерасининг (5)

кириш ва чиқиш жўмраклари, юмшоқ трубкалар (3) ёрдамида, 6-расмдагидай бир системага уланади. Радоннинг (2) дан CR-39 (4) детекторли (5) камерага тўла ўтиши учун мини насоснинг (1) 20 дақиқа ишлаши кифоя бўлди. Кейин, зич ёпиқ экспозиция камераси альфа изларни CR-39 детекторида қайд қилиш учун 12 кунга қолдирилди. Худди шу ишлар бошқа намуна сувлари учун ҳам такрорланди. СРК қийматларини топиш учун абсолют ва нисбий методлардан фойдаланилди. Стандарт сув сифатида, активлиги 370 ± 45 Бк/л бўлган радий-226 эритмасидан фойдаланилди. Ташкент, Навои, Чартак ва Самарқанд шаҳарларидаги РСК, мос равишда 3.1, 6.2, 15.1 ва 62.8 Бк/л деб аниқланди.

Барботёрлаш усули, CR-39 детектори 12 ($3T_{1/2}$) кун давомида фақат Rn-222 α -зарраларини сувсиз камерада қайд қилиши билан, таҳлилнинг вақтини ва хатолигини камайтиш имконини берди.

ХУЛОСА

“Конструкциявий ва биоэкологик материалларни активацион ва изларни таҳлил қилиш усуллари ишлаб чиқиш” мавзусидаги фан доктори (DSc) диссертация ишининг натижалари асосида қуйидаги хулосалар қилинди:

1. Протон таъсирида ҳосил бўладиган 22 ядровий реакцияларининг уйғониш функциялари аниқланган бўлиб, улардан 14 таси биринчи марта аниқланган, бошқалари учун бу маълумотлар янгиланди. Протон ва дейтрон таъсирида ҳосил бўладиган юздан кўпроқ радионуклидларнинг чиқиш катталиклари ўлчамли ҳисоблаб чиқилди, улардан 76 учун бу катталиклар биринчи марта олинди.

2. $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ уйғониш функцияси ва унинг чиқиш катталиги $E_{p,d}=18$ МэВда биринчи марта аниқланди. Родий элементини таҳлил қилишда ^{103}Pd γ -кванти ўрнига, унинг X-нурларини қайд қилинганда родийни аниқлаш қиймати 250 мартага ошиши исботланди. ^{103}Pd уйғониш функцияси ва унинг чиқиш катталиги Халқаро атом энергияси агентлигининг Conservation Reserve Program маълумотларига киритилди.

3. Пахта ва қандли лавлаги ўсимликлари органларида элементларнинг биологик ютилиш коэффицентлари ўсиш ва мевалаш жараёнида нейтрон таҳлил усули билан аниқланди, ва олинган маълумотлар ЎзР ФА микробиология институтида маҳаллий штаммлардан фосформобил *Bacillus* бактерияларини яратишда қўлланилди.

4. Тарихий ва қадимий суякларда ядро бўлиниши элементлари топилди ва скелетларнинг ёши ундаги уран концентрациясига боғлиқлик корреляцияси мавжудлиги исботланди.

5. Протонлар таҳлил усули билан алюминий ва магний қотишмаларида Li, B, C, N, O, Ni, Y, Zr, Nb ва Pb элементларини аниқлашда унинг бошқа активацион усуллардан афзаллиги кўрсатилди.

6. CR-39 из детектори хонадонлардаги радон миқдори қурилиш материаллар турига, йил мавсумига, биноларнинг геохимёвий жойлашишига

боғлиқлиги, аҳолининг радон туфайли оладиган йиллик эффектив дозаси аниқланди ва радон бўйича доза қийматини қайта кўриш таклифи берилди.

7. Экспозиция вақтини 3-6 баравар ва таҳлил хатоликларни қисқартиришга имкон берадиган CR-39 детектори билан сувдаги радон концентрациясини аниқлашнинг янги усули яратилди, усулга ихтиро патенти олинди (№ IAP 20180196; 30.09.2020).

8. Биринча марта дала шароитида тупроқ юзасининг радон эксхалация тезлигини аниқлашда жуда оддий уч камерали радон регистратори яратилди, радон эксхалациясининг фаслларга боғлиқлиги ва унинг эксхалация тезлиги лаборатория шароитида ўлчанган тупроққа нисбатан юздан кўп марта катта эканлиги исботланди.

Муаллиф томонидан олинган радиотаҳлил катталиклари “Nuclear Data for Proton Activation Analysis, Egypt-2001” қўлланмага ва ядровий реакциялар бўйича EXFOR халқаро маълумотлар базасига киритилган, ҳамда фотоядровий тажрибалар маълумотлари марказининг (CDFE) сайтида (<http://cdfe.sinp.msu.ru>) жойлаштирилган.

Радонни изли таҳлил усули билан олинган маълумотлар «Методы измерения объемной активности и скорости эксхалации радона. - Германия: LAMBERT Academic Publishing, 2013. -216 с.» ҳамда «Радон ва уни аниқлаш усуллари. – Тошкент: “Ўзбекистон”, 2015. - 200 б.» монографияларига киритилган.

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

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

ВАСИДОВ АБДИСАМАТ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ДЛЯ АКТИВАЦИОННОГО И ТРЕКОВОГО
АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИОННЫХ И БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ**

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора (DSc) технических наук

Ташкент - 2021

Тема диссертации доктора технических наук (DSc) зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2020.4.DSc/T386.

Диссертация выполнена в Институте ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан.

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 консультант:

Мухаммедов Суюн

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Солодухин Владимир Петрович

доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

Кулматов Рашид Анорович

доктор химических наук, профессор

Курбанов Бахтияр Ибрагимович

доктор технических наук,
старший научный сотрудник

Ведущая организация:

Самаркандский государственный университет

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: 100214, г. Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-18; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: 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 «___» _____ 2021 г.
(протокол 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 наук (DSc))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В настоящее время в мировой практике мощным средством решения аналитических проблем являются ядернофизические методы анализа, которые имеют большое значение в решении научно-технических и технико-экономических задач. Активационный анализ (АА) относится к основным ядерно-физическим методам обнаружения и определения содержания элементов в различных природных и техногенных материалах и объектах окружающей среды. Широкое распространение активационный анализ получил благодаря таким преимуществам перед другими методами, как низкие пределы обнаружения элементов (10^{-12} – 10^{-13} г), экспрессность и воспроизводимость, возможность неразрушающего одновременного определения в пробе 20 и более элементов. Методы активационного анализа базируются на фундаментальных понятиях и данных о структуре атомных ядер, функциях возбуждения ядерных реакций, выхода аналитических радионуклидов (РН), энергиях излучения. Функции возбуждения ядерных реакций и выход радионуклидов играют очень важную роль в АА, особенно, в активационном анализе на заряженных частицах (ААЗЧ), при определении содержания элементов абсолютным методом, определении оптимальной энергии облучения, оценке чувствительности и пределов обнаружения элементов, расчетах нарабатываемой активности радионуклидов, оценке преимущества метода перед другими методами АА.

На сегодняшний день актуальность методов активационного анализа проявляется при решении многих аналитических задач экономики, таких как: разработка инструментального нейтроноактивационного анализа (ИНАА) для исследования селективности и подвижности химических элементов в различных органах растений, при внесении в почву бактериальных удобрений с целью создания местных штаммов бактерий для повышения урожайности и восстановления обедненных земель; разработка ИНАА для исследования вариаций содержания элементов в доисторических и древних костных находках для расширения информации о зарождении и развитии жизни млекопитающих и человека на территории нашей страны; разработка инструментального протонного АА (ИПАА) для исследования элементного состава легких сплавов на основе алюминия и магния в связи с локализацией их производства.

В Республике Узбекистан в настоящее время применение трекового анализа радона с помощью ядерных твердотельных детекторов (ЯТТД) типа CR-39 является актуальным и востребованным по нескольким причинам: развита добыча и переработка урановых и фосфоритных минералов; имеется большое количество радиоактивных хвостов и отвалов, которые являются основными радиационно-дестабилизирующими факторами для окружающей среды и прилегающих к ним населенных пунктов; многие жилые дома и здания расположены в радоноопасных зонах и строительные материалы, использованные для построек домов, могут быть источниками повышенной эманации радона. Полученные результаты по разработке методик для

активационного и трекового анализа конструкционных и биоэкологических материалов, имеют большое значение и могут стать базой для развития ядерно-физических методов анализа и их применения. Направление этих прикладных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны, связаны со Стратегией¹ действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 годы.

Данная научно-исследовательская работа соответствует задачам, предусмотренным в Указе Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 7 февраля 2017 года «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг.», в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-1442 от 15 декабря 2010 года «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011-2015 гг.», № ПП-2789 от 17 февраля 2017 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетными направлениями развития науки и технологий республики: II. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии» и VII. «Науки о земле (геология, геофизика, сейсмология и переработка минерального сырья)».

Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации². Исследования по инструментальному активационному анализу на нейтронах и заряженных частицах проводятся в ведущих научных центрах мира, таких как Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна, Россия), Национальный институт стандартов и технологии, Лос Аламосская национальная лаборатория, Лаборатория радиохимии и активационного анализа, Университет Миссури (США), Научно-исследовательский центр «Курчатовский институт», Обнинский институт атомной энергетики (Россия), Институт ядерной физики Чешской академии наук (Чехия), Институт ядерной физики и химии (Китай), Институт ядерной физики САХА (Индия), Делфтский технологический университет (Нидерланды), Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан, Институт ядерной физики АН РУз (Узбекистан) и других.

В развитие трекового анализа радона в объектах окружающей среды большой вклад внесли научные центры: Школа физики и космических исследований Бирмингемского университета (Англия), Институт Йозефа Стефана (Словения), Научно-исследовательский Томский политехнический университет (Россия), Пакистанский институт инженеров и прикладных наук.

¹ Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4947 от 07 февраля 2017 г. «О Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017–2021 годы».

² Обзор зарубежной научной литературы по теме диссертации: <http://cdfc.sinp.msu.ru>, <http://www.iaea.org/books>, <http://www.saha.in>, <http://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm125> и на основе других источников.

Для исследования радона в природных и техногенных объектах широко применяются ядерные твердотельные трековые детекторы. Преимуществами ЯТТД являются их простота, возможность работы в широком диапазоне температур, в условиях больших потоков слабоионизирующих гамма и бета излучений, получение интегральной или усредненной активности радона.

В мировых ядерно-исследовательских центрах, для решения целого ряда ядерно-аналитических и прикладных задач методы активационного анализа оказались чрезвычайно полезными при определении следов микроэлементов во многих дисциплинах. В частности, методы активационного анализа нашли широкое применение в исследованиях, связанных с экологией, производством продуктов питания, охраной здоровья, геологическими и геофизическими изысканиями, а также в материаловедении. Чувствительность метода и предел обнаружения элементов в активационном анализе зависят от величины сечения активации (функция возбуждения) ядерных реакций и выхода аналитических радионуклидов. Поэтому экспериментально полученные функции возбуждения ядерных реакций и выход радионуклидов играют очень важную роль, особенно, в активационном анализе на заряженных частицах.

В настоящее время в мире методы активационного анализа используются для решения многих аналитических задач. Исследования и разработка методов проводятся по следующим приоритетным направлениям, в том числе: изучение подвижности элементов в органах культурных растений с целью повышения их урожайности и восстановления обедненных земель; определение вариации элементов в археологических костных находках для определения их возраста; определение примесных элементов в легких конструкционных материалах для создания прочных материалов, а также радономониторинг объектов окружающей среды для сохранения здоровья населения.

Степень изученности проблемы. В настоящее время в области активационного анализа большой интерес представляют исследования влияния почвы на подвижность и селективность микроэлементов в растениях. В этой области большой научный вклад внесли российские (Полынов Б.Б., Виноградов А.П., Протасова Н.А., Зволинский В.П., Батовская Е.К., и др.), польские (Kabata-Pendias A., Pendias H.), а также узбекистанские ученые (Кист А.А., Хатамов Ш.Х., Бакиев С.А., Кулматов Р.А., Мўминов Т.М., Курбанов Б.И., Данилова Е.А., Осинская Н.С.). Однако в научной литературе очень мало информации по изучению усвоения микроэлементов растениями при внесении в почву минеральных и биологических удобрений.

Согласно данным российских ученых (Антипина Е.Е., Зайчик В.Е.), кости животных и человека достаточно обильны в археологических памятниках, а зачастую являются наиболее многочисленными и долгосохраняющимися материалами на земле. Однако научные работы, посвященные исследованию вариации содержания элементов в доисторических и древних костных находках, отсутствуют. Поэтому исследование основных компонентов и других микроэлементов в костных находках может дать ценную информацию

о возрасте и зарождении жизни млекопитающих и первобытных людей на Земле.

При определении содержания легких (Li, B, C, N) и некоторых других элементов (Ti, Fe, Y, Zr и Pb) нейтронноактивационный анализ не дает удовлетворительных результатов, эту часть активационного анализа дополняет инструментальный протонно-активационный анализ. Большой вклад в развитие ИПАА внесли американские (Schweikert E.A., Tilbury R.B., Balloy N.E.) и европейские (Vandecasteele C., Chaudhri A., Debrun J.L., Qaim S.M.), японские (Nozaki T., Tanaka S., Furukawa M., Komura K.) и российские ученые (Краснов Н.Н., Дмитриев П.П., Калинин С.П., Казачевский И.О.). Особенно надо отметить работы узбекистанских ученых (Муминов В.А., Мухаммедов С.М., Хайдаров Р.А., Навалихин Л.В.), ими опубликованы справочники и монографии по активационному анализу на заряженных частицах. Однако, возможности протон активационного анализа не полностью исследованы при проведении многоэлементного анализа конструкционных материалов из-за отсутствия результатов по определению сечения активации ядерных реакций и выхода аналитических радионуклидов.

В настоящее время во многих лабораториях мира для измерения объемной активности (ОАР) и скорости эксхалации радона (СЭР) используют трековые детекторы типа CR-39, из-за положительных качеств перед другими трековыми детекторами. Исследования на CR-39 детекторах, проведенные шведскими (Akerblom G., Anderson P., Mustonen R.), словенскими (Ilic R., Durrani S.A., Vaupotic J.), американскими (Fleisher R.L., Hart H.R., Morgo-Campero A.), индийскими (Singh S., Malhotra R., Kumar J.), российскими (Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Николаев В.А.), пакистанскими (Said Rahman, Al-Jarallah M.I., Abu-Jarad F., Fazal-ur-Rahman.) учеными показали, что наблюдаются высокие уровни радона в обычных домах, представляющие опасность для здоровья резидентов. Эти результаты привели к широкому спектру мероприятий и интенсивным исследованиям, направленным на ограничение воздействия радона на человека. Однако, в Узбекистане не были проведены измерения уровни радона методами трекового анализа. Поэтому нет тщательного и всестороннего исследования распределения радона в жилых и рабочих помещениях, урановых отвалах и близлежащих населенных пунктах. Не определены эксхалация радона с поверхности строительных материалов, стен помещения и почв.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках научных проектов Института ядерной физики Академии наук Республики Узбекистан по темам: №01.200009706 «Разработка ядерно-физических методов локального анализа объектов природной среды» (2000-2002); №01.200009709 «Разработка метода измерения радона с помощью ядерных твердотельных детекторов» (2000-2002); П-4.11 «Разработка ядерно-физических методик анализа для датирования геологических и

археологических образцов» (2003-2005); П-13.91 «Разработка методики измерения уровня радона в помещениях жилых и промышленных комплексов с применением твердотельных трековых детекторов» (2003-2005); №А-7.188 «Методическое обоснование создания радиоэкологического паспорта Ташкентской области с использованием ядерно-физических аналитических методов» (2006-2008); ФА-Атех-2018 «Разработка импортозамещающей системы опреснения воды, методов определения радона в природных и техногенных источниках воды и системы радиационного мониторинга качества питьевой воды в Республики Узбекистан» (2018-2020), а также международного гранта НАТО № 981742 «Legacy of uranium extraction and environmental security in the Central Asian Republics of Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan and Uzbekistan» (2005-2007).

Целью исследования является разработка методик активационного и трекового анализа для повышения эффективности определения концентраций химических и радиоактивных элементов в органах растений, костных находках, конструкционных материалах и объектах окружающей среды.

Задачи исследования:

определение функций возбуждения ядерных реакций и выходов радионуклидов, необходимых для развития протонного активационного анализа;

разработка высокочувствительных методик инструментального нейтронно и протонно активационного анализа, пригодных для исследования элементного состава:

различных органов хлопчатника и сахарной свеклы для изучения подвижности микроэлементов в процессе роста и созревания при внесении в почву минеральных и биологических удобрений в виде штаммов фосформобилизующих бактерий;

доисторических и древних костных останков животных и первобытных людей для определения антропологической ценности этих находок для нашей страны;

конструкционных материалов на основе алюминия и магния в связи с локализацией их производства из лома и отходов;

разработка методик трекового анализа объемной активности и скорости эксхалляции радона с использованием ядерных твердотельных трековых детекторов типа CR-39, позволяющих изучать уровни радона в жилых и рабочих помещениях, на территориях урановых отвалов и прилегающих к ним населенных пунктах, скорости эксхалляции радона из различных строительных материалов, горных пород и почв Ташкентской области.

Объектом исследования являются образцы почвы, культурных растений, костных находок, конструкционные материалы на основе алюминия и магния, радиоактивный и инертный газ радона-222.

Предметом исследования являются функция возбуждения ядерных реакций и выход радионуклидов, образующихся при облучении заряженными частицами, содержание и распределение химических элементов в органах

растений, вариация химических элементов в доисторических и древних костях, содержания элементов в алюминиевых и магниевых сплавах, объемная активность и скорость эксхалляции радона.

Методы исследования. Использованы методы экспериментальной аналитической ядерной физики, основанные на гамма-спектрометрическом методе измерения наведенной активности радионуклидов, образующихся после облучения тепловыми нейтронами ядерного реактора и заряженными частицами циклотрона, а также методика регистрации альфа-частиц радона на трековом детекторе CR-39 с последующим подсчетом альфа треков на оптической установке.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

определены функции возбуждения идущих под действием протонов 14 ядерных реакций на $^{66,67}\text{Zn}$, ^{86}Sr , $^{117,120,122}\text{Sn}$, $^{121,123}\text{Sb}$, ^{103}Rh , ^{133}Cs , $^{134,136}\text{Ba}$ и $^{204,206}\text{Pb}$, измерены и рассчитаны 76 выходов радионуклидов, образующихся в ядерных реакциях с протонами и дейтронами;

определены функция возбуждения и выход ядерной реакции $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ от порога до 16 МэВ и установлено, что измерение рентгеновского излучения 21 кэВ (70%) от ^{103}Pd повышает предел определения родия в 250 раз по сравнению с регистрацией γ -кванта 350 кэВ (0.03%);

разработана методика инструментального нейтронно-активационного анализа и определены содержания более 20 элементов в различных органах хлопчатника и сахарной свеклы в процессе роста и созревания при внесении в питающую среду биологических штаммов фосфат – бактерий и оценены коэффициенты биологического поглощения тяжелых микроэлементов Cr, Zn, Cu, Sr и Ba;

разработана методика инструментального протонно-активационного анализа сплавов алюминия и магния и показано ее преимущество при анализе содержания таких элементов, как Li, B, C, N, O, Ni, Y, Zr, Nb и Pb по сравнению с другими методами активационного анализа;

разработан новый способ определения концентрации радона-222 в воде трековыми детекторами CR-39, позволяющий сократить погрешность анализа и уменьшить время экспозиции в 3-6 раз;

создан трехкамерный регистратор радона для определения скорости эксхалляции радона с поверхности почв в полевых условиях и доказано, что величина эксхалляции радона имеет сезонный характер и в сотни раз больше, чем в лабораторных условиях.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

показано образование элементов ядерного деления с высокой концентрацией до 3000 мг/кг в доисторических костях методом инструментального нейтронно-активационного анализа;

методом инструментального нейтронно-активационного анализа обнаружена корреляционная зависимость между возрастом и концентрацией урана-238 в доисторических и древних костных находках;

методом трекового анализа доказано, что большинство жителей Узбекистана получают годовую эффективную дозу больше, чем 1 мЗв, только от радона и его дочерних продуктов.

Достоверность результатов исследования обосновывается использованием современных методов и средств измерений при регистрации наведенной активности, исследуемых образцов и эталонов из коллекции международных стандартов, сходных по химическому составу и физическим свойствам с анализируемыми пробами, сравнением полученных значений функций возбуждения ядерных реакций и выхода радионуклидов, а также результатов объемной активности и скорости эксхалация радона с аналогичными данными отечественных и зарубежных авторов.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что полученные результаты по функциям возбуждения ядерных реакций и выход радионуклидов на средних энергиях заряженных частиц пополнили мировую прикладную базу ядерно-физических данных, а также внесли большой вклад при разработке методик инструментального протонного и нейтронного активационного анализа конструкционных и биоэкологических материалов.

Практическая значимость заключается в получении и внедрении результатов исследования подвижности химических элементов в различных органах хлопчатника и свеклы для создания нового штамма *Bacillus* местной бактерии; разработке трехкамерного регистратора радона для определения скорости эксхалации радона из почв в полевых условиях.

Внедрение результатов исследований. На основе полученных результатов по разработке методик для активационного и трекового анализа конструкционных и биоэкологических материалов:

результаты определения функции возбуждения идущих под действием протонов 14 ядерных реакций, и выходы 76 радионуклидов, образующихся по ядерным реакциям с протонами и дейтронами были использованы при производстве целевых радиоизотопов для нужд Республики Узбекистан и зарубежных организаций (Письмо ООО “Тезлатгич” № 012/1 от 28.01.2021). Использование научных результатов позволило значительно повысить эффективность получения радиоактивных изотопов и экспрестность проведения активационного анализа на заряженных частицах;

результаты по определению функции возбуждения и выход ядерной реакции $^{103}\text{Rh}(p,n)^{103}\text{Pd}$, а также установленный факт, что использование рентгеновского излучения ^{103}Pd повышает предел определения родия в 250 раз, чем при регистрации γ -кванта, были использованы на ООО «Тезлатгич» при разработке технологии получения радиоизотопа палладия-103 (Письмо ООО “Тезлатгич” № 012/1 от 28.01.2021). Использование результатов позволило разработать способ получения Pd-103 без носителя и держатель для мишени, патент РУз № 5940, 1999;

разработанная методика инструментального нейтронного активационного анализа и результаты содержания микроэлементов в

различных органах хлопчатника и сахарной свеклы были использованы в Институте микробиологии АН РУз в рамках прикладного проекта П-11.1.31. «Восстановление эффективного плодородия почв и повышение урожайности сельскохозяйственных культур» (2003-2005) и международного проекта UB ARS 17 «Разработка биологических и агротехнических методов возделывания хлопчатника с целью получения экологически чистого урожая хлопка-сырца» (2003-2005) (Письмо Академии наук Республики Узбекистан №4/1255-2646 от 26.11.2020 г.). Использование результатов позволило повысить урожайность хлопчатника на 7-10 ц/га и сахарной свеклы на 45 т/га;

разработанная методика протонно-активационного анализа конструктивных материалов была использована на циклотроне У-150 при элементном анализе состава различных материалов (Письмо ООО “Тезлатгич” № 012/1 от 28.01.2021). Использование методики позволило осуществлять контроль элементного состава различных сплавов;

разработанный новый способ определения концентрации радона-222 в воде трековыми детекторами CR-39 зарегистрирован в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (Патент № IAP 20180196, 30.09.2020) и использован в Ташкентском институте усовершенствования врачей МЗ РУз (Письмо Министерства здравоохранения РУз №78/1597 от 04.09.2020г.). Использование разработки позволило обновить информацию о санитарных нормах, правилах и гигиенических нормах;

созданный трехкамерный регистратор радона и результаты по определению объемной активности и скорости эксхалиции радона были использованы в Ташкентском институте усовершенствования врачей МЗ РУз при разработке СанПиН №0193-06 в 2006 году (Письмо Министерства здравоохранения РУз №78/1597 от 04.09.2020г.). Использование результатов позволило оценить годовую эффективную дозу радона для населения и пересмотреть нормативные допуски по концентрации радона в воздухе для новостроящихся (100 Бк/м^3) и эксплуатируемых зданий (200 Бк/м^3).

Апробация результатов исследования. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 24 Международных и республиканских конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликованы 40 научных работ, из них 3 монографии, 1 патент, 9 статей в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из которых 6 в зарубежных научных журналах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 190 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, цель и задачи исследования, характеризуются объект и предмет исследования, 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, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе **«Состояние использования базовых ядерных установок в решении ядерно-аналитических задач»** исследовано состояние использования базовых ядерных установок и приборов в решении проблем, связанных с активационными и трековыми анализами при определении содержания химических элементов и измерении уровня радона в объектах окружающей среды. По результатам проведенного обзора делаются необходимые выводы и постановка задачи.

Во второй главе диссертации **«Техника эксперимента, объекты и методы исследования»** дается описание методики проведения экспериментов на циклотроне У-150, ядерном реакторе ВВР-СМ ИЯФ АН РУз и применении детекторов CR-39 для проведения измерения ОАР в воздухе помещений и СЭР с поверхности строительных и природных материалов.

Техника проведения экспериментов на циклотроне. Для облучения образцов использовали две камеры облучения. При измерении функции возбуждения ядерных реакций и выхода РН, а также при определении содержания элементов по короткоживущим (10-1000 с) радионуклидам, использовали специальную камеру облучения, оснащенную пневмопочтой.

Для долгоживущих ($T_{1/2} > 20$ мин) радионуклидов облучение проводили в вакуумной камере, с одновременным охлаждением облучаемого материала.

Функции возбуждения ядерных реакций измеряли методом активации. В качестве мишеней использовали химические соединения исследуемых элементов марки ч.д.а., которые на поверхности алюминиевой фольги толщиной 2.6 и 7.8 мг/см² склеивали липкой суспензией полистирола, растворенного в дихлорэтане. При измерениях функции возбуждения некоторых реакций использовали стандартные фольги. Готовые образцы в зависимости от периода полураспада исследуемого радионуклида облучали по одному или несколько штук сразу, упаковав их в стопку.

Измерение наведенных гамма активностей радионуклидов осуществляли на Ge(Li) и HPGe детекторах с энергетическими разрешениями 4.5 кэВ и 1.8 кэВ по линии ⁶⁰Co 1332 кэВ.

Техника проведения экспериментов на ядерном реакторе. Подготовка и облучение образцов на атомном реакторе ВВР-СМ осуществлялась следующим образом. При подготовке образцов различных органов

хлопчатника и сахарной свеклы к анализу использовали метод сушки их обычным воздухом в чистой изолированной среде. Перед сушкой органы растений ополаскивали дистиллированной водой и протирали фильтровальной бумагой. Такой способ предварительной обработки образцов не приводит к существенным потерям элементов.

В качестве эталона использовали стандарты из коллекции Национального Института стандартов и технологии США, а именно, стандарты листьев цитруса (SRM-1572) и сосны (SRM-1575) с известными содержаниями микро и макро элементов. Облучение образцов проводили на ядерном реакторе ВВР-СМ ИЯФ АН РУз, в потоке тепловых нейтронов $(3-5) \cdot 10^{13} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$.

Техника измерения радона. В настоящее время существуют различные приборы и методики измерения естественной радиоактивности радона, основанные на активных и пассивных принципах регистрации излучения. К активным методом измерения концентрация радона и их ДПР относят электронные методы, где происходит возмущение радоновой среды. Пассивные детекторы применяются как интегрирующие детекторы радона, и они удобны для определения уровня радона, усредненного в течение длительного времени. Именно длительные измерения имеют прямое отношение к интегральной и средней дозе облучения, получаемой человеком от радона. Поэтому для измерения альфа излучения радона и ДПР использовали трековый детектор типа CR-39.

Использованы готовые пластиковые стаканы с объемами 140 см^3 ($\varnothing = 6.0 \text{ см}$ и $h = 7 \text{ см}$) и 280 см^3 ($\varnothing = 5.3 \text{ см}$ и $h = 13 \text{ см}$), CR-39 детекторы установлены в верхней части камер. Первая камера предназначена для измерения ОАР (см. рис. 1.) в помещениях, а вторая - для определения СЭР (см. рис. 2а.) с поверхности разных материалов в лабораторных условиях. Входная часть камер была закрыта бумажными фильтрами для предотвращения воздушных аэрозолей и эффекта осаждения ДПР на поверхность детектора. При измерении ОАР и СЭР время экспозиции детекторов составляло 30-45 дней.

Для измерения СЭР из почв в полевых условиях был создан трехкамерный регистратор радона. На рисунке 2б показан схематический вид трехкамерного регистратора (камеры регистратора - рис.2б - 1, 2, 3) радона-222 для определения СЭР с поверхности почв в полевых условиях. Трехкамерный регистратор радона представляет собой три вставленные друг в друга пластиковые камеры с детекторами CR-39 (Д1÷Д3); входные плоскости камер закрыты бумажными фильтрами. Камеры имеют цилиндрическую форму ($\varnothing = 9; 8 \text{ и } 7 \text{ см}$; и $h = 20; 15 \text{ и } 10 \text{ см}$), входные плоскости камер установлены в противоположных направлениях для создания искусственных барьеров на пути ^{220}Rn .

Принцип работы камер таков: детектор Д1 в первой камере регистрирует одновременно обе частицы ^{222}Rn и ^{220}Rn ; Д2, закрепленный в нижней части камеры 2, регистрирует только ^{222}Rn и их ДПР, т.к. ^{220}Rn ($T_{1/2} = 56 \text{ с}$) и его ДПР распадаются, не достигнув детектора Д2. Детектор Д3 в камере 3 установлен для дополнительного контроля.

Для подсчета латентных треков альфа-частиц после экспозиции детекторы CR-39 протравливали в растворе щелочи NaOH (молярной концентрации 6М) в течение 6-8 часов при температуре 70°C. Подсчет треков из CR-39 производили с экрана монитора, связанного с микроскопом через телекамеры.

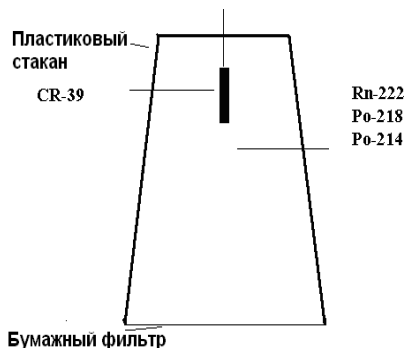


Рис. 1. Схематический вид измерительной камеры для измерения ОАР в помещениях

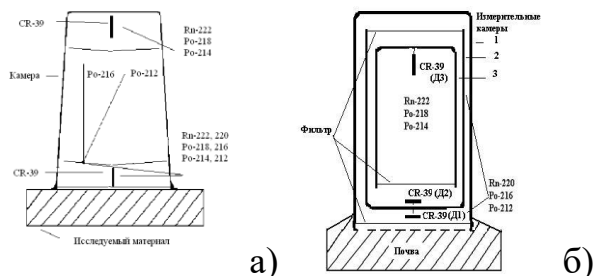


Рис. 2. Схематический вид измерительных камер для определения СЭР в а) лабораторных и б) полевых условиях

В третьей главе диссертации «Измерение функции возбуждения реакций и выход радионуклидов» приводятся результаты исследования, полученные с применением циклотрона, которые необходимы в протонном и дейтронном активационном анализе.

Как известно, наиболее важными ядерно-физическими характеристиками реакций с заряженными частицами, используемыми в решении ядерно-аналитических задач, являются их функция возбуждения и выходы РН. Величину сечения активации ядерных реакций на ускоренных протонах определяли методом стопки тонких фольг, используя формулу:

$$\sigma = [s \cdot \exp(\lambda t_{охл}) k \cdot M_x] / \{t_{изм} \cdot \alpha_\gamma \cdot i_\gamma \cdot 6.25 \cdot 10^{12} \cdot I \cdot \rho \Delta x \cdot f \cdot \theta \cdot N_A [1 - \exp(-\lambda t_{обл})]\} \quad (1)$$

где σ – сечение активации при энергии протонов E_p , см²; s – площадь фотопика, имп; k – поправка на геометрию измерения; M_x – массовое число изотопа; $t_{обл}$ и $t_{охл}$, $t_{изм}$ – время облучения и охлаждения, измерения радиоактивности, соответственно, сек; α_γ – эффективность регистрации детектора; i_γ – интенсивность γ -кванта; $\rho \Delta x = m_0/d$, поверхностная плотность образца, мг/см²; m_0 – вес образца, мг; d – активируемая площадь образца, см²; f – весовая доля примеси в образце, г/г; θ – распространенность нуклида на природе; N_A – число Авогадро.

Измерены 22 функции возбуждения по (p, n) реакциям, для 14 ядер ^{79,81}Br, ^{66,67}Zn, ⁸⁶Sr, ^{117,120,122}Sn, ^{121,123}Sb, ¹⁰³Rh, ¹³³Cs, ^{134,136}Ba и ^{204,206}Pb были измерены впервые, а для остальных эти данные уточнены.

Все данные, полученные по функциям возбуждения ядерных реакций, приведены в Приложении 1 данной диссертации, а также использованы для вычисления значения выходов радионуклидов.

Экспериментально измеренный выход радионуклида находится по формуле:

$$Y(\text{Бк/мкА}\cdot\text{ч}) = [s \cdot \exp(\lambda t_{\text{охл}}) k \cdot \lambda] / \{t_{\text{изм}} \cdot \alpha_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot I[(1 - \exp(-\lambda t_{\text{обл}}))]\} \quad (2)$$

В результате измерены и рассчитаны выходы более 100 радионуклидов, образующихся по ядерным реакциям с протонами и дейтронами.

В таблицах 1 и 2 приведены выходы короткоживущих и долгоживущих радионуклидов, образующихся ускоренными протонами циклотрона У-150 ИЯФ АН РУз.

Таблица 1

Выходы короткоживущих радионуклидов (Y, ·10ⁿ Бк/мкА)

Ядерные реакции	Энергия протонов, в МэВ						
	7	8	9	10	11	12	n
¹⁰ B(p, n) ¹⁰ C	-	1.6	3.3	6.3	9.8	15.2	6
¹³ C(p, n) ¹³ N	1.3	1.7	2.0	2.1	2.3	2.5	8
¹⁴ N(p, α) ¹¹ C	3.6	8.8	12.8	17.0	20.5	25	8
¹⁴ N(p, n) ¹⁴ O	-	0.4	0.8	1.4	1.9	2.9	9
¹⁶ O(p, α) ¹³ N	0.24	0.48	0.7	0.9	1.1	1.3	9
²³ Na(p, n) ²³ Mg	0.33	0.46	0.7	1.1	1.4	1.9	9
⁶⁴ Zn(p, n) ⁶⁴ Ga	-	-	-	4.8	9.3	15.1	7
⁸⁰ Se(p, n) ⁸⁰ Br	1.9	2.5	3.1	3.6	4.0	4.4	9
⁷⁹ Br(p, n) ^{79m} Kr	0.5	0.93	1.5	2.2	3.2	4.4	8
⁸¹ Br(p, n) ^{81m} Kr	0.9	3.2	7.1	12.0	16.9	22.6	7
⁸⁹ Y(p, n) ^{89m} Zr	-	0.80	1.8	3.0	4.4	5.9	8
⁹⁰ Zr(p, n) ^{90m} Nb	-	-	2.2	5.3	9.6	-	7
⁹² Mo(p, n) ⁹² Tc	-	-	-	0.6	30.9	70.1	8
¹⁰⁰ Mo(p, n) ¹⁰⁰ Tc	0.83	1.5	2.6	3.9	5.6	7.2	8
¹¹² Cd(p, n) ¹¹² In	-	1.5	3.3	5.2	7.3	9.4	8
¹¹⁶ Sn(p, n) ¹¹⁶ Sb	1.1	1.9	2.8	4.0	4.7	6.7	7
¹¹⁸ Sn(p, n) ¹¹⁸ Sb	-	9.8	14.0	18.6	24.0	29.0	6
¹²⁰ Sn(p, n) ¹²⁰ Sb	-	3.4	5.4	7.4	8.7	10.7	8
¹³⁴ Ba(p, n) ¹³⁴ La	-	0.14	0.34	0.64	1.2	2.1	6
¹³⁶ Ba(p, n) ¹³⁶ La	-	0.5	1.2	2.0	4.4	8.5	7
¹³⁹ La(p, n) ^{139m} Ce	-	1.0	2.4	4.6	8.4	13.7	7
¹⁴¹ Pr(p, n) ^{141m} Nd	-	-	0.02	1.9	2.7	8.2	7
¹⁴² Nd(p, n) ¹⁴² Pm	-	0.3	0.9	1.8	3.6	6.1	7
¹⁸⁰ W(p, n) ¹⁸⁰ Re	-	-	-	0.6	2.0	4.8	6

Как видно из таблицы 1, при E_p = 12 МэВ для C, N, O, Na, Se, Br, Y, Mo, Cd значение выходов радионуклидов достигает (0.25–4.4)10⁹ Бк/мкА, для B, Zr, Zn, Sn, Pr (1.5–107)10⁷ Бк/мкА, а для остальных 2·10⁶ Бк/мкА.

Из данных таблицы 2 очевидно, что при E_p=12 МэВ высокие выходы, равные (0.2–5.3)10⁹ Бк/мкА·ч, достигаются для радионуклидов ⁴⁵Ti, ^{52m}Mn,

^{60}Cu и ^{63}Zn . Выходы радионуклидов, образующихся от S, O, Ca, Zn, Ga, Ge, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr и Mo, находятся в пределах 10^7 – $2 \cdot 10^8$ Бк/мкА·ч. Сравнительно низкие выходы имеют радионуклиды ^7Be , ^{48}V , ^{51}Cr , ^{52}Mn , ^{56}Co , ^{65}Zn , ^{67}Ga (3 – 60) 10^5 Бк/мкА·ч. Выходы для ^{110}In , ^{128}I , ^{141}Nd , ^{107}Cd имеют значения - (2.4 – 7.8) 10^8 Бк/мкА·ч; для $^{110\text{m}}$, ^{111}In , ^{117}Sb , ^{121}Te , ^{130}I , ^{127}Xe , $^{133\text{m}}\text{Ba}$, ^{142}Pr , $^{182\text{m}}\text{Re}$ - (0.2 – 7) 10^7 Бк/мкА·ч. Выходы для La, Au, Pb, Th составляют (0.43 – 4.8) 10^5 Бк/мкА·ч.

Таблица 2

Выходы средне- и долгоживущих радионуклидов ($Y \cdot 10^n \cdot \text{Бк/мкА} \cdot \text{ст}$)

Ядерные реакции	Энергия протонов, МэВ						
	7	8	9	10	11	12	n
$^7\text{Li}(p, n)^7\text{Be}$	4.8	6.2	7.3	8.1	8.5	8.7	6
$^{10}\text{B}(p, \alpha)^7\text{Be}$	0.63	0.72	0.82	0.93	1.10	1.2	6
$^{18}\text{O}(p, n)^{18}\text{F}$	3.8	4.6	5.4	6.1	6.7	7.3	6
$^{34}\text{S}(p, n)^{34\text{m}}\text{Cl}$	0.83	1.7	2.4	2.8	3.5	4.2	7
$^{44}\text{Ca}(p, n)^{44}\text{Sc}$	-	-	0.4	1.0	2.0	3.4	7
$^{45}\text{Sc}(p, n)^{45}\text{Ti}$	0.2	0.44	0.7	1.0	1.3	1.6	8
$^{48}\text{Ti}(p, n)^{48}\text{V}$	1.0	2.0	3.2	4.5	6.0	7.4	6
$^{51}\text{V}(p, n)^{51}\text{Cr}$	1.3	2.0	2.8	3.9	5.1	6.4	6
$^{52}\text{Cr}(p, n)^{52}\text{Mn}$	0.11	0.53	1.1	1.9	2.9	4.3	6
$^{52}\text{Cr}(p, n)^{52\text{m}}\text{Mn}$	0.3	0.85	1.6	2.2	3.3	4.6	9
$^{56}\text{Fe}(p, n)^{56}\text{Co}$	0.5	1.5	2.8	4.7	7.6	11	5
$^{60}\text{Ni}(p, n)^{60}\text{Cu}$	0.45	1.0	2.0	3.6	6.5	10.7	8
$^{63}\text{Cu}(p, n)^{63}\text{Zn}$	0.37	0.99	1.7	2.6	3.9	5.3	9
$^{65}\text{Cu}(p, n)^{65}\text{Zn}$	0.46	0.8	1.1	1.6	2.2	3.0	5
$^{66}\text{Zn}(p, n)^{66}\text{Ga}$	0.22	2.3	2.8	5.3	8.8	12.8	7
$^{67}\text{Zn}(p, n)^{67}\text{Ga}$	0.28	0.51	0.81	1.3	2.0	2.7	6
$^{69}\text{Ga}(p, n)^{69}\text{Ge}$	-	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0	7
$^{70}\text{Ge}(p, n)^{70}\text{As}$	-	2.2	4.3	7.3	10.9	15.6	7
$^{82}\text{Se}(p, n)^{82}\text{Br}$	1.7	2.1	3.9	5.3	7.0	8.7	6
$^{79}\text{Br}(p, n)^{79}\text{Kr}$	0.61	0.96	1.44	2.0	2.7	3.1	7
$^{87}\text{Rb}(p, n)^{87\text{m}}\text{Sr}$	0.39	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	8
$^{86}\text{Sr}(p, n)^{86}\text{Y}$	-	-	0.7	1.9	4.3	7.1	6
$^{86}\text{Sr}(p, n)^{86\text{m}}\text{Y}$	-	0.1	0.33	0.73	1.6	2.4	7
$^{89}\text{Y}(p, n)^{89}\text{Zr}$	0.3	0.6	1.1	2.5	3.2	4.5	7
$^{90}\text{Zr}(p, n)^{90}\text{Nb}$	-	1.6	2.1	3.4	5.7	11.1	7
$^{95}\text{Mo}(p, n)^{95}\text{Tc}$	2.6	4.5	7.3	11.7	16.8	20	6
$^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$	0.47	1.2	2.3	3.8	5.2	6.3	6
$^{107}\text{Ag}(p, n)^{107}\text{Cd}$	1.3	3.1	5.6	9.4	15.2	21.5	7
$^{110}\text{Cd}(p, n)^{110\text{m}}\text{Jn}$	-	1.3	3.8	7.2	11.0	15.4	6
$^{110}\text{Cd}(p, n)^{110}\text{In}$	0.2	0.5	1.0	1.6	2.7	4.2	8
$^{111}\text{Cd}(p, n)^{111}\text{In}$	-	0.8	1.8	3.1	4.2	6.0	6
$^{113}\text{Cd}(p, n)^{113\text{m}}\text{In}$	0.7	1.0	1.5	2.1	2.9	3.6	7

$^{116}\text{Cd}(\text{p}, \text{n})^{116\text{m1}}\text{In}$	0.4	1.0	1.9	3.2	4.5	5.6	7
$^{117}\text{Sn}(\text{p}, \text{n})^{117}\text{Sb}$	0.4	1.1	1.9	3.1	4.8	7.0	7
$^{120}\text{Sn}(\text{p}, \text{n})^{120\text{m}}\text{Sb}$	0.2	0.6	1.0	1.4	2.0	2.6	6
$^{122}\text{Sn}(\text{p}, \text{n})^{122}\text{Sb}$	0.2	0.5	0.8	1.1	1.6	2.1	6
$^{121}\text{Sb}(\text{p}, \text{n})^{121}\text{Te}$	0.4	1.1	2.4	4.2	7.5	-	4
$^{121}\text{Sb}(\text{p}, \text{n})^{121\text{m}}\text{Te}$	0.4	1.3	3.0	5.9	10.0	-	5
$^{123}\text{Sb}(\text{p}, \text{n})^{123\text{m}}\text{Te}$	0.5	1.5	2.8	4.5	7.4	-	4
$^{128}\text{Te}(\text{p}, \text{n})^{128}\text{I}$	0.2	0.4	0.9	1.2	1.8	2.4	8
$^{130}\text{Te}(\text{p}, \text{n})^{130}\text{I}$	0.4	0.6	0.8	1.1	1.4	1.8	7
$^{127}\text{I}(\text{p}, \text{n})^{127}\text{Xe}$	0.8	2.3	4.9	8.9	13.4	19.1	5
$^{133}\text{Cs}(\text{p}, \text{n})^{133\text{m}}\text{Ba}$	0.65	1.6	3.1	5.3	10.0	15.7	6
$^{139}\text{La}(\text{p}, \text{n})^{139}\text{Ce}$	-	0.15	0.45	1.0	1.7	2.5	5
$^{142}\text{Ce}(\text{p}, \text{n})^{142}\text{Pr}$	0,2	0.5	1.0	1.5	1.7	1.9	6
$^{141}\text{Pr}(\text{p}, \text{n})^{141}\text{Nd}$	-	-	0.4	2.4	4.7	7.8	8
$^{151}\text{Eu}(\text{p}, \text{n})^{151}\text{Gd}$	-	-	2.5	5.4	8.3	12.5	4
$^{153}\text{Eu}(\text{p}, \text{n})^{153}\text{Gd}$	-	0.8	1.4	2.2	3.3	4.3	4
$^{181}\text{Ta}(\text{p}, \text{n})^{181}\text{W}$	-	0.7	2.0	3.8	5.7	8.4	4
$^{182}\text{W}(\text{p}, \text{n})^{182\text{m}}\text{Re}$	1,0	3.0	5.0	8.3	12.4	19.7	6
$^{197}\text{Au}(\text{p}, \text{n})^{197}\text{Hg}$	-	-	0.1	0.6	1.4	4.1	4
$^{204}\text{Pb}(\text{p}, \text{n})^{204}\text{Bi}$	-	0.6	2.2	5.8	11.9	20.8	4
$^{206}\text{Pb}(\text{p}, \text{n})^{206}\text{Bi}$	0.06	0.3	0.7	1.5	2.9	4.8	5
$^{232}\text{Th}(\text{p}, \text{n})^{232}\text{Pa}$	-	-	-	1.0	1.6	2.4	5

Для 76 ядерных реакций выходы РН были определены впервые. К ним относятся короткоживущие ^{10}C , ^{23}Mg , ^{80}Br , $^{79\text{m},81\text{m}}\text{Kr}$, $^{89\text{m}}\text{Zr}$, $^{90\text{m}}\text{Nb}$, ^{100}Tc , ^{112}In , $^{116,118,120}\text{Sb}$, $^{134,136}\text{La}$, $^{139\text{m}}\text{Ce}$, $^{141\text{m}}\text{Nd}$, ^{142}Pm , ^{180}Re и долгоживущие радионуклиды ^7Be , ^{45}Ti , $^{55,56}\text{Co}$, $^{66,67,69}\text{Ga}$, $^{69,72}\text{Ge}$, $^{70,76}\text{As}$, $^{80\text{m},82}\text{Br}$, ^{79}Kr , $^{86,86\text{m},87,87\text{m},89,90\text{m}}\text{Y}$, $^{89,95,97}\text{Zr}$, $^{90,95,96,97}\text{Nb}$, ^{103}Pd , ^{115}Cd , $^{110,110\text{m},111,113\text{m},115\text{m},116\text{m}}\text{In}$, $^{117,118\text{m},120\text{m},122}\text{Sb}$, $^{121,121\text{m},123\text{m}}\text{Te}$, $^{126,128,130,131}\text{I}$, $^{134\text{m}}\text{Cs}$, $^{133\text{m}}\text{Ba}$, ^{139}Ce , ^{142}Pr , ^{141}Nd , $^{151,153}\text{Gd}$, ^{182}Ta , ^{181}W , $^{182\text{m},186,188}\text{Re}$, и $^{204,206}\text{Bi}$. Среднеквадратичные ошибки измерения функции возбуждения и выход радионуклидов находятся в пределах 12-15%.

Оценка предела обнаружения родия по рентгеновскому излучению.

Для оценки предела обнаружения родия нами были измерены функция возбуждения и выход радионуклида по реакции $^{103}\text{Rh}(\text{p}, \text{n})^{103}\text{Pd}$ при $E_p=16$ МэВ. При облучении Rh протонами образуется долгоживущий ($T_{1/2}=17$ сут) ^{103}Pd . При распаде ^{103}Pd и $^{103\text{m}}\text{Rh}$ испускают К-серию (21 кэВ) родия, квантовый выход на один распад ^{103}Pd составляет 77.4%, а другая гамма линия 357.6 кэВ очень слабая и составляет 0.029%. Поэтому, для определения содержания родия выгодно проводить анализ по рентгеновскому излучению ^{103}Pd .

На рисунке 3 приведены экспериментально полученные значения сечений ядерной реакции $^{103}\text{Rh}(\text{p}, \text{n})^{103}\text{Pd}$.

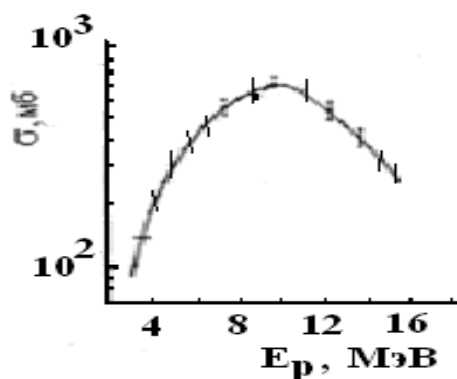


Рис. 3. Функция возбуждения ядерной реакции $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$

Предел обнаружения (η) родия (при этом предполагалось, что основа и сопутствующие элементы не влияют на анализ) находили по формуле:

$$\eta = A_{\min} \lambda R_x / R_m I Y (1 - e^{-\lambda t_{\text{обл}}}) \quad (3)$$

где $A_{\min} = s_{\min} / t_{\text{наб}} \cdot \alpha_{\text{эфф}} \cdot i_\gamma$; $s_{\min} = 3 \cdot (s_{\text{фон}})^{1/2} / t_{\text{наб}}$ (для радионуклидов с $T_{1/2} = 17$ д, $s_{\min} = 1.5$ имп/с); $i_\gamma = 77.4\%$ для 21 и 0.029% для 356.7 кэВ.

Параметры облучения: $t_{\text{обл}} = 1$ ч, $I_p = 10$ мкА, $E_p = 16$ МэВ, $t_{\text{наб}} = 100$ мин, $R_x = R_m$, $Y_p = 8 \cdot 10^6$ Бк/мкА·ч. Значения эффективности регистрации γ -кванта и рентгеновского излучения были экспериментально определены для детекторов HPGe и Si(Li), равными $\alpha_{\text{эфф}} = 0.8\%$ для линии 21 кэВ и 8% для 356.7 кэВ. Расчеты показали, что пределы обнаружения родия составили $2.2 \cdot 10^{-6}$ и $5.8 \cdot 10^{-4}$ г/г для линии 21 кэВ и 356.7 кэВ, соответственно.

Таким образом, предел обнаружения родия при использовании X-излучения на 250 раз выше, чем при регистрации γ -кванта ^{103}Pd .

В Приложении 2 диссертации представлены наши данные выхода радионуклидов, в виде кривых в зависимости от энергии протонов и дейтронов, взятых из сайта CDFE (the centre for the defense of free enterprise).

В четвертой главе диссертации «**Разработка ядерно-физических методов анализа и применение их в решении прикладных задач**» разработаны ряд инструментальных активационных методик анализа, пригодных в исследованиях по агробиологии, антропологии и конструктивных материалов с применением ядерного реактора ВВР-СМ и циклотрона ИЯФ АН РУз.

Применение ИНАА в биологических исследованиях. Постоянное внесение в почву фосфатных удобрений приводит к некоторым структурным и химическим изменениям свойств фосфатов, в результате удобрения становятся нерастворимыми, а питательная среда неэффективной. С целью изучения влияния таких почв на вегетативные свойства растений на примере хлопчатника и сахарной свеклы провели опыты на контрольных и опытных полях совместно с институтом микробиологии (ИМБ) АН РУз.

На опытных полях в почву вносили минеральные и биологические удобрения в виде штаммов фосфат-бактерий, способных преобразовать фосфатные группы из нерастворимых в растворимые соединения.

Сотрудники ИМБ АН РУз исследовали влияние минеральных и биологических удобрений на динамику роста и развития исследуемых растений. Мы изучали освоение растениями микроэлементов из почвы в процессе роста хлопчатника и сахарной свеклы: 1 фаза - появление всходов, 2- рост и цветение, 3 – созревание.

В работе показано, что так называемый «механизм исключения» в органах растений работает избирательно для таких элементов, как Sr, Cu и Mn. Довольно высокая подвижность Sr и Ba, являющихся антропогенными загрязнителями, наблюдалась как в хлопчатнике, так и сахарной свекле, в периоды роста и цветения. Например, при росте хлопчатника содержание Sr достигает максимума (от 146 до 478 мг/кг) при его концентрации в почве равной 376–634 мг/кг, а при созревании уменьшается до 20 мг/кг.

По результатам анализа почв и органов хлопчатника и сахарной свеклы были вычислены коэффициенты биологического поглощения (КБП) элементов по следующему соотношению:

$$КБП = [M_p] / [M_s] \quad (3)$$

где $[M_p]$ - концентрация элемента в растении, а $[M_s]$ - его концентрация в почве.

С помощью КБП можно оценить интенсивность поглощения и степень подвижности элементов. В результате показано, что КБП для сахарной свеклы по многим элементам практически выше, чем для хлопчатника. Например, КБП для Zn, Ba и Cs - 1.5; для Sc, Br и Au - 3; для Cu, Mn, Rb - 4–6 раз выше.

Применение ИНАА в антропологических исследованиях. Методом ИНАА были исследованы элементный состав доисторических и древних костей динозавров (КД1 (Монголия), КД2 и КД3 (Узбекистан)) архантропа (КА) и медведя (КМ), найденных на территории Узбекистана. Результаты элементного анализа костных образцов сравнивались со стандартными костями млекопитающих (СКМ) и человека (СКЧ), а также с почвенными (П-I и П-II) образцами.

В таблице 3 приведены содержания микроэлементов в костных останках динозавров и почве. Как видно, содержание лантаноидов - La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb и Lu - в КД достигает очень высоких значений - 280-3200 мг/кг. Содержание урана в КД1-КД3 очень высокое - 102-180 мг/кг.

На рис. 4. показана гистограмма распределения As, Sr, Cs, Ba, La, Au и U в костях динозавра, СКМ, и в почве. Как видно из рис. 4, для этих элементов кость динозавра является хорошим накопителем, и особенно высокая аккумуляция наблюдается для элементов Sr, Ba, La и U, их содержания в 100 -10000 раз выше, чем в стандартном образце кости.

Таблица 3

Содержания элементов в костных образцах динозавра и почве, мг/кг

№	Элемент	КД1	КД2	КД3	П-I	П-II	СКМ
1	Ca (%)	45.5	31.3	38.7	9.4	6.7	26
2	Sc	14.4	5.10	6.2	8.8	10.6	0.001
3	Cr	71.0	28.7	21.5	16.7	11.5	0.49
4	Fe	2026.9	0.54	3.78	$2.2 \cdot 10^4$	$2.7 \cdot 10^4$	200
5	Co	4.82	8.11	8.3	7.6	2.4	5
6	Ni	2926.6	2400	3390	-	-	2.5
7	Zn	488.1	4.3	1180	442	383	150
8	As	97.2	8.90	-	5.6	6.8	0.3
9	Rb	-	48.2	58.2	63.3	109	5.1
10	Sr	3609	3500	1550	2240	700	30-64
11	Ag	6.7	-	14.8	-	-	0.01
12	Sb	-	5.7	1.4	8.3	-	0.35
13	Cs	-	1.77	7.10	5.83	4.6	0.14
14	Ba	579	836	390	230	964	2-6.9
15	La	3186.6	83.10	162	166	48.5	0.27
16	Ce	2584.3	46	68.1	40.4	37.2	-
17	Nd	2384.5	-	-	-	-	-
18	Sm	563.6	80.3	19.2	5.7	3.3	-
19	Eu	175	2.7	9.6	-	-	-
20	Tb	143.8	0.8	5.6	-	-	-
21	Yb	282.2	4.9	11.4	-	4.18	-
22	Lu	30.1	0.48	1.22	0.77	0.4	-
23	Hf	-	1.78	4.36	2.56	5.1	-
24	Au	0.68	0.04	0.08	-	-	0.016
25	Th	20.6	0.6	2.13	-	3.68	-
26	U	180	122	102.4	5.8	3.9	0.01

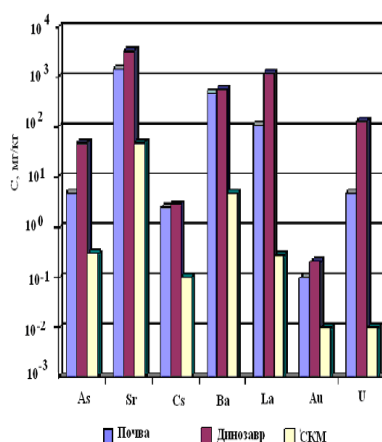


Рис. 4. Гистограмма распределения элементов в КД, СКМ и почве

В таблице 4 приведены данные по содержанию 21 элемента в древних костях медведя и архантропа, которые сравниваются с данными, полученными для стандартных образцов костей и почвы.

Таблица 4

Содержание элементов в костях медведя, архантропа и почве, мг/кг

№	Элемент	КМ	СКМ	КА	СКЧ	Почва
1	Ca (%)	48.7	26	32.9	18-36.4	2.7-6.0
2	Sc	0.11	0.001	0.07	≤0.03	3.4-6.4
3	Cr	7.18	1.4-5.2	1.41	1.4 -5.2	6.4-11.4
4	Fe	148.8	200	248.2	140-205	25 (г/кг)
5	Co	1.54	0.7	0.2	0.03-0.7	3.3-5.3
6	Zn	218.3	150	103.8	19-79	150
7	As	40.4	0.3	8.3	0.012	5-40
8	Br	8.1	4-7	4.1	0.36-16	1.5-10
9	Rb	6.3	5.1	5.8	1.4-12	30-130
10	Sr	1325	30-64	1746	18-110	100-2600
11	Mo	33	< 1.5	17.2	< 1.5	0.5-4
12	Sb	19.9	0.35	0.26	0.02-0.71	470
13	Cs	0.61	0.04-0.1	0.52	0.1-7.2	2.2-3.5
14	Ba	605.3	2-6.9	753.8	1.9	110-600
15	La	8.2	0.27	0.83	0.04-0.4	0.04-0.23
16	Ce	5.9		4.5		6.8-11.4
17	Nd	20.5		22.6		
18	Eu	0.11		0.092		0.5-1.8
19	Au	0.16	0.02	≤0.01	0.01	0.06-0,1
20	Th	≤		0.68	0.10	2.3
21	U	24.4	0.01	1.53	≤0.01	1.3-2.8

Согласно таблицы 4, концентрация таких элементов, как Sr, Ba, La и Au в костях медведя и архантропа, в 10-100 раз выше, чем в стандартной кости. Особенно интересно поведение урана в костях архантропа и медведя, где его содержание, соответственно в 100 и 2400 раз превышает содержание в стандартной кости.

В отличие от биологических исследований, в антропологических исследованиях для системы «кость/почва» ввели так называемый «условный коэффициент накопления элементов» –УКНЭ:

$$УКНЭ = [M_k] / [M_n] \quad (4)$$

где $[M_k]$ - концентрация элемента в кости, мг/кг; $[M_n]$ - концентрация элемента в почве, мг/кг. На рисунке 5 приведены значения УКНЭ для Cr, Co, Zn, Sr, Mo, Ba, U.

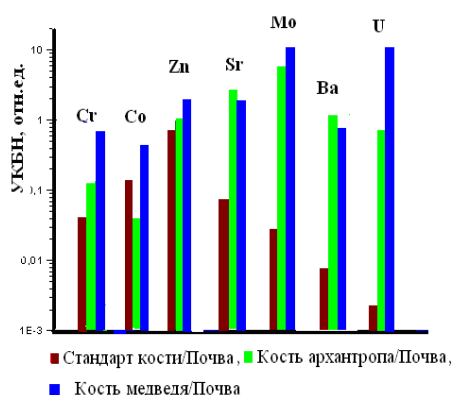


Рис. 5. УКНЭ в системах СКЧ/почва, КА/почва и КМ/почва

Как видно из рисунка 5, с ростом возраста костей наблюдается увеличение значения УКНЭ. Например, в пользу костей медведя и архантропа с возрастом около один миллион лет, УКНЭ были следующие: Zn – 2.2 и 1, Sr -1.9 и 2.5, Mo -11 и 6, U -12 и 0.8, Cr- 0.72 и 0.14, Co - 0.4 и 0.05. Ba - 0.87 и 1.1. Видно, что подвижность урана в древних костях очень высокая, а элементы, перечисленные после урана менее подвижны.

Протонно-активационный анализ алюминиевых и магниевых сплавов. В настоящее время алюминиевые и магниевые сплавы нашли широкое применение в качестве конструкционных материалов в авиации, космонавтике, судостроительстве, для изготовления химической, пищевой аппаратуры, резервуаров и т.п. Для определения содержания большего числа элементов в алюминии, магнии и их сплавах без разрушения с высокой чувствительностью целесообразно использовать ИПАА. Дело в том, что при облучении алюминия и магния ускоренными протонами $E_p=12$ МэВ, в основном, протекают (p,n) реакции и образуются короткоживущие радионуклиды, которые распадаются до начала измерения радиоактивности.

Образцы алюминиевых и магниевых сплавов имели форму таблетки диаметром 14–16 мм и толщиной 2–4 мм. Для анализа элементов по короткоживущим радионуклидам образцы облучали в течение 15–20 сек при токе протонов 0.1–0.2 мкА. После 20–25 сек выдержки наведенную радиоактивность образцов измеряли в течение 20–40 сек. При определении содержания элементов по долгоживущим радионуклидам образцы облучали при токе протонов 1–2 мкА в течение 40–70 мин. После 10–12 часовой выдержки наведенная радиоактивность образцов измерялась на детекторе в течении 30–60 мин. Содержания большинства элементов определяли абсолютным методом для экономии тока и времени циклотрона. Результаты анализа сплавов алюминия приведены в таблице 5.

Таблица 5

Содержание основных компонентов и примесей в сплавах алюминия, %

Элемент	A1	A2	A3
Li	$(7.5 \pm 2.2) \cdot 10^{-4}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	-
B	-	$(3.3 \pm 0.8) \cdot 10^{-2}$	$(6.5 \pm 1.8) \cdot 10^{-2}$
N	$(5.0 \pm 1.5) \cdot 10^{-4}$	$(9.0 \pm 2.7) \cdot 10^{-4}$	$(4.9 \pm 1.5) \cdot 10^{-4}$
Na	$(4.6 \pm 1.3) \cdot 10^{-3}$	$(3.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$	$(3.2 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$
Mg	2.5 ± 0.3	$(3.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-1}$	2.8 ± 0.4
Ca	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	-	$(4.4 \pm 1.3) \cdot 10^{-3}$
Ti	$(4.3 \pm 1.2) \cdot 10^{-4}$	$(5.2 \pm 1.5) \cdot 10^{-3}$	$(4.6 \pm 1.4) \cdot 10^{-3}$
V	$(3.3 \pm 0.9) \cdot 10^{-3}$	$(1.5 \pm 0.3) \cdot 10^{-3}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-4}$
Cr	$(2.8 \pm 0.8) \cdot 10^{-3}$	$(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	$(1.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$
Mn	$(6.9 \pm 1.3) \cdot 10^{-1}$	$(5.5 \pm 1.1) \cdot 10^{-1}$	$(6.5 \pm 1.3) \cdot 10^{-1}$
Fe	$(6.3 \pm 1.8) \cdot 10^{-2}$	$(3.7 \pm 1.1) \cdot 10^{-2}$	$(2.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$
Ni	$(3.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-2}$	$(2.3 \pm 0.6) \cdot 10^{-2}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-2}$
Cu	1.6 ± 0.2	8.6 ± 1.7	1.8 ± 0.3
Zn	4.1 ± 0.6	$(2.7 \pm 0.8) \cdot 10^{-3}$	4.8 ± 0.7
Ga	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$	$(1.7 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$	$(1.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$
Ge	$(8.0 \pm 2.0) \cdot 10^{-4}$	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$	$(2.9 \pm 0.8) \cdot 10^{-4}$
As	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$	$(4.7 \pm 1.4) \cdot 10^{-4}$	$(6.6 \pm 1.9) \cdot 10^{-4}$
Se	$(4.8 \pm 1.5) \cdot 10^{-5}$	$(1.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$	$(1.2 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$
Sr	$(2.1 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	$(2.7 \pm 0.8) \cdot 10^{-5}$	$(1.8 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$
Y	$(1.1 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-5}$	$(1.0 \pm 0.3) \cdot 10^{-5}$
Zr	$(1.1 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$	$(2.0 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	$(1.4 \pm 0.4) \cdot 10^{-5}$
Mo	$(3.0 \pm 0.9) \cdot 10^{-2}$	$(3.5 \pm 1.1) \cdot 10^{-4}$	$(1.7 \pm 0.5) \cdot 10^{-3}$
Ce	$(6.8 \pm 2.0) \cdot 10^{-3}$	$(7.0 \pm 2.1) \cdot 10^{-4}$	$(4.7 \pm 1.4) \cdot 10^{-2}$
W	$(6.0 \pm 1.8) \cdot 10^{-3}$	-	-
Pb	$(1.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-3}$	-	$(1.9 \pm 0.6) \cdot 10^{-3}$

Разработанной методикой ИПАА были определены содержания около 10 химических элементов по короткоживущим и более 15 элементов по относительно долгоживущим радионуклидам с пределами обнаружения 10^{-4} – 10^{-5} % при ошибках $\leq 15\%$ в сплавах алюминия и магния. Метод ПАА имеет преимущество перед другими методами активационного анализа при определении концентрации таких элементов, как Li, B, N, Ti, Fe, Y, Zr и Pb. Разработка доказала возможность применения активационного анализа на заряженных частицах при решении технической задачи анализа новых материалов.

В пятой главе диссертации «Разработка методик трекового анализа объемной активности и скорости эксхалации радона в объектах окружающей среды» описываются разработка методики трекового анализа объемной активности (ОАР) в воздухе помещений и определение скорости

эксхалации радона (СЭР) с поверхности строительных материалов, стен домов и почв применением трекового детектора CR-39. Исследуемыми объектами являлись жилые и рабочие помещения г. Ташкента, а также производственные объекты и населенные пункты Ташкентской области. Перед экспериментами были определены калибровочные коэффициенты и коэффициенты равновесия для CR-39 в измерительных камерах.

Для калибровки детектора CR-39 были использованы радоно-эманационный контейнер и образцовый радономер Alpha GUARD PG2000 PRO.

Значения калибровочного коэффициента (KK) находили по формуле:

$$KK = \rho / A_{Rn} t_e \quad (5)$$

где ρ – поверхностная плотность треков, тр/см²; A_{Rn} – объемная активность радона (ОАР), Бк/м³; t_e – время экспозиции, ч.

Определены KK измерительных камер, для ОАР равные 0.0086 (тр/см²)/(Бк·м⁻³·ч) и для СЭР - 0.0096 (тр/см²)/(Бк·м⁻³·ч). Коэффициент равновесия радона и ДПР в помещениях, построенных из различных типов строительных материалов, варьируется в пределах 0.37–0.48 в летнее и 0.56–0.66 в зимнее время года, а его среднее значение составляет 0.5.

Измерение объемной активности радона в помещениях. Результаты измерения уровня радона в воздухе помещений домов зависят от типа постройки и сезонов года и колеблются в достаточно широком интервале. Например, ОАР в железобетонных домах была 46–87 Бк/м³, а в кирпичных и глинобитных домах составила, соответственно 65–210 Бк/м³ и 95–600 Бк/м³, а зимой эти уровни активности соответственно возрастают в 1.8 и 2.1 раза.

Установлено, что в промышленных цехах ПО «АММОФОС», производящего фосфатные удобрения, ОАР составляет 1100–1600 Бк/м³, что выше ПДК в 5–6 раз. Этот показатель выше такого показателя даже для урановых разработок. В таблице 6 приведены результаты измерения ОАР в поселках, расположенных вблизи урановых разработок, в летнее и зимнее время года. Как видно, в населенных пунктах, расположенных вблизи урановых отвалов, ОАР составляет 50–590 Бк/м³.

Оценка годовой эффективной дозы. Произведена оценка уровня годовой эффективной дозы, получаемой населением и работающим персоналом от радиационного фона радона в зависимости от типов постройки и места проживания. Этот показатель в населенных пунктах, прилегающих к урановым отвалам, составил 1.5–22 мЗв/год, а в домах из железобетона 0.7–1.3 мЗв/год, из кирпича 1.4–10.7 мЗв/год, из глины 1.3 – 8.3 мЗв/год. Самыми радоноопасными участками были магазин в Янгиабаде 22.1 мЗв/год, больница и аптека 5.32 и 6.30 мЗв/год в Чоркесаре, соответственно.

Скорость эксхалации радона. С помощью разработанной методики измерены СЭР с поверхности строительных материалов, стен домов и различных горных пород и почв.

Таблица 6

Уровни радона в помещениях в летнее и зимнее время года, Бк/м³

Помещения	Янгиабат		Красногорск		Чоркесар	
	Лето	Зима	Лето	Зима	Лето	Зима
Кирпичные	37–78	45–162	35–75	42–155	68–208	96–350
Глинобитные	75–132	85–260	64–126	64–235	95–332	150–590
Административные	66–88	98–135	42–115	67–147	50–83	78–160
Школа	70–110	80–150	34–116	67–185	41–83	64–145
Детсад	60–85	50–90	40–70	65–105	83–140	120–210
Больница	45–75	56–90	44–58	55–110	190–236	260–396
Поликлиника	88–148	125–220	32–52	48–78	120–210	150–290
Склад	700–1100	1000–1700				
Аптека					226	412

Скорости эксхалляции радона (Бк/м²·ч) находили по формуле:

$$CЭР = A\lambda VT_{эфф}/S \quad (7)$$

где A – активность исследуемых материалов, Бк/м³; λ – постоянная распада, ч⁻¹ ($\lambda_{Rn}=7.567 \cdot 10^{-3}$ ч⁻¹); V – объем камеры, м³; S – входная площадь камеры, м²; $T_{эфф}$ – эффективное время, $T_{эфф} = t/[1 + \lambda(1 - e^{-\lambda t})]$; t – время экспозиции, ч.

В таблице 7 приведены экспериментально измеренные плотности треков, активность и скорость эксхалляции радона из местных строительных материалов и горных пород.

Таблица 7

Скорость эксхалляции радона из строительных и других материалов

№	Строительные материалы	Плотность, тр/см ² · дн	Активность, Бк/м ³	СЭР, Бк/м ² · ч
1	Рваный камень	22.1	94.8	0.071
2	Необожженный кирпич	48.7	210	0.16
3	Обожженный кирпич	9.4	40.4	0.03
4	Камень	24.2	104	0.077
5	Песок	36	155	0.12
6	Цемент	5.3	22.8	0.017
7	Алебастр	5.0	22	0.016
8	Порода	530–7500	2300–32550	1.85–26.2
9	Шахтная почва	2510	10900	9.1
10	Шурф	1230	5350	4.30
11	Бентонит	56	242	0.20
12	Фон	3 - 4		

СЭР из строительных материалов и из почв составила 0.03–0.16 Бк/м²·ч и 0.06–2.65 Бк/м²·ч, соответственно. Использование шахтных пород или их отходов в строительстве домов, без соответствующей проверки, представляет радиационную опасность для жильцов этих домов, потому что выход радона из шахтной породы и почвы очень высок – 1.85 - 26.2 Бк/м²·ч.

Измерение СЭР в полевых условиях. Для этого был создан трехкамерный регистратор радона (см. рис. 26.). Как показывают результаты измерения, величина СЭР меняется от 20.3 до 25.4 Бк/м²·ч весной и от 11.2 до 22.1 Бк/м²·ч летом. Полевые значения СЭР (16.4÷22.1 Бк/м²·ч) для почв в 160 и 220 раз выше, чем лабораторные измерения (0.08÷0.12 Бк/м²·ч). Такая большая разница в значениях СЭР из почв свидетельствует о том, что полевые факторы сильно влияют на результаты СЭР.

Методика определения концентрации радона-222 в воде (КРВ) трековыми детекторами CR-39. В данной методике используется экспозиционная камера с CR-39 детектором и газом радона, который получают барботированием из исследуемого объема воды, переводят его в сухую экспозиционную камеру с детектором CR-39 и выдерживают камеру в изоляции 12 дней для экспозиции. На рисунке 6 иллюстрирован схематический вид определения КРВ.

Принцип работы системы. После набора 250 мл воды в пробоотборник (2): штуцеры входа и выхода мининасоса (1), пробоотборника (2) и экспозиционной камеры (5) соединяют гибкими трубками (3) в одну систему (см. рис. 6.). Для полного перехода радона из (2) в камеру (5) с детектором CR-39 (4) - достаточно 20 минут работы мининасоса (1).

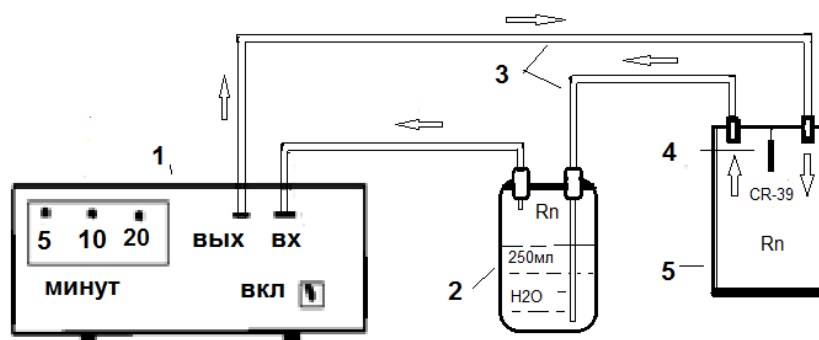


Рис. 6. Схематический вид системы барботирования радона-222 из воды в экспозиционную камеру

Затем герметично закрытую экспозиционную камеру оставили на 12 дней для регистрации альфа треков на CR-39 детекторе. Аналогичную работу одновременно проводили в нескольких пробах воды. Значения КРВ были найдены относительным и абсолютным методами. В качестве стандарта был использован раствор радия-226 с активностью 370±45 Бк/л. КРВ в водах Ташкента, Навои, Чартака и Самарканда составили 3.1, 6.2, 15.1 и 62.8 Бк/л, соответственно.

Таким образом, барботирование радона позволяет избирательно регистрировать α-частицы Rn-222 с CR-39 детектором в безводной

экспозиционной камере с временем экспозиции $3T_{1/2}$ (3.82 дн), что сокращает погрешность анализа и уменьшает время экспозиции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук (DSc) на тему: «Разработка методик для активационного и трекового анализа конструктивных и биоэкологических материалов» сделаны следующие выводы:

1. Определены функции возбуждения 22 ядерных реакций, идущих под действием протонов, 14 из них определены впервые. Определены и рассчитаны выходы более 100 радионуклидов, образующихся по ядерным реакциям с протонами и дейтронами, 76 из них были получены впервые.

2. Впервые были определены функции возбуждения и выход ядерной реакции $^{103}\text{Rh}(p, n)^{103}\text{Pd}$ и установлено, что измерение рентгеновского излучения ^{103}Pd повышает предел определения родия в 250 раз, чем при регистрации γ -кванта. Данные по функции возбуждения реакций образования радионуклида ^{103}Pd и по его выходам вошли в список рекомендованных данных Conservation Reserve Program МАГАТЕ.

3. Экспериментальные данные коэффициента биологического поглощения элементов в различных органах хлопчатника и сахарной свеклы в процессе роста и созревания были использованы Институтом микробиологии АН РУз для создания местных штаммов фосфор-мобилизующих бактерий рода *Bacillus*.

4. Найдены элементы деления ядер в доисторических и древних костных останках и обнаружено существование прямой корреляции между возрастом и концентрацией урана в костях.

5. Показано преимущество применения протонно-активационного анализа сплавов алюминия и магния при определении содержания таких элементов, как Li, B, C, N, O, Ni, Y, Zr, Nb и Pb перед другими методами активационного анализа.

6. Применение трекового детектора CR-39 позволило установить зависимость уровня радона в воздухе помещения от типа конструкционных материалов, сезона года, геохимического расположения объектов, оценить годовую эффективную дозу радона для населения и пересмотреть нормативные допуски по радону.

7. Разработан способ определения концентрации радона-222 в воде трековыми детекторами CR-39, позволяющий сократить погрешность анализа и уменьшить время экспозиции в 3-6 раз, получен патент на изобретение № IAP 20180196 от 30.09.2020.

8. Впервые создан очень простой трехкамерный регистратор радона для определения скорости эксхалляции радона с поверхности почв в полевых условиях и доказано, что величина эксхалляции радона имеет сезонный

характер и в сотни раз больше, чем в лабораторных условиях.

Определенные автором радиоаналитические данные вошли в монографию: «Nuclear Data for Proton Activation Analysis. – Egypt, 2001», оформлены в международном базе данных по ядерным реакциям EXFOR и размещены на сайте Центра данных фотоядерных экспериментов CDFE (<http://cdfe.sinp.msu.ru>).

Экспериментально полученные результаты трекового анализа радона в окружающей среде вошли в монографии «Методы измерения объемной активности и скорости эксхалации радона.- Германия: LAMBERT Academic Publishing, 2013. -216 с.» и «Радон ва уни аниқлаш усуллари. – Тошкент: “Ўзбекистон” нашриёти, 2015. - 200 б».

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

INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

VASIDOV ABDISAMAT

**DEVELOPMENT METHODS FOR THE ACTIVATION AND TRACK
ANALYSIS OF CONSTRUCTION AND BIOECOLOGICAL MATERIALS**

01.04.01. - Instruments and methods of experimental physics

**DISSERTATION ABSTRACT
of the doctor of technical sciences (DSc)**

Tashkent – 2021

The theme of the doctoral dissertation (DSc) was registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under number B2020.4.DSc/T386.

The dissertation has been carried out at the Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of sciences.

The abstract of the dissertation in three languages (Uzbek, Russian and English (resume)) is posted on the webpage at the address of www.inp.uz and Information-educational portal “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant:

Mukhammedov Suyun

Doctor of technical sciences, professor

Official opponents:

Solodukhin Vladimir Petrovich

Doctor of sciences in physics and mathematics, head researcher

Kulmatov Rashid Anorovich

Doctor of chemical sciences, professor

Kurbanov Bakhtiyar Ibragimovich

Doctor of technical sciences,
senior researcher

Leading organization:

Samarkand State University

Defense will take place on the «_____» _____ 2021, at _____ the meeting of Scientific council DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 at Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences (Address: 100214, Tashkent, Ulughbek, Institute of Nuclear Physics. Phone: (+99871) 289-31-41; Fax: (+99871)289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

The dissertation is registered at Information-resource center of Institute of Nuclear Physics (registration No _____). Address: 100214, Tashkent, Ulughbek, Institute of Nuclear Physics, Phone (+99871) 289-31-19.

The abstract of dissertation was distributed on “_____” _____ 2021.
(Registry record No. _____ dated “_____” _____ 2021)

M.Yu.Tashmetov

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

O.R. Tojiboev

Scientific secretary of scientific council on
a ward on scientific degrees, PhD

I. Nuriddinov

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

INTRODUCTION (Annotation of doctoral dissertation)

The aim of the research work: development of methods for activation and track analysis in order to increase the efficiency of determining the concentrations of chemical and radioactive elements in plant organs, bone finds structural materials and environmental objects.

The tasks of the research work:

determination of the excitation functions of nuclear reactions and the yields of radionuclides necessary for the development of the proton activation analysis;

development of highly sensitive methods of instrumental neutron and proton activation analysis, suitable for studying the chemical composition of the various organs of cotton and sugar beet to study the mobility of microelements in the process of growth and ripening when mineral and biological fertilizers are introduced into the soil in the form of strains of phosphate-mobilizing bacteria;

prehistoric and ancient bone remains of animals and primitive people to determine the anthropological value of the samples of these finds for our country;

construction materials based on aluminum and magnesium due to the localization of their production from scrap and waste;

development of methods for track analysis of radon volume activity (RVA) and radon exhalation rate (RER) using the track detectors CR-39, to study of the RVA in home and work dwellings, on the territories of uranium dumps and adjacent settlements, to determination of the RER from various building materials, rocks and soils of the Tashkent region.

The object of the research work. Soil samples, cultivated plants, archaeological bones, construction materials of aluminum and magnesium alloys, radioactive and inert gas of the radon-222.

The subject of the research work. Excitation functions of nuclear reactions and radionuclide yields formed by charged particles, content and distribution of chemical elements in plant organs and in prehistoric and ancient bones, contents of elements in aluminum and magnesium alloys, radon volume activity and radon exhalation rate.

The scientific novelty of the research work is as follows:

the functions of excitation of 14 nuclear reactions proceeding under the action of protons on $^{66,67}\text{Zn}$, ^{86}Sr , $^{117,120,122}\text{Sn}$, $^{121,123}\text{Sb}$, ^{103}Rh , ^{133}Cs , $^{134,136}\text{Ba}$ and $^{204,206}\text{Pb}$, were determined, 76 yields of radionuclides formed in nuclear reactions with protons and deuterons were measured and calculated;

the excitation function and the yield of $^{103}\text{Rh}(\text{p}, \text{n})^{103}\text{Pd}$ nuclear reaction were determined from threshold to 16 MeV and established that the measuring of X-ray 21 keV (70%) of the ^{103}Pd increases the detection limit of rhodium by 250 times as compared with the registration of a 350 keV (0.03%) γ -quantum;

the method of an instrumental neutron activation analyses has been developed and determined of the contents of more 20 elements in various organs of cotton and sugar beet in the process of growth and maturation were found when a biological strain of phosphate-bacteria is introduced into the nutrient medium and the

biological absorption factors of the heavy microelements Cr, Zn, Cu, Sr and Ba has been evaluated;

a technique for instrumental proton activation analysis was developed for the determination in aluminum and magnesium alloys and an advantage was shown in the analysis of the content of such elements as Li, B, C, N, O, Ni, Y, Zr, Nb, and Pb over other methods;

a new method for determining the concentration of radon in water with a CR-39 detector was developed, for reduces the analysis errors and the exposure by 3-6 times;

a three-chamber radon registrator has been created to determine the radon exhalation rate of the soils at field conditions and it has been proved that the radon exhalation values is a seasonal and same time hundreds of times greater than in laboratory conditions.

Implementation of the research results. Based on the results obtained for the development of methods for activation and track analysis of construction and bioecological materials:

the results of determining the excitation function of 14 nuclear reactions proceeding under the influence of protons, and the yields of 76 radionuclides formed by nuclear reactions with protons and deuterons were used in the production of target radioisotopes for the needs of the Republic of Uzbekistan and foreign organizations (Letter of Tezlatgich LLC No. 012/1 dated 28.01.2021);

the results of determining the excitation function and the yield of the ^{103}Rh (p, n) ^{103}Pd nuclear reaction, as well as the established fact that the use of ^{103}Pd X-ray radiation increases the rhodium determination limit by 250 times than when registering a γ -quantum, were used at Tezlatgich LLC at development of a technology for obtaining a radioisotope palladium-103 (Letter of OOO Tezlatgich No. 012/1 dated 28.01.2021). The use of the results made it possible to develop a method for producing Pd-103 without a carrier and a holder for a target, RUz patent No. 5940, 1999;

developed method of instrumental neutron activation analysis and the results of the content of trace elements in various organs of cotton and sugar beet were used at the Institute of Microbiology of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan within the framework of the applied project P-11.1.31. "Restoring effective soil fertility and increasing the productivity of agricultural crops" (2003-2005) and the international project UB ARS 17 "Development of biological and agrotechnical methods of cotton cultivation in order to obtain an ecologically clean crop of raw cotton" (2003-2005) (Letter from the Academy of Sciences of the Republic Uzbekistan No. 4 / 1255-2646 dated November 26, 2020). The use of the results made it possible to increase the yield of cotton by 7-10 c/ha and sugar beet by 45 t/ha;

the developed method of proton activation analysis of structural materials was used on the U-150 cyclotron for elemental analysis of the composition of various materials (Letter of OOO Tezlatgich No. 012/1 dated 28.01.2021). The use of the technique made it possible to control the elemental composition of various alloys;

the developed new method for determining the concentration of radon-222 in water with CR-39 track detectors is registered with the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan (Patent No. IAP 20180196, 30.09.2020) and used in the Tashkent Institute for Advanced Training of Doctors of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan (Letter of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan No. 78/1597 dated 09.04.2020). The use of the development made it possible to update information on sanitary standards, rules and hygiene standards;

the developed method of radon track analysis and the results of determining the radon volume activity and exhalation rate were used at the Tashkent Institute for Advanced Training of Doctors of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan in the development of SanPiN No. 0193-06 in 2006 (Letter of the Ministry of Health of the Republic of Uzbekistan No. 78/1597 dated 09.04.2020). Using the results made it possible to adopt a new permissible limit to radon concentration in newly (100 Bq/m³) and operated dwellings (200 Bq/m³).

The structure and volume of dissertation. Dissertation consists of the introduction of five chapters with brief conclusions, conclusions and general conclusions, and four annexes. Dissertation is written on 190 pages of typed text.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (Часть I; Part I)

1. Mukhammedov S., Vasidov A., Comsan M.N.H. Nuclear Data for Proton Activation Analysis. – Cairo: ENPA Publication, 2001. –195 p.
2. Васидов А. Методы измерения объемной активности и скорости эксхалации радона.- Германия: LAMBERT Academic Publishing, 2013. - 216 с.
3. Васидов А. Радон ва уни аниқлаш усуллари. – Тошкент: “Ўзбекистон” нашриёти, 2015. - 200 б.
4. Патент РУз № IAP 20180196. Способ определения концентрации радона-222 в воде трековыми детекторами CR-39 / Васидов А., Васидова С.О., Хусниддинов К.Б. – 30.09.2020.
5. En Z., Vasidov A., Tsipin V.Z., Tillaev T., Jumaniazova G.I. Study of element uptake in plants from soil to assess environmental contamination by toxic elements // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. –Elsevier, 2003. - Vol. A505. –pp. 462–465. (№1. Web of Science; IF=1.32)
6. Васидов А., Замятин С.М. Калибровка ядерных твердотельных трековых детекторов // Узбекский физический журнал. – Ташкент, 2004. - № 3(6). –С. 206 - 211. (01.00.00. № 5)
7. Васидов А., Ен З., Тиллаев Т.С. Измерение уровня радона в помещениях в зимнее и летнее время года с детекторами CR-39// Экологические системы и приборы. - Москва, 2006. - № 4. – С. 35-37. (№1. Web of Science; IF=0.117)
8. Vasidov A., Osinskaya N.S., Khatamov Sh., Akhmadshaev A.Sh. INAA of the prehistoric and ancient bone remains // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – Springer (Netherlands), 2008. - Vol. 278(2). –pp. 287-291. (№1. Web of Science; IF=1.06)
9. Vasidov A., Salikhbaev U.S., Kist A.A., Radyuk R.I. Measurement of the volume activity of radon in uranium waste zones // Atomic Energy. – Moscow, 2010. - Vol. 109(5). –pp. 272-274. (№1. Web of Science; IF=0.06)
10. Васидов А., Тиллаев Т.С. Определение скорости эксхалации радона-222 с поверхности строительных материалов и стен помещения // Экологические системы и приборы. - Москва, 2010. - № 12. – С. 40–42. (№1. Web of Science; IF =0.117)
11. Vasidov A. Field measurement of radon exhalation rate from the soil by CR-39 detector // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – Springer (Netherlands), 2014. - Vol. 302, N 2. –pp. 919–928. (№1. Web of Science; IF=1.06)
12. Васидов А., Васидова С.О. Применение трековых детекторов CR-39 для измерения объемной активности и скорости эксхалации радона-222 в

II бўлим (Часть II; Part II)

13. Васидов А., Мухаммедов С. Протонно-активационное определение родия посредством реакции (p,n) на циклотроне // Известия Академии наук Республики Узбекистан, серия физико-математическая (ныне Узбекский физический журнал).- Ташкент, 1986. -№9. –С. 79–81.
14. Mukhammedov S., Vasidov A., Comsan M.N.H. Nuclear Data for Proton Activation Analysis // Proceedings of Nuclear and Particle Physics Conference. –Cairo (Egypt), 2000.–pp.153-164.
15. Mukhammedov S., Vasidov A., Kakharov S. Instrumental Proton Activation Analysis of Some Aluminum and Magnesium Alloys // Proceedings of Nuclear Particle Physics Conference. - Cairo (Egypt), 2000. –pp. 555-558.
16. Vasidov A. Field measuring radon exhalation rate of the soils by CR-39 detector // Application of Radiotracers and Energetic Beams in Sciences. – Kolkata (India), 2014. –pp. 117-118.
17. Mukhammedov S., Vasidov A., Comsan M.N. Nuclear data for proton activation analysis // 2nd Conference on Nuclear and Particle Physics, 13-17 November 1999. - Cairo (Egypt), 1999. –p. 41.
18. Mukhammedov S., Vasidov A., Kakharov S. IPAA of some aluminum and magnesium alloys // 2nd Conference on Nuclear and Particle Physics, 13-17 November, 1999. – Cairo (Egypt), 1999. –p. 22.
19. En Z., Vasidov A., Tsipin V. Radon measurements by SSNTD at different geometry of experiment // Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, 25-29 September 2001. – Tashkent, 2001. – p. 289.
20. En Z., Vasidov A., Tsipin V.Z., Tillaev T. S., Jumaniyazova G. Study of element uptake in plants from soil to assess environmental pollution by toxic elements // 10th Symposium of Radiation Measurements and Applications. 23-25 May, 2002. – Michigan (USA), 2002. - p. 64.
21. En Z., Vasidov A., Tsipin V.Z., Tillaev T.S., Jumaniyazova G. Study of element uptake in plants from the soil for assessment of toxic level of some elements // 2nd Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application, 16-19 September, 2002. – Almaty (Kazakhstan), 2002. – p. 393.
22. Vasidov A., En Z., Tsipin V.Z., Tillaev T.S., Akimov V.A. Indoor radon measurements by SSTD // 2nd Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application. 16-19 September, 2002. – Almaty (Kazakhstan), 2002. – p. 215.
23. Vasidov A., En Z., Tsipin V.Z., Tillaev T.S., Akimov V.A. Indoor radon measurements by SSNTD in winter and summer seasons // The Third Conference “Radioisotopes and their Applications: Book of Abstracts, 8-10 October, 2002. – Tashkent, 2002. -p. 93.

24. En Z., Vasidov A., Tsipin V.Z. Indoor radon measurements by SSNTDs in separate one-story houses // Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, Samarkand, 12-15 August 2003. – Tashkent, 2003. – p. 342.
25. En Z., Vasidov A., Zamiatin S.M., Tsipin V.Z. Calibration SSNTD CR-39 and LR-115// Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, Samarkand, 12-15 August 2003. – Tashkent, 2003. – p. 343.
26. Kist A.A., Zhuk L.I., En Z., Danilova E.A., Vasidov A. U and Rn in phosphate fertilizer prod // Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, Samarkand, 12-15 August 2003. – Tashkent, 2003. – p. 292.
27. Vasidov A. Measurements of the exhalation rate of radon in several BM // Environmental Physics Conference: Book of Abstracts, 24-28 February, 2004. Minya (Egypt), 2004.– p. 56.
28. Vasidov A., Osinskaya N.S., Khatamov Sh. NAA of the prehistoric and ancient bone remains // Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, 19-22 September, 2006. – Tashkent, 2006. - p. 260.
29. Vasidov A., Tillaev T.S. Measurements of radon levels and ERR in dwellings by detectors CR-39// Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts, 19-22 September, 2006. – Tashkent, 2006. - p. 320.
30. Vasidov A., Tillaev T.S. Determination of ERR from walls and indoor radon by CR-39 detectors // «Nuclear and Radiation Physics»: Book of abstracts of 6th International Conference, 4-7 June 2007. – Almaty (Kazakhstan), 2007. - p. 455.
31. Vasidov A., Osinskaya N.S., Khatamov Sh., et al., INAA of prehistoric and ancient bone remains// 12th International Conference Modern Trends in Activation Analysis, 16-21 September, 2007. – Tokyo (Japan), 2007.– p. 85.
32. Vasidov A., Kist A. A. Measurements of ERR from soil samples of the Tashkent area by CR-39// Book of abstracts of the Fifth Eurasian Conference on Nuclear Science and its Application, 14-17 October 2008. - Ankara (Turkey), 2008. –p. 219.
33. Vasidov A., Tillaev T.S. Measurements of ERR from building materials and indoor radon // «Nuclear and Radiation Physics»: Book of abstracts of 7th International Conference, 8-11 September, 2009. - Almaty (Kazakhstan), 2009. –p. 222.
34. Salikhbaev U.S., Kist A.A., Vasidov A., Radyuk R.I. Radon situation at districts of uranium legacy and its risks // Modern Problems of Nuclear Physics: Book of Abstracts of 6th International Conference, 22-25 September, 2009. – Tashkent (Uzbekistan), 2009.– p.226.
35. Vasidov A. Radioecological situation in areas of uranium legacy of Uzbekistan // 16th Radiochemistry Conference, 18-23 April, 2010. - Mariansk Lazne (Czech Republic), 2010. –p. s186.
36. Salikhbaev U.S., Kist A.A., Radyuk R.I., Vasidov A. Radon measurements in areas of uranium wastes // «Nuclear and Radiation Physics»: Book of abstracts of 8th International Conference, 20-23 September, 2011. – Almaty (Kazakhstan), 2011. –p. 284.

37. Vasidov A., Tillaev T.S. Measurements of the radon exhalation rate by using plastic detectors // Nuclear science and its applications: Book of abstracts of International Conference, Samarkand, 25-28 September, 2012. – Tashkent, 2012. – p. 330-331.
38. Vasidov A. Estimation of conditional accumulation factor of elements in historical and ancient bone remains // Nuclear science and its applications: Book of abstracts of International Conference, Samarkand, 25-28 September, 2012. – Tashkent, 2012. – p. 332-333.
39. Vasidov A., Tillaev T.S. Estimation of biological absorption coefficient in the organs of cotton and sugar beet // Nuclear science and its applications: Book of abstracts of International Conference, Samarkand, 25-28 September, 2012. – Tashkent, 2012. – p. 333-334.
40. Vasidova S.A., Vasidov A. Application of CR-39 track detectors for the measurements of RVA and RER in new houses in Tashkent // “Modern Problems of Nuclear Physics and Nuclear Technologies”: Book of Abstracts of Ninth International conference, September 24-27, 2019. - Tashkent (Uzbekistan), 2019. - p. 284–285.