

**YADRO FIZIKASI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR  
BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**  
**YADRO FIZIKASI INSTITUTI**

---

**SAYDULLAYEV BAHODIR JO‘RAYEVICH**

**CR-39 IZLI DETEKTOR BILAN SUYAK QOLDIQLARI VA ODAMLAR  
SOCHLARIDAGI  $^{222}\text{Rn}$  VA  $^{226}\text{Ra}$  NI ANIQLASH USLUBINI ISHLAB  
CHIQLASH**

**01.04.01 – Eksperimental fizikaning asboblari va usullari**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2023**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati  
mundarijasi**

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

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

**Saydullayev Bahodir Jo'rayevich**

CR-39 izli detector bilan suyak qoldiqlari va odam sochlaridagi  $^{222}\text{Rn}$   
va  $^{226}\text{Ra}$  ni aniqlash uslubini ishlab chiqish ..... 3

**Сайдуллаев БаходирЖураевич**

Разработка методики определения  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в костных  
останках и волосах людей трековым детектором CR-39 ..... 21

**Saydullaev Bakhodir Jurayevich**

Development method for determining  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  in bones and  
humanhairsby using of the CR-39 track detector ..... 41

**E'lon qilingan ishlar ro'uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works ..... 45

**YADRO FIZIKASI INSTITUTI HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR  
BERUVCHI DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**  

---

**YADRO FIZIKASI INSTITUTI**

**SAYDULLAYEV BAHODIR JO‘RAYEVICH**

**CR-39 IZLI DETEKTOR BILAN SUYAK QOLDIQLARI VA ODAMLAR  
SOCHLARIDAGI  $^{222}\text{Rn}$  VA  $^{226}\text{Ra}$  NI ANIQLASH USLUBINI ISHLAB  
CHIQLASH**

**01.04.01 – Eksperimental fizikaning asboblari va usullari**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2023**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.4.PhD/TXXX raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya O'zbekiston Respublikasi Fanlar Akademiyasi Yadro fizikasi institutida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.inp.uz](http://www.inp.uz)) va "Ziyonet" axborot-ta'lim tarmog'ida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

<b>Ilmiy rahbar:</b>	<b>Vasidov Abdisamat</b> texnika fanlari doktori, katta ilmiy xodim
<b>Rasmiy opponentlar:</b>	<b>Radjapov Sali Ashirovich</b> fizika-matematika fanlari doktori, katta ilmiy xodim <b>Danilova Elena Artavazdovna</b> kimyo fanlari nomzodi, katta ilmiy xodim
<b>Yetakchi tashkilot:</b>	<b>Samarqand davlat universiteti</b>

Dissertatsiya himoyasi Yadro fizikasi instituti huzuridagi DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 raqamli Ilmiy kengashning 2023-yil \_\_\_\_\_ soat \_\_\_\_\_ dagi majlisida bo'lib o'tadi (Manzil: 100214, Toshkent shahri, Ulug'bek qo'rg'oni, Yadro fizikasi instituti. tel. (+99871) 289-31-41; faks (+99871) 289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

Dissertatsiya bilan Yadro fizikasi institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (\_\_\_\_\_ raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100214, Toshkent shahri, Ulug'bek qo'rg'oni, YaFI. tel. (+99871) 289-31-19.

Dissertatsiya avtoreferati 2023-yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ da tarqatildi.  
(2023-yil "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ dagi \_\_\_\_\_ raqamli reyestr bayonnomasi).

**M.Yu. Tashmetov**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
raisi f.-m.f.d., professor

**O.R. Tojiboyev**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, f.-m.f. PhD, katta ilmiy xodim

**E.M. Tursunov**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash qoshidagi  
ilmiy seminar raisi, f.-m.f.d., professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertasiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Hozirgi vaqtda dunyoning ko'plab yetakchi ilmiy markazlarida instrumental neytron-aktivatsion tahlil (INAT) usuli yordamida tadqiqotlar olib borilmoqda. Radioanalitik usullar orasida elementlarni aniqlash chegarasining pastligi va ko'p elementli tahlilni o'tkazish imkoniyati tufayli instrumental neytron-aktivatsion tahlili keng qo'llaniladi. Arxeologlar, paleontologlar va radioekologlar uchun suyaklarning elementar tarkibi, shuningdek, skeletning yer tarkibida uzoq vaqt yotishi paytida suyaklardagi radionuklidlarning harakatchanligi va to'planishi haqidagi ma'lumotlar amaliy ham ilmiy qiziqish uyg'otadi. Instrumental neytron-aktivatsion tahlilining dolzarbligi sayyoramizdagi hayotning rivojlanishida yangi topilgan (2000–2014) dinozavr suyak qoldiqlari, janubiy mamont, arxantrop va qo'y (standart) suyak tarkibidagi elementlarning turli yosh davrlariga mos kelishini o'rganishda keng qo'llanib kelmoqda. Suyak namunalari  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligini aniqlash CR-39 tipidagi qattiq jisimli iz detektor (QJID) yordamida  $^{222}\text{Rn}$  ning eksxalyatsiya tezligini tahlil qilish usullurini talab qiladi.

Dunyoda alfa zarralarni o'lchash usullaridan ekologiya, oziq-ovqat ishlab chiqarish, sog'liqni saqlash, geologik va geofizik tadqiqotlar bilan bog'liq tadqiqotlarda keng qo'llanilgan. QJID tabiiy va sun'iy obyektlarda radonni o'rganish uchun keng qo'llanadi. QJIDning afzalliklari ularning soddaligi, keng harorat oralig'ida, zaif ionlashtiruvchi gamma va beta-nurlanishning katta oqimlari sharoitida ishlash va integral yoki o'rtacha radon aktivligini olishdan iborat. Iqlim o'zgarishi va radioaktiv ifloslanishning ekologik muhitga texnogen ta'siri sharoitida inson a'zolaridagi radiatsiya darajasini nazorat qilish katta ahamiyat kasb etadi, chunki insonning ayrim organlari kasalliklarining paydo bo'lishi bevosita nurlanish darajasiga bog'liq. Shunday a'zoldan biri inson sochidir.

Respublikamizda soch tarkibidagi radioaktiv mikroelementlarning tarkibi va o'zgaruvchanligini aniqlash bo'yicha ishlar olib borilmoqda, bu esa olimlar, radioekologlar va shifokorlarga inson organizmining jismoniy holatini ko'rsatkichi sifatida foydalanish imkonini beradi. Ushbu amaliy tadqiqotning yo'nalishi mamlakatimiz ilm-fani rivojida muhim ahamiyatga ega bo'lgan 2022–2026-yillarda yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi<sup>1</sup> bilan bog'liq.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-son "2022–2026-yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida" farmoni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2010-yil 15-dekabrda PQ-1442-son "2011–2015-yillarda O'zbekiston Respublikasi sanoatini rivojlantirishning ustuvor yo'nalishlari to'g'risida", 2017-yil 17-fevraldagi PQ-2789-son "Fanlar akademiyasi faoliyatini yanada takomillashtirish, ilmiy-tadqiqot faoliyatini tashkil etish, boshqarish va moliyalashtirish chora-tadbirlari to'g'risida" qarorlari hamda ushbu sohadagi boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan

---

<sup>1</sup> O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF №60-sonli farmoni «2022-2026-yillarda yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida».

vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining II. “Energiya, energiya tejash va muqobil energiya manbalari” va VII. “Yer haqidagi fanlar (geologiya, geofizika, seysmologiya va foydali qazilmalarni qayta ishlash)” ustuvor yo‘nalishlariga muvofiq bajarilgan..

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Hozirgi vaqtda dunyoning ko‘plab laboratoriyalari olimlari CR-39 tipidagi iz detektorlari yordamida radonning hajmiy aktivligi va eksxalyatsiya tezligini o‘lchash bo‘yicha tadqiqot olib bormoqdalar, xususan, shvetsiyalik (Akerblom G., Anderson P., Mustonen R.), sloveniyalik (Ilich R., Durrani S.A., Vaupotik J.), amerikalik (Fleysler R.L., Xart H.R., Morgo-Campero A.), hindistonlik (Singx S., Malxotra R., Kumar J.), rossiyalik (Yakovleva V.S., Karatayev V.D., Nikolayev V.A.), pokistonlik (Said Rahman, Al-Jarallah M.I., Abu- Jarad F., Fazal-ur- Rahmon.), o‘zbekistonlik (Vasidov A.) va boshqa tadqiqotchilar.

CR-39 izli detektori yordamida olib borilgan tadqiqotlar shuni ko‘rsatdiki, kundalik hayotda dunyo aholisi radonning katta dozalarini  $^{222}\text{Rn}$  dan oladi. Shu bilan birga, oddiy uylar va ish joylarida yuqori darajadagi radon kuzatilib, aholi salomatligiga xavf tug‘diradi. Ushbu natijalar insonga radon ta‘sirini cheklashga qaratilgan keng ko‘lamli faoliyat va intensiv tadqiqotlarga olib keldi. Rossiyalik olimlarning fikriga ko‘ra, hayvonlar va inson suyaklari arxeologik yodgorliklar ichida eng ko‘p ham uzoq vaqt saqlanib qolgan material hisoblanadi. A. Vasidovning ishida INAT eksperimental usuli yordamida 1960–1980 yillarda O‘zbekiston hududidan topilgan tarixiy va qadimgi suyaklarning mikroelement tarkibi aniqlangan va suyak qoldiqlari tarkibidagi uran va parchalanuvchi elementlarning ko‘payishi skeletlarning tuproq qatlamlarida bo‘lish muddatiga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Biroq hozirgi vaqtda suyak topilmalarida  $^{222}\text{Rn}$  ning eksxalyatsiya tezligi va  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi, shuningdek, umumiy alfa aktivligi hali o‘lchanmagan. Tuproq-suyak tizimida yuzaga keladigan sharoitlarda suyaklardagi elementlarning kirib borishi va to‘planishi ham radiogen usulida yoshni aniqlash hali ham munozarali bo‘lib qolmoqda. Tarixiy va qadimiy suyak topilmalaridagi elementlar tarkibini o‘rganishga bag‘ishlangan ilmiy ishlar ham yo‘q. Shuning uchun suyak topilmalarining asosiy komponentlari va boshqa iz elementlarini o‘rganish sut emizuvchilar ham Yerdagi ibtidoiy odamlarning yoshi va hayotining kelib chiqishi haqida qimmatli ma‘lumotlarni berishi mumkin.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan ilmiy tadqiqot muassasasining ilmiy tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Yadro fizikasi instituti ilmiy tadqiqot ishlari rejasining O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 21-noyabrdagi PQ-4526-sonli qarori asosida 2020-2024-yillarga mo‘ljallangan ilmiy tadqiqot ishlari dasturi yuzasidan “Yadroviy tibbiyotda qo‘llaniladigan radionuklidlarni texnologiyasini ishlab chiqish va suyuq radioaktiv chiqindilarni

tozalashda qo'llaniladigan modifikatsiyalangan ham kompozit sorbentlarni olish texnologiyalari" mavzusi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** CR-39 detektori yordamida  $^{222}\text{Rn}$  eksxalyatsiya tezligini va  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligini aniqlash uslubini ishlab chiqishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

dinozavrlar, janubiy mamontlar, arxantropolar va standart suyaklarining elementar tarkibini o'rganish uchun instrumental neytron-aktivatsion tahlil usulini qo'llash orqali yerdagi sut emizuvchilar ham ibtidoiy odamlar hayotining rivojlanishining turli yosh davrlariga mos keladigan ma'lumotlarini olish;

CR-39 detektorlari yordamida suyak qoldiqlari va uning atrofidagi tuproqlarda  $^{222}\text{Rn}$  eksxalyatsiya tezligini hamda  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uchun izli tahlil uslubini ishlab chiqish;

izli tahlil natijalarining ishonchliligini baholash uchun radionuklidlarning umumiy solishtirma  $\alpha$ -aktivligini aniqlash uslubini ishlab chiqish;

inson sochidagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uchun CR-39 iz detektori yordamida  $^{222}\text{Rn}$  eksxalyatsiya tezligini o'lchash uslubini ishlab chiqish.

**Tadqiqot obyektlari** sifatida dinozavr, janubiy mamontlar, arxantrop, standart yoki qo'y suyagi va shoxli qoramol suyaklari hamda ularni o'rab turgan tuproqlar, inson sochlari, radioaktiv va inert gaz  $^{222}\text{Rn}$  va  $^{226}\text{Ra}$  olingan.

**Tadqiqot predmetini** kimyoviy elementlarning tarkibi va tarqalishi, ularning tarixiy va qadimgi suyaklardagi o'zgarishlari, biologik namunalardagi alfa-chiqaruvchi radionuklidlarning umumiy solishtirma aktivligi,  $^{222}\text{Rn}$  hajmiy aktivligi va eksxalyatsiya tezligi tashkil etadi.

**Tadqiqotning usullari:** instrumental neytron-aktivatsion tahlil, radionuklidlarning umumiy  $\alpha$ -aktivligini o'lchash usullari, CR-39 izli detektor.

**Tadqiqotning yangiliklari** quyidagilardan iborat:

suyak va tuproqdan hosil bo'ladigan  $^{222}\text{Rn}$  ning  $\alpha$ -zarralarini qayd qiluvchi CR-39 iz detektorli o'lchash kamerasi yordamida qadimgi suyak qoldiqlari va uning atrofidagi tuproqlardagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlashning yangi uslubi ishlab chiqilgan;

izli tahlil uslubi yordamida suyak qoldiqlarining yoshi ulardagi va atrofidagi tuproqdagi  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligining korrelyatsion bog'lanishlariga to'g'ri mutanosibda ekanligi aniqlangan;

instrumental neytron-aktivatsion tahlilidan foydalangan holda yangi topilgan suyak to'qimalarida  $^{232}\text{Th}$  konsentratsiyasining kam miqdorda o'zgarishi ( $0.58 \div 0.78$  mg/kg) ko'rsatilgan, uranning asosiy manbai tuproq ekanligi, shuningdek uranning miqdori ( $1.5 \div 220$  mg/kg) ekanligi aniqlangan;

birinchi marta suyak qoldiqlari tarkibidagi radionuklidlarning umumiy solishtirma  $\alpha$ -aktivligini aniqlash uslubi ishlab chiqilgan va shu tariqa iz tahlili natijalari, radionuklidlarning umumiy  $\alpha$ -aktivligi natijasiga yaqinlashishi ko'rsatilgan;

birinchi marta inson sochidagi  $^{226}\text{Ra}$  konsentratsiyasini aniqlashning yuqori sezgirlikda o'lchaydigan uslub ishlab chiqilgan va inson sochi hududning radioaktiv bilan ifloslanish ko'rsatgichi bo'lib xizmat qilishi aniqlangan.

### **Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

instrumental neytron aktivatsion tahlil usuli bilan tarixiy va qadimiy suyak topilmalarida  $^{238}\text{U}$  elementining konsentratsiyasi, topilmalar atrofidagi tuproqqa bog'liqligi aniqlangan;

instrumental neytron aktivatsion tahlil usuli bilan mamontlar va dinozavrlar suyaklaridagi  $^{232}\text{Th}$  konsentratsiyasi unchalik katta bo'lmagan darajada farq qilishini isbotlandi hamda mos ravishda 0.58, 0.69, 0.62 va standart suyaklarda 0.78 mg/kg, atrofdagi tuproqlarda 13 dan 17 mg/kg gacha bo'lishligi aniqlangan;

**Tadqiqot natijalarining ishonchligi** eksperimental ma'lumotlarni olishda zamonaviy qurilmalar va tadqiqot o'tkazish usullaridan foydalanilganligi bilan asoslangan, yaratilgan qurilmaning parametrlari va olingan natijalarning umumfizikaviy tushunchalarga muvofiqligi, ma'lumotlarni qayta ishlashda sinovdan o'tgan dasturlardan foydalanilganligi bilan tasdiqlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Natijalarning ilmiy ahamiyati shundan iboratki, olingan natijalar antropologiya va arxeologik sohasida topilmalarning biologik yoshini aniqlash imkoniyatlarini kengaytiradi, shuningdek, atrof-muhitning radiatsiyaviy xavfsizligini monitoring qilish uchun radioekologiya muammolarini hal qiladi.

Natijalarning amaliy ahamiyati shundan iboratki, ulardan respublikamiz hududida sutemizuvchilar va ilk odamlar hayotining rivojlanishining turli bosqichlari to'g'risida real ma'lumotlarni olish, shuningdek, hududning radiatsiyaviy ifloslanishi dinamikasini baholash va o'rganish uchun foydalanish mumkin.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Suyak qoldiqlari va inson sochlarini izli tahlili yordamida  $^{222}\text{Rn}$  hamda  $^{226}\text{Ra}$  ni aniqlash uslubini ishlab chiqishda olingan natijalarga asoslanib:

CR-39 iz detektorining o'lchash kamerasi yordamida qadimgi suyak qoldiqlari va uning atrofidagi tuproq qatlamidagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uslubi tog'-kon sanoati hamda geologiya vazirligining Davlat geologiya muzeyida qo'llanilgan (Davlat geologiya muzeyining xati 08.06.2023 yildagi 52-sonli xati). Natijalardan foydalanish skelet eksponatlari yuzasidan radon ajralishini kamaytirish va O'zbekiston Respublikasi radiatsiya xavfsizligi normalari (RXN) sanitariya me'yorlari doirasida  $^{222}\text{Rn}$  hajmiy aktivligini saqlab qolish imkonini bergan;

suyaklardagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi bo'yicha skelet eksponatlarining yoshini baholash usuli, shuningdek uran va toriy ni aniqlash uchun instrumental neytron aktivatsion tahlili natijalari tog'-kon sanoati ham geologiya vazirligining Davlat geologiya muzeyida qo'llanilgan (Davlat geologiya muzeyining 08.06.2023-yildagi №52-sonli xati). Natijalardan foydalanish skelet eksponatlarida atrof-muhitga zararli ta'sir ko'rsatadigan og'ir radioaktiv elementlarning mavjudligi haqida ma'lumot olish imkonini bergan;

izolyatsiyalangan kamerada CR-39 iz detektori bilan  $^{222}\text{Rn}$  ning  $\alpha$ -zarralarini qayd qilish orqali sochlardagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uslubi O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligida ro'yxatga olingan (Foydali

modelga patent №FAP01941, 29.04.2022). Uslubdan foydalanish  $^{226}\text{Ra}$  ni aniqlash uchun tahlilni soddalashtirish va narxini kamaytirish imkonini beragan.

**Tadqiqot natijalarining aprotatsiyasi.** Tadqiqot natijalari 6 ta xalqaro va respublika miqyosidagi konferensiyalarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 18 ta ilmiy ishlar chop etilgan, jumladan, Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya yetilgan ilmiy nashrlarda 4 ta maqola, shundan 2 tasi xorijiy ilmiy jurnallarda, foydali modelga 1 ta patent olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 89 betni tashkil qiladi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi, uning asoslanganligi yoritilib, o'tkazilgan tadqiqotlar respublikaning fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo'nalishlariga muvofiqligi hamda muammoning o'rganilganlik darajasi belgilangan, tadqiqotning maqsadi hamda vazifalari shakllantirilgan, tadqiqot obyektlari, subyektlari va usullari haqida ma'lumot berilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ishonchliligi asoslangan hamda ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amalga oshirish, ishni sinovdan o'tkazish, shuningdek, dissertatsiyaning hajmi va tuzilishi to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning "**Suyak va inson sochlarini tahlil qilishning yadroviy analitik usullarining holati**" nomli birinchi bobida suyak qoldiqlari va inson sochlaridagi elementlar hamda radioizotoplarni eksperimental aniqlash uchun yadro fizikasining bir qator tahlil usullaridan foydalanish konsepsiyasini ishlab chiqishni ko'rib chiqadi; hayvonlar va ibtidoiy odamlarning yangi suyak qoldiqlari tarkibidagi kimyoviy elementlarni o'rganish uchun instrumental neytron-aktivatsion tahlilidan foydalanish, bu topilmalarning mamlakatimiz uchun antropologik ahamiyatini aniqlashda juda muhim; hayvonlar va ibtidoiy odamlarning suyak qoldiqlarida  $^{222}\text{Rn}$  va  $^{226}\text{Ra}$  darajasini o'rganish imkonini beruvchi CR-39 detektori yordamida izli tahlil uslubini hamda qurilmasini ishlab chiqish; ishning barcha bosqichlarini to'liq hajmda bajarish uchun uslublarni ishlab chiqish va qurilmalarni yaratish; dissertatsiya ishida o'rganilgan namunaviy obyektlar: arxeologik suyak qoldiqlari va sochlar haqida ma'lumot berilgan.

Dissertatsiyaning "**Tadqiqot obyektlari va usullari**" deb nomlangan ikkinchi bobi ushbu dissertatsiya tomonidan ishlab chiqilishi va qo'llanilishi yo'naltirilgan eksperimental usullarining batafsil tavsifi keltirilgan.

INAT usulida elementlarning konsentratsiyasini aniqlashda, aniqlanishi kerak bo'lgan elementlarning sonini oldindan rejalashtirish, analitik radionuklidlarni tanlash, shuningdek, nurlanish ta'sir qilish va namunalarning aktivligini o'lchash bilan bog'liq vaqt parametrlarini baholash kerak. Ushbu tajribada o'rganilayotgan suyaklardagi noma'lum elementning tarkibini aniqlash uchun mos keluvchi

etalondan foydalanildi. Bunday holda, ma'lumotnoma va o'rganilayotgan manbalarning tarkibi bir xil bo'lishi kerak, o'lchash shartlari ham butunlay bir xil bo'lishi kerak. Bu shuni anglatadiki, namuna va etalonni o'lchashda geometriya hamda o'lchash rejimlari bir xil gamma-spektrometrik uskuna yordamida to'liq takrorlanishi kerak. Nisbiy aniqlash usuli bir xil namunalarni ommaviy o'lchash uchun juda qulay va element tarkibining haqiqiy qiymatiga yaqinroqdir. Ushbu usulda hisobga olish qiyin bo'lgan ba'zi xatolar, masalan, spektrometrik detektorning aniqlash samaradorligi, radiatsiya oqimining zichligi, yadro reaksiyasining faollashuvi kesimi va radionuklidlar chiqishi bilan bog'liq xatolar kamayadi.

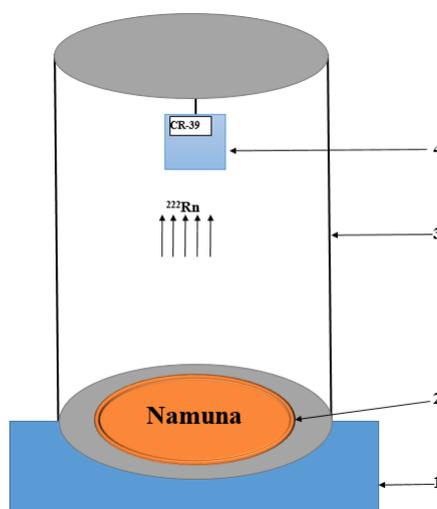
Element tarkibini aniqlashning nisbiy usuli tekshirilayotgan namunaning o'lchov natijalarini va sertifikatlangan aktivlik qiymatiga ega bo'lgan namuna (standart, namunaviy, elementning ma'lum tarkibiga ega) bilan taqqoslash asosida amalga oshiriladi. Quyidagi munosabat bilan belgilanadi:

$$C_x = \frac{N_x}{N_s} C_s \quad (1)$$

bu yerda  $C_x$  va  $C_s$  – namuna elementining tarkibi va etalon, mg/kg;  $N_x$  va  $N_s$  – aniqlanayotgan element va etalonning vaqt birligidagi impulsi, imp/s.

Suyaklar va odamlarning sochlaridagi  $^{222}\text{Rn}$  ning eksxalatsiya tezligini va  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uchun CR-39 izli detektoridan foydalanish orqali suyak kukunlari hamda soch tolalaridan ishlatilgan. Namunaning hajmi kamera hajmidan kichik bo'lsa yoki namuna kukunlardan yoki mayda tolali moddalardan iborat bo'lsa va aniq shaklga ega bo'lmasa, bunday hollarda radon eksxalyatsiya tezligini (RET) Bk/kg·soat birliklarida aniqlash maqsadga muvofiqdir.

Chunki suyak kukunlari va soch tolalaridan radon emanatsiyasini o'lchashda ularning massasi hamda geometrik shakli hisobga olingan. RETni o'lchash uchun hajmi (280 ÷ 370) sm<sup>3</sup> (Ø=(6 ÷ 7) sm va h=(13 ÷ 15) sm) bo'lgan silindrsimon plastmassa kameralar ishlatilgan. 1-rasmda kameraning o'lchov sxemasining ko'rinishi berilgan.



**1-rasm. Radonning hajmiy aktivligini o'lchash kamerasining sxematik ko'rinishi: 1 – taglik, 2 – namuna, 3 – kamera, 4 – CR-39 detektor**

CR-39 detektori kamera ichiga vertikal ravishda o'rnatilgan. Kameraga suyak kukuni yoki soch tolasi kichik plastik idishga joylashtiriladi. O'rganilayotgan namunalarning massasi biologik turga qarab tanlangan va 1 dan 10 grammgacha o'zgarib turadi. Ekspozitsiya vaqtida namunadan chiqayotgan radonning  $\alpha$ -zarralari CR-39 detektoriga yetib boradi va detektor yuzasida ko'zga ko'rinmas izlar hosil qiladi. Tajriba o'tkazilish jarayonida kameraning foni hisobga olinishi kerak. Shuning uchun, ishchi fonning hissasini hisobga olish uchun ekspozitsiyada bir nechta o'lchash kameralarida namunalar bilan birga parallel ravishda namunalarsiz amalga oshirildi.

Eksperimental natijalar shuni ko'rsatdiki, CR-39 detektori uchun optimal o'lchash rejimi quyidagicha: 6M NaOH eritmasi bilan 70°C temperaturada 7 soat vaqt mobaynida ediriladi. Bunday sharoitda hosil bo'lgan izlarning diametri (8 ÷ 10) mkm o'lchamlargacha kattalashadi va detektordagi izlarni mikroskopda kuzatish mumkin bo'ladi. Qulaylik uchun optik mikroskop programma orqali kompyutrga ulangan bo'lib detektordagi izlarni kamera orqali bema'lol ko'rishimiz va tahlil qilishimiz mumkin.

$^{222}\text{Rn}$  dan hosil bo'lgan  $\alpha$ -zarrachalarni to'g'riligini baholash uchun suyak namunalariidagi radionuklidlarning umumiy  $\alpha$ -aktivligini o'lchash MKGB-01 "RADEK" sintillyatsion alfa radiometri bilan amalga oshirildi. MKGB-01 "RADEK" alfa radiometrining asosiy texnik tavsiflari quyidagilardan iborat: diametri 60 mm bo'lgan sintillyatsion detektor ZnS(Ag),  $\alpha$ -zarrachalarni aniqlash uchun energiya diapazoni (2 ÷ 10) MeV,  $\alpha$ -zarralarni aniqlash effektivligi 60% dan kam emas, umumiy  $\alpha$ -aktivligining o'lchov diapazoni (0.1 ÷ 5·10<sup>4</sup>) Bk, xatoligi ±20% dan ko'p emas.

Dissertatsiyaning "**Suyak qoldiqlarida neytron-aktivatsion tahlil usuli**" deb nomlangan uchinchi bobida suyak qoldiqlari tarkibidagi elementlarni o'rganishda neytron-aktivatsion usulining imkoniyatlari ko'rsatilgan.

Tarixiy va qadimgi suyaklar, standart suyaklar va ularning tuproqlarining elementar tarkibi uchun INAT natijalari 1-jadvalda keltirilgan.

Suyak tarkibida ( $10^{-2}$  ÷  $63.2 \cdot 10^3$ ) mg/kg oralig'ida bo'lgan jami 23 ta element topildi. Suyaklardagi Na va Ca ning miqdori (3350 ÷ 4420) mg/kg hamda (27.4% ÷ 41.6%) ni tashkil qiladi. Standart suyak (STS) va janubiy mamont suyaklar (JMS) tarkibida bo'lgan Sc, Cr, Mn, Fe va Co elementlari uchun mos holda 0.47 mg/kg dan 63200 mg/kg gacha aniqlangan.

Tarixiy va qadimgi suyaklardagi (Angrenda topilgan janubiy mamont suyak (JMS-A), Qashqadaryoda topilgan janubiy mamont suyak (JMS-Q) va dinozavr suyak (DS)) yadro parchalanish elementlarining o'rtacha qiymatlarining standart suyakga (STS) nisbati Sc – 17, As – 20, Sr – 20, Mo – 68, Ba – 19, La – 248, Ce – 30, Sm – 18, Eu – 18, Yb – 67.

INAT natijalariga ko'ra, STS uran miqdori ≤0.01 mg/kg va tuproqda 3.4 mg/kg. Arxantrop va ayiq suyaklarida (AS va AYS) parchalanish elementlarining o'rtacha qiymatlarining STS nisbati mos holda As – 15, Sr – 18, Mo – 53, Ba – 27, La – 8, Ce – 20, Sm – 12, Eu – 7 tashkil qiladi.

Bizning fikrimizcha, o'rganilayotgan suyaklardagi (DS, JMS, AS va AYS) bo'linish elementlari (As, Br, Mo, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu va boshqalar) hosil bo'lishi uzoq vaqt davomida  $^{235}\text{U}$  yadrosiga tabiiy neytronlarning ta'siri natijasida bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, dinozavrlar, janubiy mamontlar va arxantrop suyaklarida  $^{238}\text{U}$  kontsentratsiyasi 1.5 mg/kg dan 220 mg/kg gacha, standart suyakda 0.01 mg/kg qiymatiga ega. Bu esa qadimgi suyaklarning sayyoramizdagi hayot rivojlanishining turli davrlariga to'g'ri kelishini ko'rsatadi.

Shuni ta'kidlash kerakki, JMS-A, JMS-Q, DS, va STS da  $^{232}\text{Th}$  kontsentratsiyasi mos holda. 0.69, 0.62, 0.78, va 0.58 mg/kg ni tashkil etadi. O'rganilgan namunalarda  $^{232}\text{Th}$  ning o'rtacha qiymati ( $0.67 \pm 0.07$ ) mg/kg ni tashkil qiladi va INAT xatoligi chegaralarida yotadi. Suyaklardagi toriy miqdorining doimiyligi toriyning uranga qaraganda kamroq harakatchanligini ko'rsatadi.

### 1-juval

#### Tarixiy va qadimgi dinozavr suyaklari, janubiy mamontlar va ularning atrofidagi tuproqlarining INAT usulida olingan natijalari

Elementlar	Standart suyak, [mg/kg]		Tarixiy suyaklar, [mg/kg]					
	STS	Tuproq	JMS-A	Tuproq	JMS-Q	Tuproq	DS	Tuproq
Na	3350	8800	3500	11500	3610	6800	4420	7200
K	1210	20000	1100	23500	500	21300	1290	18500
Ca(%)	29.2	9.8	40	2.9	41.6	6.2	27.4	5.1
Sc	0.47	8.8	13	9.8	3.1	15	7.5	9.2
Cr	8.7	56	3.5	63	6.8	77	9.3	53.8
Mn	40	665	37	755	1970	760	49800	640
Fe	1440	25000	69	32300	1250	33400	63200	32000
Co	1.15	9.3	0.054	15	1.6	16	43	11.5
As	1.6	7.5	12	7.1	19	7.0	65	7.8
Sr	104	270	430	240	3400	310	2390	370
Mo	<0.5	2.7	36	3.6	17	1.3	49.5	2.8
Sb	0.85	3.0	0.35	2.1	4.4	2.1	6.2	2.5
Cs	0.34	4.6	0.047	7.2	0.42	8.3	-	-
Ba	360	810	1490	710	18000	655	545	650
La	2.5	42	5.9	54	37	45	1810	42
Ce	3.6	54	74	21	-	-	140	14.5
Nd	-	-	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.08
Sm	0.32	4.95	7.1	3.1	0.61	5.7	9.9	6.2
Eu	0.071	1.05	0.25	1.3	0.3	1.25	3.6	0.9
Yb	0.12	2.7	3.3	1.8	2.9	0.46	18	1.9
Hf	0.28	5.4	7.6	4.6	0.83	4.9	0.71	5.6
Th	0.58	13	0.69	17	0.62	14	0.78	15
U	<0.01	3.4	220	7.8	180	4.0	35.5	4.1

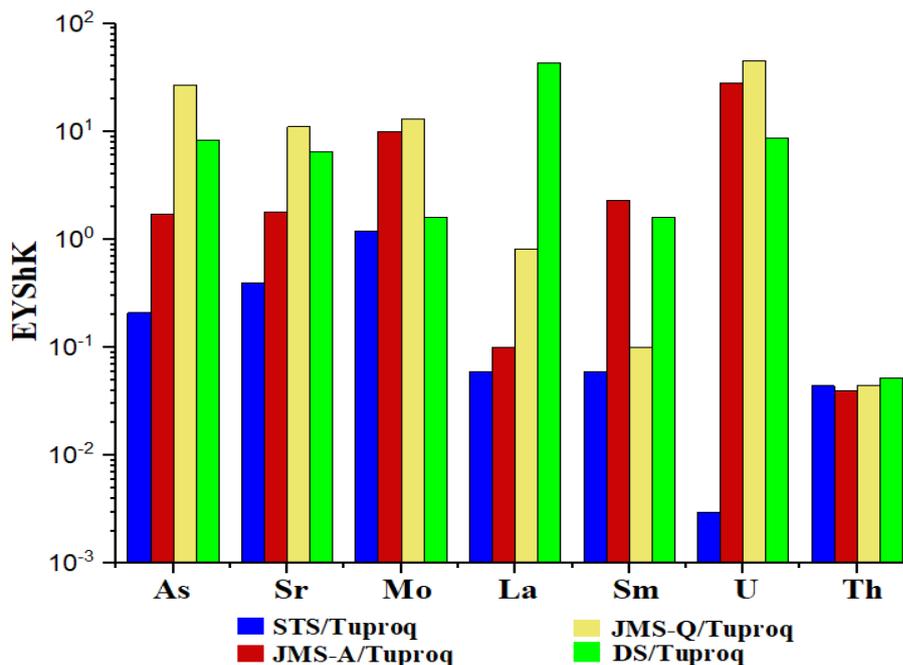
Biologik materillarda elementlarning yig'ilish qiymatini baholash uchun, ya'ni elementlarning harakatchanlik darajasini va o'simlik organizmi tomonidan

yig'ilishini belgilaydigan "o'simlik-tuproq" tizimiga o'xshash "suyak-tuproq" tizimida elementlarning yig'ilish nisbati tekshirildi. Odatdagidek, antropologik tadqiqotlar uchun, biologik tadqiqotlardan farqli o'laroq, EYShK (Elementlarni yig'ilish shartli koeffitsiyenti) quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$EYShK = \frac{M_S}{M_T} \quad (3)$$

bu yerda  $M_S$  – suyakdagi elementlar miqdori,  $M_T$  – tuproqdagi elementlar miqdori.

2-rasmda As, Sr, Mo, La, Sm, U va Th uchun (STS/tuproq, JMS-A/tuproq, JMS-Q/tuproq, DS/tuproq) EYShK ning gistogramma ko'rinishi keltirilgan.



2-rasm. As, Sr, Mo, La, Sm, U va Th elementlari uchun EYShK

Ko'rinib turibdiki, uran elementi uchun topilma suyaklarga nisbatan standart suyaklarda EYShK sezilarli darajada kichkina ekanligini ko'rishimiz mumkin. Bu esa suyak qoldiqlarining tuproq tarkibida uzoq vaqt davomida yotishi bilan tushuntirish mumkin. Topilmalarning yoshi oshgani sayin, bu nisbatlar ham o'zgaradi. Ushbu qiyosiy misollar va Suyak/Tuproq nisbati uchun EYShK qiymatlarining mantiqiy tahliliga asoslangan holda Angren hamda Qashqadaryo viloyatlarida topilgan janubiy mamont suyagi namunalari yoshi o'n million yil bo'lishi mumkin. Aniqlangan elementlar ichida suyaklarga nisbatan eng yaxshi harakatchangi uran elementi ekanligi aniqlandi.

INAT usulida olingan natijalarining ishonchliligini baholash uchun biz olgan standart suyaklarning elementlar tarkibini boshqa mualliflarning natijalari bilan solishtirdik. Natijalar shuni ko'rsatdiki standart suyaklardagi Sc, Mn, As va La elementlar tarkibi bir oz farq qilishi va Na, K, Ca, Cr, Fe, Co, Sr, Sb, Cs, Ba, Th, va U kabi boshqa elementlarning miqdori boshqa mualliflarning ma'lumotlariga to'g'ri kelishi aniqlangan.

Dissertatsiyaning "Suyak qoldiqlari va inson sochlaridagi  $^{222}\text{Rn}$  va  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash usulini ishlab chiqish" deb nomlangan

to'rtinchi bobida suyak topilmalarida va inson sochida  $^{222}\text{Rn}$  eksxalyatsiya tezligini hamda  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligini aniqlashning uslublari keltirilib o'tilgan.

2-jadvalda o'rganilayotgan suyaklar va tuproqlarda  $^{222}\text{Rn}$  hajmiy aktivligi ( $\text{Bk}/\text{m}^3$ ) hamda eksxalyatsiya tezligini ( $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$ ) o'lchash natijalari ko'rsatilgan.

## 2-jadval

### Suyak va tuproqlarda $^{222}\text{Rn}$ hajmiy aktivligi hamda eksxalyatsiya tezligi

№	Namuna, Suyak va tuproq	$\rho$ , iz/ $\text{sm}^2\cdot\text{kun}$	$A_{Rn}$ , $\text{Bk}/\text{m}^3$	$E$ , $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$
1	JMS-A*	2766	16180±3794.2	13.7±2.8
	Tuproq JMS-A	239	1398±327.8	1.18±0.23
2	JMS-Q	508	2970±696.4	2.53±0.6
	Tuproq JMS-Q	46	269±63	0.23±0.05
3	DS-1	916	5313±1245.8	4.49±0.9
	Tuproq DS-1	41	239.8±56.2	0.20±0.04
4	DS-2	220	1276±299.2	1.08±0.22
	Tuproq DS-2	32	185.6±43.5	0.16±0.03
5	AS	140	812±190.4	0.69±0.13
	Tuproq AS	39	226±52.9	0.19±0.04
6	STS	31	182.4±42.7	0.15±0.03
	Tuproq STS	40	235.3±55.1	0.20±0.05

Aniqlanishicha, tarxiy va qadimgi suyaklarda  $A_{Rn}$  hamda  $E$  mos holda ( $812 \div 16180$ )  $\text{Bk}/\text{m}^3$  va ( $0.69 \div 13.7$ )  $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$ , ularning tuproqlarida esa ( $185.6 \div 1398$ )  $\text{Bk}/\text{m}^3$  va ( $0.16 \div 1.18$ )  $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$  aniqlandi. Standart suyak va ularning tuproqlarida esa mos holda  $E$  0.15  $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$  va 0.20  $\text{Bk}/\text{kg}\cdot\text{soat}$  bo'lsa  $A_{Rn}$  esa mos holda 182.4  $\text{Bk}/\text{m}^3$  va 235.3  $\text{Bk}/\text{m}^3$  larda aniqlandi.

3-jadvalda dinozavrlar, janubiy mamontlar, arxantropalar, standart suyaklar va ularning atrofidagi tuproqlar, ya'ni topilmalarni o'rab turuvchi tuproqlar takibidagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi keltirilgan. 3-jadvaldan ko'rinib turibdiki, Angren tuprog'ida  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi ( $133.4\pm 27.1$ )  $\text{Bk}/\text{kg}$  ni tashkil etgan. Boshqa namunalarda tuprog'ida esa ( $17.7\pm 3.5 \div 25.7\pm 5.9$ )  $\text{Bk}/\text{kg}$  oralig'ida aniqlandi.

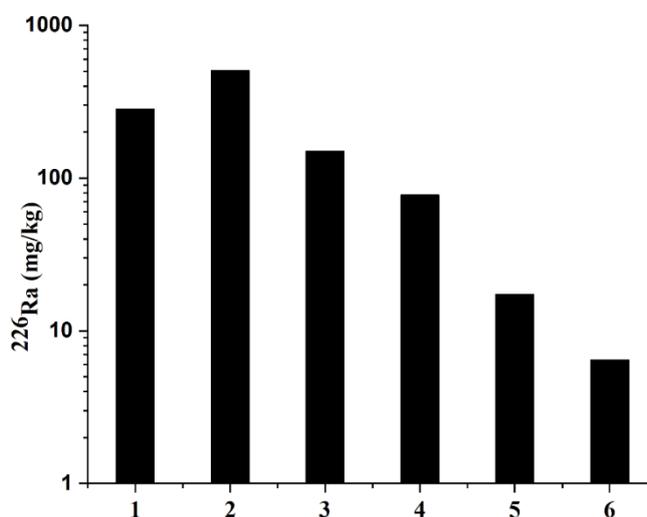
Angrenda topilgan mamont suyagida radiyning solishtirma aktivligi boshqa topilmalarga nisbatan yuqori qiymatlarda aniqlanganligi shu hududning tuproqlarida radiyning solishtirma aktivligi yuqori ekanligidandir, qolaversa, Angerin hududida uran koni mavjudligi bilan ham tushuntiriladi, radiy esa uranning parchalanishi natijasida hosil bo'lgan elementdir. Demak Angenda topilgan (JMS-A) mamont suyagidagi radiyning solishtirma aktivligi 1543.6  $\text{Bk}/\text{kg}$  ni tashkil etadi, bu esa boshqa namunalardan 88.7(STS), 19.6(AS), 12.6(DS-2), 3(DS-1) va 5.4(JMS-Q) marta ko'proq. Angren tuprog'ida radiyning solishtirma aktivligi boshqa hududlarga nisbatan ( $5 \div 8$ ) marta oshib ketishi bu hududda og'ir radioaktiv elementlarning ko'pligidan dalolat beradi. Bundan kelib chiqadiki, suyak qoldiqlarida  $^{226}\text{Ra}$  yig'ilish koeffitsiyent tuprog' tarkibidagi suyaklarning vaqt davomiyligiga bog'liq ekanligi kelib chiqadi.

**Suyak va topilmalarning atrofidagi tuproqlar tarkibidagi  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi**

№	Namuna, suyak va tuproq	$\rho$ , iz/sm <sup>2</sup> ·kun	$A_{Rn}$ , Bk/m <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , Bk/kg
1.	JMS-A*	2766	16180±3794.2	1543.6±257.2
	Tuproq JMS-A	239	1398±327.8	133.4±27.1
2.	JMS-Q	508	2970±696.4	283.3±70.8
	Tuproq JMS-Q	46	269±63	25.7±5.9
3.	DS-1	916	5313±1245.8	506.9±106.2
	Tuproq-1	41	239.8±56.2	22.8±4.7
4.	DS-2	220	1276±299.2	121.7±26.0
	Tuproq DS-2	32	185.6±43.5	17.7±3.5
5.	AS	140	812±190.4	77.5±15.3
	Tuproq AS	39	226±52.9	21.6±4.7
6.	STS (QS)	30	182.4±43.0	17.4
	Tuproq STS	40	235.3±55.1	22.4±6.0
7.	Yangi suyak (YaS) 12.2022 г.	2.2	13.0±3.1	6.45±2.1

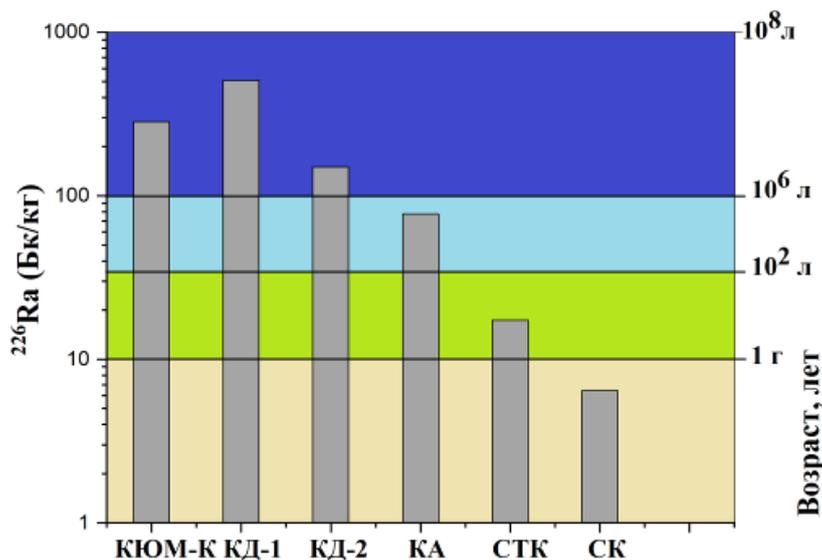
Natijalarimiz shuni ko'rsatadiki, yangi qoramol suyagida  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi 6.45 Bk/kg ni tashkil etdi, bu boshqa mualliflarning ishlaridan sezilarli darajada farq qiladi.

3-rasmda topilmalarning antropologik qiymatlarni  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi dinosavr suyaklarida (DS), mamontlarda (JMS-A va JMS-Q) va arxantoplarda (AS), shuningdek, standart suyaklarda (STS) (3-rasm) radiy tarkibining o'zgarish xarakterini aniq ko'rsatib beradi.



**3-rasm.  $^{226}\text{Ra}$  konsentratsiyasi 1 – JMS-A, 2 – JMS-Q, 3 – DS-1, 4 – DS-2, 5 – AS, 6 – STS.**

Tarixiy va qadimgi suyaklarda  $C_{Ra}$   $^{226}\text{Ra}$  ( $77.5 \div 1543.6$ ) Bk/kg oralig'ida bo'lib, STSda esa 17.4 Bk/kg ni tashkil qiladi. Bu esa standart suyakga nisbatan tarixiy va qadimgi suyaklarda  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi ( $4.5 \div 90$ ) baravar yuqori ekanligini ko'rsatadi. Bundan kelib chiqadiki, topilma suyaklarning yoshi oshgan sayin  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi ham oshib borar ekan.



**4-rasm. Topilma suyaklarning yoshi,  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligiga to'g'ridan-to'g'ri bog'liqligi.**

4-rasmda tarixiy va qadimgi suyaklardagi  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi hamda topilmalarning yoshiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

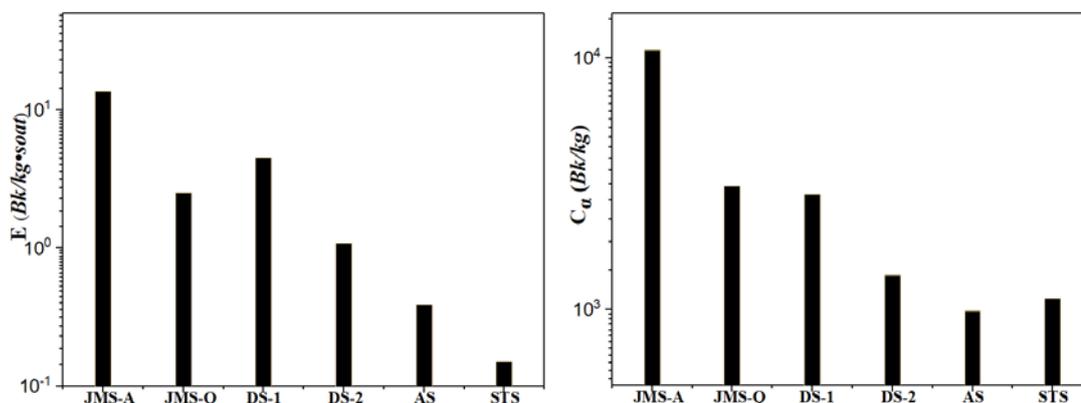
Gistogrammadan kelib chiqib suyaklarning taxminiy yoshini quyidagi tartibda baholash mumkin, agar  $^{226}\text{Ra}$   $C_{Ra} < 6.45$  Bk/kg, u holda yoshi  $< 1$  yilgacha, agar  $^{226}\text{Ra}$   $C_{Ra} < 20$  Bk/kg, u holda yoshi  $< 100$  yilgacha, agar  $^{226}\text{Ra}$   $C_{Ra} < 100$  Bk/kg, bo'lsa  $< 1$  million yilgacha, agar  $^{226}\text{Ra}$   $C_{Ra} > 100$  Bk/kg bo'lsa, unda topilmalarning yoshi  $> 1$  million katta. Dinozavrlar va mamontlar suyak qoldiqlarida  $^{226}\text{Ra}$   $C_{Ra} > 500$  Bk/kg da aniqlangan edi, shuning uchun biz ularning yoshini 10 million yildan ortiq deb hisoblaymiz.

4-jadvalda suyak va tuproq namunalari tarkibida bo'lgan radionuklidlardan  $\alpha$ -aktivliklari bo'yicha umumiy  $\alpha$ -aktivligi natijalari keltirilgan, Bk/kg. 4-jadvaldan ko'rinib turibdiki radionuklidlarning  $C_{\alpha}$  tarixiy va qadimgi suyaklar uchun ( $988 \div 10728$ ) Bk/kg, tuproq uchun ( $360 \div 1828$ ) Bk/kg oralig'ida o'zgarib turadi. Suyaklardagi  $C_{\alpha}$  va  $C_{Ra}$  ni solishtirish shuni ko'rsatadiki, umumiy solishtirma  $\alpha$ -aktivligi  $C_{\alpha}$ ,  $C_{Ra}$  dan ( $10 \div 100$ ) marta farq qiladi, tuproqlarda  $C_{\alpha}$  va  $C_{Ra}$  uchun ham xuddi shunday. Standart suyakdagi  $C_{\alpha}$  qiymatlari (1104 Bk/kg) tuproqdagi  $C_{\alpha}$  dan (360 Bk/kg) 3 baravar yuqori, standart suyakdagi  $C_{Ra}$  esa (17.4 Bk/kg) tuproqdagiga (22.4 Bk/kg) qaraganda 20% kam bo'lib chiqdi.

O'rganilayotgan namunalarning umumiy solishtirma  $\alpha$ -aktivligi

No	Namuna, Suyak va tuproq	$N_\alpha$ , $\alpha$ /soat	$C_\alpha$ , Bk/kg
1	JMS-A*	447	10728 $\pm$ 2000
	Tuproq JMS-A	78	1828 $\pm$ 340
2	JMS-Q	129	3097 $\pm$ 560
	Tuproq JMS-Q	21	504 $\pm$ 90
3	DS-1	120	2877 $\pm$ 540
	Tuproq DS-1	15	360 $\pm$ 68
4	DS-2	57	1369 $\pm$ 240
	Tuproq DS-2	16	384 $\pm$ 76
5	AS	42	988 $\pm$ 190
	Tuproq AS	17	408 $\pm$ 78
6	STS (QS)	46	1104 $\pm$ 210
	Tuproq STS	15	360 $\pm$ 68

O'lchash natijalarni taqqoslash maqsadida 5-rasmda CR-39 detektorlari yordamida iz tahlilining to'g'riligini baholash uchun gistogramma shakli berilgan. a) va b) o'rganilayotgan suyaklardagi (JMS-A, JMS-Q, DS-1, DS-2, AS, STS) RET va radionuklidlarning umumiy  $\alpha$ -aktivligi (UAA).



5-rasm. Suyaklardagi radionuklidlarning UAA va RET natijalarini taqqoslash.

Gistogrammada ko'rinib turibdiki, radionuklidlarning umumiy  $\alpha$ -aktivlik (UAA) qiymatlari RET dan (10÷12) martataga yuqori qiymatda ekanligini ko'rishimiz mumkin. Radionuklidlarning UAA suyak tarkibida bo'lgan barcha radionuklidlarning ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  va parchalanish natijasida hosil bo'ladigan radionuklidlar Ra, Rn, Po, Bi, At va h.k.)  $\alpha$ -nurlanishida olingan natijalar. RET esa  $^{222}\text{Rn}$  dan hosil bo'lgan  $\alpha$ -nurlanishning aktivligi. Taqqoslashlar kuzatish usullari o'rtasida to'liq mos kelishini aniq ko'rsatadi.

Uslub atrof-muhit obyektlarining radiatsiyaviy monitoringi sohasiga tegishli bo'lib, sochlardagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uchun mo'ljallangan.

Inson sochlari og'ir radioaktiv  $^{226}\text{Ra}$  metallning effektiv dozasi inson tanasiga ta'sirini baholash ko'rsatkichi hisoblanadi.

Uslubning asosi  $^{226}\text{Ra}$  va  $^{222}\text{Rn}$  radioaktiv muvozanatga erishgandan so'ng sochlardagi  $^{222}\text{Rn}$  hajmiy aktivligini o'lchashga asoslangan.

5-jadvalda Angrenda va Toshkent yashovchi insonlarning sochlarida  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi hamda konsentratsiyasining natijalari ko'rsatilgan.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, Toshkent aholisidan olingan soch namunalari  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi mos ravishda bolalar uchun 0.12 dan 0.24 mBk/g gacha va kattalar uchun 0.36 dan 0.71 mBk/g gacha aniqlandi. Angrenda yashovchi aholidan olingan soch namunalari esa bu qiymatlar 0.75 dan 1.65 mBk/g gacha. Angrenliklar sochidagi radiyning solishtirma aktivligi Toshkent ma'lumotlariga nisbatan  $2 \div 2.5$  barobar ortib borishi bu hududda og'ir radioaktiv elementlarning yuqori konsentratsiyasi mavjudligidan dalolat beradi. Buning uchun Angren va Toshkent tuproqlarida radonning hajmiy aktivligi (RHA) hamda  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligini o'lchovlari o'tkazildi va aniqlandi.

### 5-jadval

#### Angren va Toshkent odamlarining sochlaridagi $^{226}\text{Ra}$ solishtirma aktivligi va konsentratsiyasi

No	Soch	$\rho$ , iz/sm <sup>2</sup> ·70 kun	$A_{Rn}$ , mBk/m <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , mBk/g	$m_{Ra}$ , 10 <sup>-14</sup> g/g
1	Ташкент	6	331.5±94.5	0.12±0.03	0.32
2		13	667±141.7	0.24±0.05	0.64
3		20	993±283.53	0.36±0.1	0.97
4		39	1937±387.4	0.71±0.14	1.91
5		30	1500±300	0.55±0.11	1.48
6	Ангрен	41	2036±407.2	0.75±0.15	2.02
7		71	3527±705.4	1.30±0.26	3.51
8		90	4471±894.2	1.65±0.33	4.45

6-jadvaldan shuni ko'rishimiz mumkinki, Angren tuprog'ida  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi Toshkent tuprog'iga nisbatan 6 marta yuqor ekanligi aniqlandi va mos holda Angren hamda Toshkent tuproqlar tarkibida  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligi (134±24) Bk/kg va (22.4±6.0) Bk/kg ga teng.

Angren va Toshkent tuproqlarida  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi

Tuproq	$\rho$ , iz/sm <sup>2</sup> ·kun	$A_{Rn}$ , Bk/m <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , Bk/kg
Angren	240	1405±327.8	134.2±25.0
Toshkent	40	235.3±55.1	22.4±6.0

Shunday qilib, Angren va Toshkent hududida istiqomat qiladigan insonlarning sochlari tarkibida  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligining o'rtacha qiymati mos holda (1.23±0.2) mBk/g hamda (0.54±0.12) mBk/g ni tashkil qildi. Bu esa  $^{226}\text{Ra}$  sochda biologik to'planishini ko'rsatadi bunga sabab suv va oziq-ovqat mahsulotlarini istemol qilishi hamda hududning tuprog'idir. Angren aholisining sochlarida radiyning ortiqcha konsentratsiyada bo'lishi hududning geologik joylashuvi bilan bog'liqdir.

Atmosferadan og'ir tabiiy radionuklidlarning sochlardagi to'planishiga kelsak, ularning miqdori ahamiyatsizdir.

## XULOSA

“CR-39 izli detektor bilan suyak qoldiqlari va odamlar sochlaridagi  $^{222}\text{Rn}$  va  $^{226}\text{Ra}$  ni aniqlash uslubini ishlab chiqish” mavzusida texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun olib borilgan ilmiy izlanishlar asosida quyidagi natijalar va xulosalar shakllantirildi:

1. INAT usulida topilma suyak to'qimalarida uranning miqdori (35.5 ÷ 220) mg/kg va standart suyaklarda <0.01 mg/kg aniqlandi. Dinozavr, janubiy mamont, arxantrop va standart suyaklar tarkibidagi  $^{232}\text{Th}$  ning miqdori 0.58 ÷ 0.78 mg/kg ni tashkil qilishi isbotlandi.
2. Tarixiy va qadimgi suyak qoldiqlarida  $^{226}\text{Ra}$  solishtirma aktivligini aniqlash uchun oddiy hamda oson o'lchash uslubi ishlab chiqildi (№ FAP 2022 0440).
3. Tarixiy va qadimgi suyak qoldiqlarini yoshi ulardagi  $^{226}\text{Ra}$  konsentratsiyasiga bog'liqligi ko'rsatildi.
4. Birinchi marta suyak qoldiqlaridagi radioizotoplarning umumiy  $\alpha$ -aktivligini aniqlash uslubi ishlab chiqildi. Radionuklidlarning umumiy solishtirma  $\alpha$ -aktivligining qiymatlari xuddi shu namunalardagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi qiymatlaridan (10 ÷ 12) baravar yuqori ekanligi ko'rsatildi.
5. CR-39 detektor yordamida inson sochidagi  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligini aniqlash uchun oddiy va yuqori sezgirlikka ega, ya'ni 0.12 mBk/g ( $0.32 \cdot 10^{-14}$  g/g) gacha bo'lgan uslub ishlab chiqildi. Aniqlanishicha, Toshkentda yashovchi insonlarning sochlariga nisbatan Angrenda yashovchi insonlarning sochlarida  $^{226}\text{Ra}$  ning solishtirma aktivligi (2 ÷ 2.5) baravar yuqori ekan aniqlandi. Bu esa bizga ushbu hududda og'ir radioaktiv elementlarning yuqori konsentratsiyasi mavjudligini ko'rsatadi. Sochlardagi radiyning solishtirma aktivligining joylarga nisbatan o'zgarishi, sochni radioindikator sifatida foydalanish mumkinligini isbotlaydi (Foydali modelga patent olingan № FAP 01941, 29.04.2022).



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

---

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

**САЙДУЛЛАЕВ БАХОДИР ЖУРАЕВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  $^{222}\text{Rn}$  И  $^{226}\text{Ra}$  В  
КОСТНЫХ ОСТАНКАХ И ВОЛОСАХ ЧЕЛОВЕКА ТРЕКОВЫМ  
ДЕТЕКТОРОМ CR-39**

**01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

**Ташкент – 2023**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером **B2023.4.PhD/TXXX**.

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](http://www.inp.uz)) и Информационно-образовательном портале «Ziyonet» ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Научный руководитель:**

**Васидов Абдисамат**  
доктор технических наук,  
старший научный сотрудник

**Официальные оппоненты:**

**Раджапов Сали Аширович**  
доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник

**Данилова Елена Артаваздовна**  
кандидат химических наук,  
старший научный сотрудник

**Ведущая организация:**

**Самаркандский государственный университет**

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 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 АН РУз. Тел.: (+99871) 289-31-41; факс: (+99871)289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

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

Автореферат диссертации разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.  
(протокол рассылки № \_\_\_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 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, старший научный  
сотрудник

**Э.М.Турсунов**  
председатель научного семинара при  
Научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.ф.-м.н., профессор

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В настоящее время исследование методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) проводится во многих ведущих научных центрах мира. Среди радиоаналитических методов инструментальный нейтронно-активационный анализ получил широкое применение благодаря низкому пределу обнаружения элементов и возможности проведения многоэлементного анализа. Для археологов, палеонтологов и радиоэкологов практический и научный интерес представляют сведения об элементном составе костей, а также подвижность и накопление радионуклидов в костях при длительном нахождении скелета в недрах земли. Актуальность инструментального нейтронно-активационного анализа подтверждается исследованиями вариаций содержания элементов в недавно найденных (2000–2014 гг.) костных останках динозавров, южного мамонта, архантропа и стандартных костях овцы и крупного рогатого скота, соответствующих различным возрастным периодам развития жизни на нашей планете. Для определения скорости эксхалляции  $^{222}\text{Rn}$  и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в костных образцах востребованы методики трекового анализа с применением ядерных твердотельных детекторов (ЯТТД) типа CR-39.

В мире методы измерения альфа излучателей нашли широкое применение в исследованиях, связанных с экологией, производством продуктов питания, охраной здоровья, геологическими и геофизическими изысканиями. Для исследования радона в природных и техногенных объектах широко применяются ядерные твердотельные трековые детекторы (ЯТТД). 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 условиях изменения климата и техногенного воздействия радиоактивных загрязнений на экологическую среду, чрезвычайная роль отводится радиационному контролю уровня радиации в органах человека, так как возникновение заболеваний тех или иных органов человека находится в прямой зависимости от радиационного уровня. Одним из индикаторов состояния здоровья, являются волосы человека.

В нашей Республике проводятся работы по определению состава и вариации радиоактивных микроэлементов в волосах, что позволяет ученым радиоэкологам и медикам использовать их как показатель физического состояния организма человека. Направление этих прикладных исследований, имеющих большое значение для развития науки нашей страны, связаны со Стратегией<sup>2</sup> развития нового Узбекистана на 2022–2026 гг.

---

<sup>2</sup>Указ Президента Республики Узбекистан № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 гг.» от 28 января 2022 г.

Исследования, проведенные в данной диссертационной работе, в определенной мере соответствуют задачам, обозначенным в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О Стратегии развития нового Узбекистана на 2022–2026 гг.», Постановлениях Президента Республики Узбекистан от 15 декабря 2010 года № ПП-1442 «О приоритетах развития промышленности Республики Узбекистан в 2011–2015 гг.», от 17 февраля 2017 года № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности», а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данном направлении.

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

**Степень изученности проблемы.** В настоящее время измерениями объемной активности и скорости эксхалации радона трековыми детекторами типа CR-39 занимаются ученые во многих лабораториях мира, в частности шведские (Akerblom G., Anderson P., Mustonen R.), словенские (Ilic R., Durrani S.A., Vaupotic J.), американские (Fleisher R.L., Hart H.R., Morgo-Campero A.), индийские (Singh S., Malhotra R., Kumar J.), российские (Яковлева В.С., Каратаев В.Д., Николаев В.А., Антипина Е.Е., Зайчик В.Е.), пакистанские (Said Rahman, Al-Jarallah M.I., Abu-Jarad F., Fazal-ur-Rahman), узбекистанские (Васидова А.) и другие исследователи.

Исследования с использованием трекового детектора типа CR-39 показали, что в повседневной жизни, население планеты получает большие дозы от  $^{222}\text{Rn}$ . При этом высокий уровень радона наблюдается в обычных домах и рабочих помещениях, представляющих опасность для здоровья резидентов. Эти результаты привели к широкому спектру мероприятий и интенсивным исследованиям, направленным на ограничение воздействия радона на человека. Согласно данным российских ученых, кости животных и человека достаточно обильны в археологических памятниках, и зачастую являются наиболее многочисленным и долговосхраняющимся материалом на Земле. В работе А.Васидова экспериментальным методом ИНАА определен микроэлементный состав доисторических и древних костей, найденных в 1960–1980 гг. на территории Узбекистана, и показана зависимость возрастания содержания урана и делящихся элементов в костных останках от длительности нахождения скелетов в почвенных слоях Земли.

Однако до сих пор не измерены скорости эксхалации  $^{222}\text{Rn}$  и удельная активность  $^{226}\text{Ra}$ , а также суммарные альфа активности в костных находках. До сих пор остаются дискуссионными пути поступления и накопления элементов в костях и радиогенное датирование возраста в условиях, происходящих в системе «почва-кость». Научные работы, посвященные

исследованию содержания элементов в доисторических и древних костных находках, также 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.

**Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ научно-исследовательского учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в рамках утвержденной Постановлением Президента РУз № ПП-4526 от 21 ноября 2019 года программы научно-исследовательских работ Института ядерной физики АН РУз на 2020–2024 годы по теме «Разработка радиохимических технологий получения радионуклидов для ядерной медицины и технологии, получение модифицированных и композиционных сорбентов для очистки жидких радиоактивных отходов» (2020-2024).

**Целью исследования** является разработка методики определения скорости эксхалиции  $^{222}\text{Rn}$ , удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  с помощью CR-39 детектора.

**Задачи исследования:**

применение инструментального нейтронно-активационного анализа для исследования элементного состава костных останков динозавров, южных мамонтов, архантропа и стандартной кости с целью получения информации, соответствующей различным возрастным периодам развития жизни млекопитающих и первобытных людей на Земле;

разработка методики трекового анализа с использованием CR-39 детектора для определения скорости эксхалиции  $^{222}\text{Rn}$  и удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в костных останках и окружающих их почвах;

разработка методики определения суммарной удельной  $\alpha$ -активности радионуклидов для оценки достоверности результатов трекового анализа;

разработка методики измерения скорости эксхалиции  $^{222}\text{Rn}$  с помощью трекового детектора CR-39 для определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в волосах людей.

**Объектом исследования** являются кости динозавров, южных мамонтов, архантропа, стандартная или обычная кость барана и крупнорогатого скота, окружающие их почвы, волосы человека, радиоактивный и инертный газ  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ .

**Предметом исследования** является содержание и распределение химических элементов и их вариации в доисторических и древних костях, суммарные и удельные активности альфа излучающих радионуклидов в биологических образцах, объемная активность и скорость эксхалиции  $^{222}\text{Rn}$ .

**Методы исследования:** методы инструментального нейтронно-активационного анализа, измерения суммарной  $\alpha$ -активности радионуклидов, трековый детектор CR-39.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана новая методика определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в древних костных останках и окружающем их слое почвы с помощью измерительной камеры трекового детектора CR-39, регистрирующего  $\alpha$ -частицы дочернего  $^{222}\text{Rn}$  из костей и почвы;

методом трекового анализа установлено, что возраст костных остатков находится в прямой зависимости от корреляций удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в них и в окружающей почве;

с использованием инструментального нейтронно-активационного анализа новонайденных костей показано, что почва является основным источником поступления урана в ткань скелета ( $1.5 \div 220$ ) мг/кг, при этом концентрация  $^{232}\text{Th}$  в костях меняется незначительно ( $0.58 \div 0.78$  мг/кг);

впервые разработана методика определения суммарной  $\alpha$ -активности радионуклидов в костных останках и показана сходимость результатов трекового анализа и суммарной  $\alpha$ -активности радионуклидов;

разработана высокочувствительная методика определения концентрации  $^{226}\text{Ra}$  в волосах человека и показано, что волосы служат индикатором радиозагрязнения местности.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

методом инструментального нейтронно-активационного анализа обнаружена корреляционная зависимость между концентрацией  $^{238}\text{U}$  в доисторических и древних костных находках и окружающем их слое почвы;

методом инструментального нейтронно-активационного анализа доказано, что концентрация  $^{232}\text{Th}$  в костных останках мамонтов и динозавра различается незначительно и составляет: 0.58; 0.69; 0.62 соответственно, и 0.78 мг/кг в костях стандарта, при содержании в окружающем их слое почвы от 13 до 17 мг/кг.

**Достоверность результатов исследования** обеспечивается использованием современного оборудования и методик проведения исследований, подтверждается параметрами созданной установки и соответствием полученных результатов общефизическим представлениям, использованием аттестованных программ обработки данных.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов заключается в расширении возможностей определения возраста биологических и археологических находок в области антропологии и археологии, а также в решении задач радиозащиты для контроля радиационной безопасности окружающей среды.

Практическая значимость результатов определяется тем, что они могут использоваться для получения реальных данных о различных этапах развития жизни млекопитающих и первых людей на территории нашей Республики, а также для оценки и изучения динамики радиационного загрязнения местности.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных результатов по разработке методик для определения  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  с помощью трекового анализа костных останков и волос человека:

методика определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в древних костных останках и окружающем их слое почвы с помощью измерительной камеры трекового детектора CR-39 была использована в Государственном геологическом музее Министерства горнодобывающей промышленности и геологии (Письмо Государственного геологического музея № 52 от 06.08.2023). Использование результатов позволило уменьшить выход радона с поверхности экспонатов скелетов и поддерживать объемную активность  $^{222}\text{Rn}$  в пределах санитарных норм радиационной безопасности (НРБ) РУз;

методика определения возраста экспонатов скелетов по удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в костях, а также результаты инструментального нейтронно-активационного анализа по определению урана и тория были использованы в Государственном геологическом музее Министерства горнодобывающей промышленности и геологии (Письмо Государственного геологического музея № 52 от 06.08.2023). Использование результатов позволило получить информацию о присутствии в экспонатах скелетов тяжелых радиоктивных элементов, которые пагубно влияют на окружающую среду;

способ определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в волосах путем регистрации  $\alpha$ -частиц дочернего радона-222 трековым детектором CR-39 в изолированной камере зарегистрирован в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (патент РУз на полезную модель № FAP 01941 от 29.04.2022). Использование способа позволяет упростить и снизить затраты анализа на предмет обнаружения  $^{226}\text{Ra}$ .

**Апробация результатов исследования.** Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 13 международных и республиканских конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликованы 18 научных работ, из них 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из которых 2 в зарубежных научных журналах, 1 патент на полезную модель.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы. Объем диссертации составляет 89 страниц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Во введении** обоснованы актуальность и востребованность темы диссертации, определено соответствие проведенных исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, изложена степень изученности проблемы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены сведения об объектах, предметах и методах исследования, изложены научная новизна и практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты

научная и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения о внедрении результатов исследования, апробации работы, а также об объеме и структуре диссертации.

В первой главе диссертации **«Состояние ядерно–аналитических методов анализа костей и волос человека»** приводится обзор по разработке концепции использования ряда ядерно–физических методов анализа для экспериментального определения элементов и радиоизотопов в костных останках и волосах людей; применению инструментального нейтронно–активационного анализа для исследования химических элементов в новых костных останках животных и первобытных людей, что очень важно для определения антропологической ценности этих находок для нашей страны; разработке методики трекового анализа с использованием CR-39 детектора, позволяющей изучать уровни содержания  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в костных останках животных и первобытных людей; разработке методов и созданию устройств для выполнения всех этапов работы в полном объеме; дается информация об исследуемых модельных объектах – археологических костных останках и волосах.

Вторая глава диссертации **«Объекты и методы исследования»** посвящена детальному описанию экспериментальных методов, на развитие и применение которых направлена настоящая диссертационная работа.

При определении концентрации элементов ИНАА необходимо заранее планировать количество определяемых элементов, подбирать аналитические радионуклиды, а также оценивать временные параметры, связанные с облучением, выдержками и измерением наведенной активности образцов.

В данном эксперименте для определения содержания неизвестного элемента в исследуемых костях был использован эталонный стандарт. При этом состав эталонного и исследуемого источников должны быть одинаковы, условия измерений также должны быть полностью идентичны. Это означает, что при измерении образца и стандарта должны быть полностью воспроизведены геометрия и режимы измерений с использованием одной и той же гамма–спектрометрической аппаратуры. Метод относительного определения очень удобен при массовых измерениях однородных образцов и ближе к истинному значению содержания элемента. В данном методе некоторые трудно учитываемые погрешности сокращаются, например, связанные с эффективностью регистрации спектрометрического детектора, с плотностью потока облучения, с сечением активации ядерной реакции и выходом радионуклида.

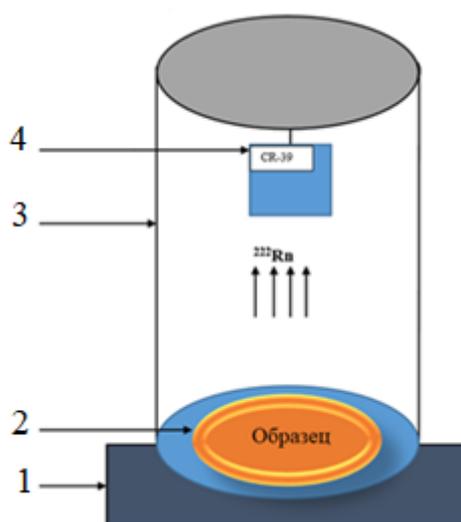
Относительный способ определения содержания элемента реализуется на основе сопоставления результатов измерений исследуемого и эталонного (стандартного, образцового, с известным содержанием элемента) образца с аттестованным значением активности, и определяется по следующему соотношению:

$$C_x = \frac{N_x}{N_s} C_s \quad (1)$$

где  $C_x$  и  $C_s$ - содержание искомого элемента и эталона, мг/кг;  $N_x$  и  $N_s$ - площадь фотопика искомого элемента и эталона, имп/с.

При применении трекового детектора CR-39 для определения скорости эксхалляции радона-222 и удельной активности радия-226 в костных останках и волосах людей были использованы порошки костей и прядей волос. Когда объем пробы меньше, чем объем накопительной камеры, или проба состоит из гранул или тонких волосообразных веществ и не имеет определенной формы, в таких случаях целесообразно определять СЭР в единицах Бк/кг·ч.

Поэтому при измерении эманации радона из порошка костей и прядей волос учитывали их массу и геометрическую форму. Для измерения скорости эксхалляции радона (СЭР) использовали цилиндрические пластиковые камеры объемом (280 ÷ 370) см<sup>3</sup> (Ø = (6 ÷ 7) см и h = (13 ÷ 15) см). На рис. 1 дано схематическое изображение этой измерительной камеры.



**Рис. 1. Схематическое изображение пластиковой камеры для измерения объемная активность радона (ОАР): 1 – подставка, 2- образец, 3- камера, 4- детектор CR-39**

Как видно, внутри камеры по вертикали закреплен детектор CR-39. На дно камеры, в маленькую пластиковую чашку помещается порошок из костей или прядь волос. Масса исследуемых образцов подбирается в зависимости от биологического типа и варьируется в интервале от 1 до 10 грамм. При длительных регистрациях  $\alpha$ -частиц радона и ДПР на CR-39 детекторах, необходимо учитывать рабочий фон измерительной камеры, эманующий из окружающей подложки. Поэтому для учета вклада рабочего фона были параллельно проведены экспонирования с образцами и без образца в нескольких измерительных камерах.

Результаты экспериментов показали, что оптимальный режим травления для детектора CR-39 следующий: раствор 6М NaOH; температура травления 70 °С, время травления 7 часов. При этих условиях диаметр образовавшихся треков достигает размеров (8 ÷ 10) мкм, что удобно для наблюдения под

микроскопом и подсчета. Подсчет числа треков производится с экрана монитора, связанного с оптическим микроскопом через телекамеру.

Для определения суммарной удельной активности  $\alpha$ -излучающих радионуклидов в костных образцах и для оценки правильности  $\alpha$ -излучения радона-222 были проведены измерения  $\alpha$ -активностей радионуклидов сцинтилляционным альфа-радиометром МКГБ-01 «РАДЭК». Основные технические характеристики альфа-радиометра МКГБ-01 «РАДЭК» следующие: сцинтилляционный детектор ZnS(Ag) диаметром 60 мм, детектируемый интервал энергии  $\alpha$ -частиц ( $2 \div 10$ ) МэВ, эффективность регистрации  $\alpha$ -частиц не менее 60 %, диапазон измерения суммарной  $\alpha$ -активности ( $0.1 \div 5 \cdot 10^4$ ) Бк при погрешностях не более  $\pm 20\%$ .

В третьей главе диссертации «**Нейтронно-активационный анализ костных останков**» представлены возможности метода нейтронно-активационного анализа в исследованиях объектов костных останков.

Полученные результаты ИНАА элементного состава доисторических и стандартных костей и их почв приведены в таблице 1.

В костях были обнаружены 23 элемента с содержанием в диапазоне ( $10^{-2} \div 63.2 \cdot 10^3$ ) мг/кг. Содержание Na и Ca в костях составили 3350 мг/кг  $\div$  4420 мг/кг и ( $27.4 \div 41.6$ )%. Для элементов Sc, Cr, Mn, Fe и Co в стандартной кости (СТК) и кости южных мамонтов (КЮМ) содержание колеблется от 0.47 мг/кг до 63200 мг/кг.

Соотношения средних значений элементов ядерного деления в доисторических костях (кости динозавров из Кызылкума (КД) и южных мамонтов (КЮМ), которые были обнаружены в 2000–2014 гг. на территории Узбекистана вблизи г. Ангрена (КЮМ-А) и в селе Гиштли Кашкадарьинской области (КЮМ-К)), к стандартной кости (СТК) составили для Sc -17, As -20, Sr -20, Mo -68, Ba -19, La -248, Ce -30, Sm -18, Eu -18, Yb -67.

Как показывают результаты ИНАА, количество урана в костях архантропа (КА), медведя (КМ), СТК и почв, взятых из места обнаружения составило 1.53 и 24.4 мг/кг, соответственно при содержании урана в стандартной кости  $\leq 0.01$  мг/кг и почве 3.4 мг/кг. А их соотношения средних значений элементов деления в костях архантропа и медведя (КА и КМ) к СТК (кость барана) составили для As -15, Sr -18, Mo -53, Ba - 27, La - 8, Ce -20, Sm - 12, Eu -7.

По нашему мнению, элементы деления (As, Br, Mo, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu и др.) в исследуемых костях (КД, КЮМ, КА и КМ) могли образоваться в естественных условиях в течение длительного времени под действием взаимодействия надземных и подземных нейтронов на ядрах  $^{235}\text{U}$ .

Таблица 1

**ИНАА доисторических костей динозавров, южных мамонтов и  
окружающих их слоев почвы**

Элементы	Стандартная кость, мг/кг		Доисторические кости, мг/кг					
	СТК	Почва	КЮМ-А	Почва	КЮМ-К	Почва	КД	Почва
Na	3350	8800	3500	11500	3610	6800	4420	7200
K	1210	20000	1100	23500	500	21300	1290	18500
Ca(%)	29.2	9.8	40	2.9	41.6	6.2	27.4	5.1
Sc	0.47	8.8	13	9.8	3.1	15	7.5	9.2
Cr	8.7	56	3.5	63	6.8	77	9.3	53.8
Mn	40	665	37	755	1970	760	49800	640
Fe	1440	25000	69	32300	1250	33400	63200	32000
Co	1.15	9.3	0.054	15	1.6	16	43	11.5
As	1.6	7.5	12	7.1	19	7.0	65	7.8
Sr	104	270	430	240	3400	310	2390	370
Mo	<0.5	2.7	36	3.6	17	1.3	49.5	2.8
Sb	0.85	3.0	0.35	2.1	4.4	2.1	6.2	2.5
Cs	0.34	4.6	0.047	7.2	0.42	8.3	-	-
Ba	360	810	1490	710	18000	655	545	650
La	2.5	42	5.9	54	37	45	1810	42
Ce	3.6	54	74	21	-	-	140	14.5
Nd	-	-	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.08
Sm	0.32	4.95	7.1	3.1	0.61	5.7	9.9	6.2
Eu	0.071	1.05	0.25	1.3	0.3	1.25	3.6	0.9
Yb	0.12	2.7	3.3	1.8	2.9	0.46	18	1.9
Hf	0.28	5.4	7.6	4.6	0.83	4.9	0.71	5.6
Th	0.58	13	0.69	17	0.62	14	0.78	15
U	<0.01	3.4	220	7.8	180	4.0	35.5	4.1

Таким образом, концентрация  $^{238}\text{U}$  в костях динозавров, южных мамонтов, архантропа составляет от 1.5 мг/кг до 220 мг/кг при значении 0.01 мг/кг в стандартной кости. Это показывает, что древние кости соответствуют различным периодам развития жизни на нашей планете.

Надо отметить, что концентрация  $^{232}\text{Th}$  в КЮМ-А, КЮМ-К, КД, КА и СТК была равной 0.69, 0.62, 0.78, 0.68 и 0.58 мг/кг, соответственно. Среднее значение  $^{232}\text{Th}$  в исследованных образцах составляет  $(0.67 \pm 0.07)$  мг/кг и лежит в пределах допустимых ошибок ИНАА. Постоянство содержания тория в костях свидетельствует о том, что торий менее подвижен по сравнению с ураном.

Для оценки величины биологического поглощения в системе «кость-почва» проверяли соотношение элементов аналогично системе «растительность-почва», определяющий уровень подвижности элементов и интенсивность поглощения растительным организмом. Для антропологических исследований, в отличие от биологических, был введен условный коэффициент накопления элементов (УКНЭ):

$$УКНЭ = \frac{M_k}{M_{п}} \quad (2)$$

где;  $M_k$  — количество элемента в кости,  $M_{п}$  — его количество в почве.

На рис. 2 представлена гистограмма  $УКНЭ$  для элементов As, Sr, Mo, La, Sm, U и Th в системах КС/почва, КЮМ-А/почва, КЮМ-К/почва, КД/почва.

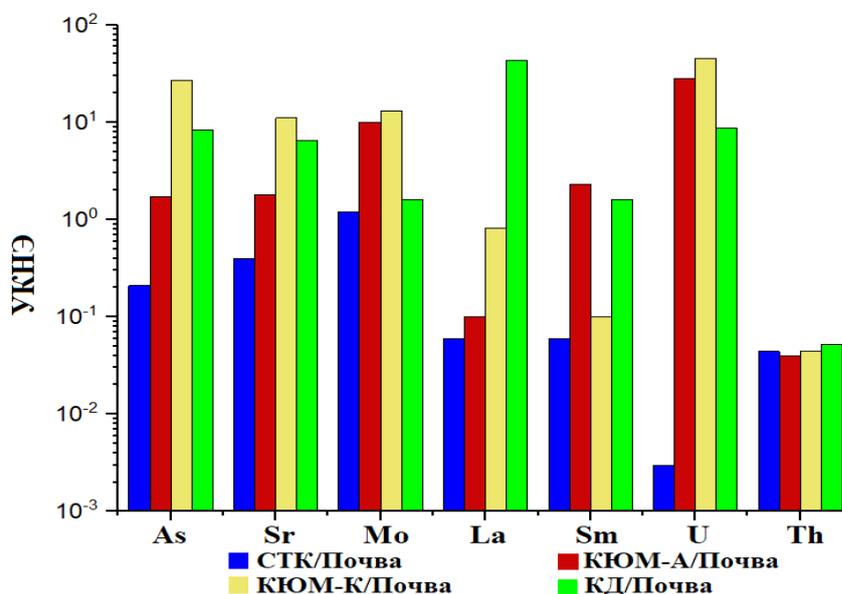


Рис. 2.  $УКНЭ$  для элементов As, Sr, Mo, La, Sm, U и Th

Видно, что  $УКНЭ$  урана в СТК/почва значительно ниже по сравнению с другими образцами костных останков. Возможно это связано с длительностью нахождения останков в почве. По мере увеличения возраста скелетов эти соотношения также меняются. Судя по этим сравнительным примерам и логическому анализу значений  $УКНЭ$  для соотношения Кость/Почва, возраст образцов костей южных мамонтов, найденных в Ангренской и Кашкадарьинской областях, может составлять десятки миллионов лет. Наиболее подвижным элементом в вышеупомянутых костях является уран. Элементы хром, стронций и лантаноиды также имеют наивысший  $УКНЭ$ .

Для оценки достоверности полученных результатов ИНАА были проведены сравнения элементного состава стандартных костей, полученных нами с результатами других авторов, где содержание элементов Sc, Mn, As и La в стандартных костях отличается незначительно, а содержание остальных элементов, таких как Na, K, Ca, Cr, Fe, Co, Sr, Sb, Cs, Ba, Th, U совпадает с данными других авторов в пределах ошибок анализа.

Четвертая глава диссертации «Разработка методики трекового определения удельных активностей  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в костных останках и волосах людей» посвящена описанию разработанных методик определения скорости эксхалиции  $^{222}\text{Rn}$ , удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в костных находках и волосах человека.

В таблице 2 приведены результаты измерения объемной активности (Бк/м<sup>3</sup>) и скорости эксхалации <sup>222</sup>Rn (Бк/кг·ч) с поверхности исследуемых костей и почв.

**Таблица 2**

**Объемная активность и скорость эксхалации <sup>222</sup>Rn с поверхности исследуемых костей и почв**

№	Проба, кость и почва	$\rho$ , трек/см <sup>2</sup> д	$A$ , Бк/м <sup>3</sup>	$E$ , Бк/кг·ч
1	КЮМ-А*	2766	16180±3794.2	13.7±2.8
	Почва КЮМ-А	239	1398±327.8	1.18±0.23
2	КЮМ-К	508	2970±696.4	2.53±0.6
	Почва КЮМ-К	46	269±63	0.23±0.05
3	КД-1	916	5313±1245.8	4.49±0.9
	Почва КД-1	41	239.8±56.2	0.20±0.04
4	КД-2	220	1276±299.2	1.08±0.22
	Почва КД-2	32	185.6±43.5	0.16±0.03
5	КА	140	812±190.4	0.69±0.13
	Почва КА	39	226±52.9	0.19±0.04
6	СКТ	31	182.4±42.7	0.15±0.03
	Почва СКТ	40	235.3±55.1	0.20±0.05

Как видно из табл. 4.1, значения  $A$  и  $E$  в доисторических и древних костях изменяются в интервале (812 ÷ 16180) Бк/м<sup>3</sup> и (0.69 ÷ 13.7) Бк/кг·ч, в почве (185.6 ÷ 1398) Бк/м<sup>3</sup> и (0.16 ÷ 1.18) Бк/кг·ч. В то же время  $E$  в стандартной кости и почве составило 0.15 Бк/кг·ч и 0.20 Бк/кг·ч при  $A$  182.4 Бк/м<sup>3</sup> и 235.3 Бк/м<sup>3</sup>, соответственно.

Найденные значения удельных активностей (УА) <sup>226</sup>Ra в костях динозавров, южных мамонтов, архантропа, барана и окружающих их почв приведены в таблице 3. Видно, что УА <sup>226</sup>Ra в почве Ангрена составила (133.4±27.1) Бк/кг, что почти в (5.2 ÷ 7.5) раз больше, чем УА <sup>226</sup>Ra в других почвах, где значения лежат в пределах (17.7±3.5 ÷ 25.7±5.9) Бк/кг.

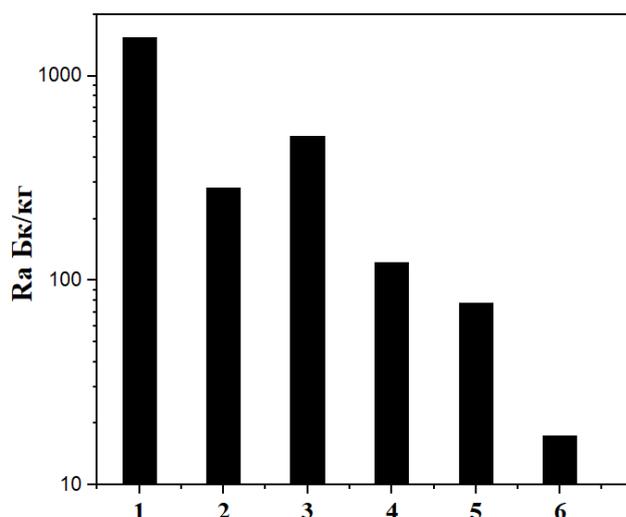
Такое высокое значение удельной активности радия в кости мамонта, найденного в Ангрене, объясняется тем, что местная почва богата ураном и соседствует с бывшей урановой шахтой, а радий является продуктом распада урана. УА <sup>226</sup>Ra в кости мамонта из Ангрена (КЮМ-А) составила 1543.6 Бк/кг, что в 88.7(СТК), 19.6(КА), 12.6(КД-2), 3(КД-1) и 5.4(КЮМ-К) раз больше. Отсюда следует, что почва является основным источником поступления радия в ткань скелета КЮМ-А. Превышение удельной активности радия в 5÷8 раз в КЮМ-А и в почве Ангрена по сравнению с другими данными свидетельствует о высоком содержании тяжелых радиоактивных элементов в этой местности. Отсюда следует, что степень аккумуляции <sup>226</sup>Ra в костных останках связана с длительностью нахождения скелетов в почвах и вкладом <sup>226</sup>Ra из цепочки распада <sup>238</sup>U.

**Результаты удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в костях и окружающих их почвах**

№	Проба, кость и почва	$\rho$ , тр/см <sup>2</sup> ·д	$A_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , Бк/кг
1.	КЮМ-А*	2766	16180±3794.2	1543.6±257.2
	Почва КЮМ-А	239	1398±327.8	133.4±27.1
2.	КЮМ-К	508	2970±696.4	283.3±70.8
	Почва КЮМ-К	46	269±63	25.7±5.9
3.	КД-1	916	5313±1245.8	506.9±106.2
	Почва-1	41	239.8±56.2	22.8±4.7
4.	КД-2	220	1276±299.2	121.7±26.0
	Почва КД-2	32	185.6±43.5	17.7±3.5
5.	КА	140	812±190.4	77.5±15.3
	Почва КА	39	226±52.9	21.6±4.7
6.	СТК (КБ)	30	182.4±43.0	17.4
	Почва СТК	40	235.3±55.1	22.4±6.0
7.	Свежая кость 12.2022 г.	2.2	13.0±3.1	6.45±2.1

Как показывают наши результаты, в свежей кости крупнорогатого скота удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  составила 6.45 Бк/кг, что значительно отличается от работ других авторов, например, (0.26 ÷ 0.50) Бк/кг и  $\geq 1$  Бк/кг.

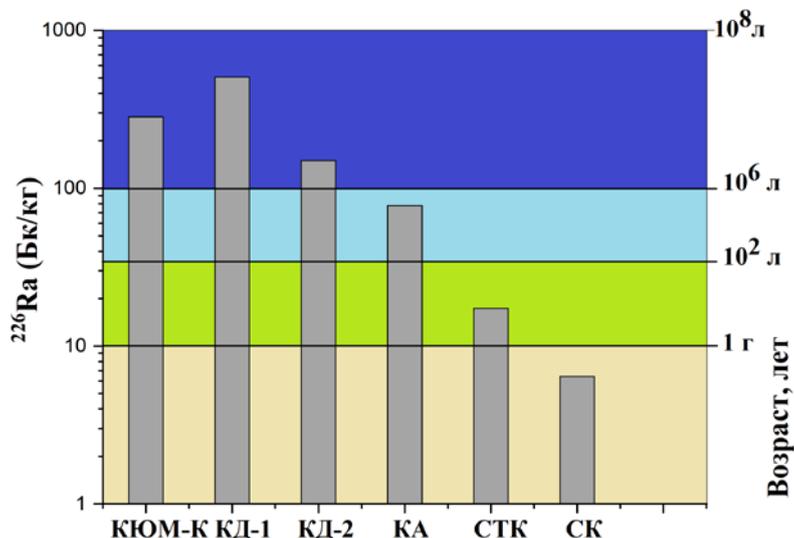
Распределение УА  $^{226}\text{Ra}$  в костях динозавра (КД), мамонтов (КЮМ-А и КЮМ-К) и архантропа (КА), а также в стандарте кости (СТК) представлено на рис. 3, который наглядно иллюстрирует характер изменения содержания радия в антропологических находках.



**Рис. 3. Концентрация Ra-226 в 1 – КЮМ-А, 2 – КЮМ-К, 3 – КД-1, 4 – КД-2, 5 – КА, 6 – СТК.**

В древних и доисторических костях УА  $^{226}\text{Ra}$  находится в интервале (77.5 ÷ 1543.6) Бк/кг, что в (5 ÷ 90) раз выше, чем УА  $^{226}\text{Ra}$  в стандартной кости 17.4 Бк/кг (СТК - кость барана, отлежавшая примерно 10 лет в почве). Из этого следует, чем больше возраст скелета, тем выше УА  $^{226}\text{Ra}$  в костях.

На рис. 4 показана корреляция между возрастом и удельной активностью  $^{226}\text{Ra}$  в доисторических и древних костях.



**Рис.4. Корреляционная зависимость возраста костей от удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ .**

Из гистограммы следует, что можно оценить примерный возраст костей в следующем порядке, если УА  $^{226}\text{Ra} < 6.45$  Бк/кг, тогда возраст < 1 года, если УА  $^{226}\text{Ra} < 20$  Бк/кг, тогда возраст < 100 лет, если УА  $^{226}\text{Ra} < 100$  Бк/кг, тогда возраст < 1 млн лет, если УА  $^{226}\text{Ra} > 100$  Бк/кг, тогда возраст > 1 млн. лет. Значения УА  $^{226}\text{Ra}$  в скелетах динозавров и мамонтов были > 500 Бк/кг, поэтому их возраст оцениваем больше, чем 10 млн. лет.

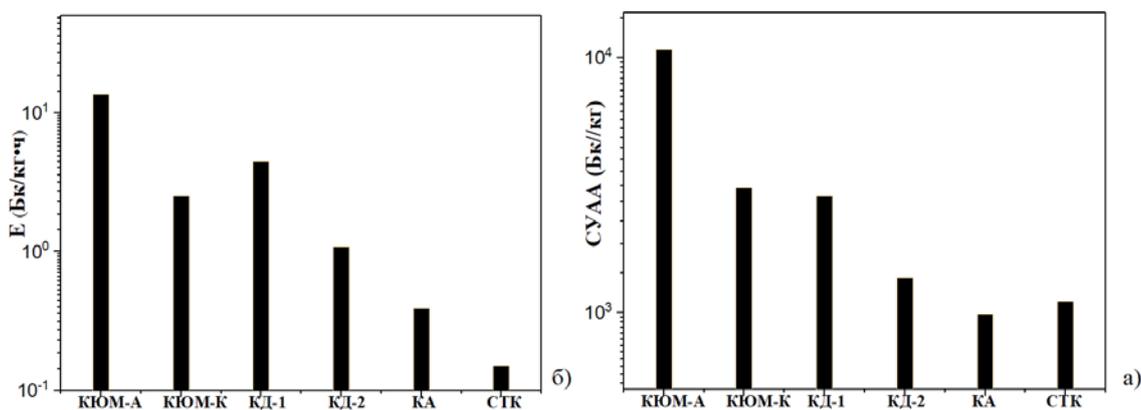
В табл. 4. приведены результаты измерения  $\alpha$ -активности кости и почвы в импульсах  $\alpha$ /час и суммарной удельной активности Бк/кг. Видно, что  $S_\alpha$  радионуклидов меняется в интервале (988 ÷ 10728) Бк/кг для доисторических и древних костей, и (360 ÷ 1828) Бк/кг для почвы. Сравнение  $S_\alpha$  и  $S_{\text{Ra}}$  в костях показывает, что  $S_\alpha$  в (10 ÷ 100) раз превышает  $S_{\text{Ra}}$ , то же самое наблюдается для  $S_\alpha$  и  $S_{\text{Ra}}$  в почвах. Значения  $S_\alpha$  в стандартной кости (1104 Бк/кг) в 3 раза больше, чем  $S_\alpha$  в почве (360 Бк/кг), в то же время  $S_{\text{Ra}}$  в стандартной кости (17.4 Бк/кг) оказалось меньше на 20%, чем в почве (23.5 Бк/кг). Отсюда следует, что в обычных костях всегда содержатся естественные  $\alpha$ -излучающие  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  и их дочерние радионуклиды.

Таблица 4

Суммарная удельная  $\alpha$ -активность исследуемых проб

№	Проба, кость и почва	$N_{\alpha}$ , $\alpha/\text{ч}$	$C_{\alpha}$ , Бк/кг
1	КЮМ-А*	447	10728±2000
	Почва КЮМ-А	78	1828±340
2	КЮМ-К	129	3097±560
	Почва КЮМ-К	21	504±90
3	КД-1	120	2877±540
	Почва КД-1	15	360±68
4	КД-2	57	1369±240
	Почва КД-2	16	384±76
5	КА	42	988±190
	Почва КА	17	408±78
6	СКТ (КБ)	46	1104±210
	Почва СКТ	15	360±68

На рис. 5 а) и б) приведено сопоставление результатов измерения СУААР радионуклидов и СЭР радона в исследованных костях (КЮМ-А, КЮМ-К, КД-1, КД-2, КА а также в стандартной кости) в виде гистограммы для оценки правильности проведения трекового анализа с CR-39 детекторами.



**Рис. 5. Сравнение результатов измерения СУААР радионуклидов и СЭР радона в костях.**

Как видно из гистограммы, значения СУААР всегда в (10 ÷ 12) раз больше, чем СЭР из-за присутствия в образцах  $\alpha$ -излучателей, типа  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и их дочерних продуктов распада Ra, Rn, Po, Bi и At. Сравнение гистограмм СУААР  $\alpha$ -радионуклидов и  $^{222}\text{Rn}$  наглядно иллюстрирует полное соответствие между сцинтиляционным и трековым методами.

Методика относится к области радиационного контроля объектов окружающей среды и предназначена для определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в волосах. Волосы человека являются индикатором окружающей среды

для оценки воздействия эффективной дозовой нагрузки тяжелого радиотоксичного металла  $^{226}\text{Ra}$  на организм человека.

Методика основана на измерении объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  в волосах после достижения радиоактивного равновесия  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{222}\text{Rn}$ .

В таблице 5 приведены результаты удельной активности и концентрации  $^{226}\text{Ra}$  в волосах жителей младших (№1 и 2) и старших возрастов (№3 -8) Ташкента и Ангрена.

**Таблица 5**

**Удельная активность и концентрация  $^{226}\text{Ra}$  в волосах жителей Ташкента и Ангрена**

№	Волоса	$\rho$ , тп/см <sup>2</sup> ·30 дн	$A_{Rn}$ , мБк/м <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , мБк/г	$m_{Ra}$ , 10 <sup>-14</sup> г/г
1	Ташкент	6	331.5±94.5	0.12±0.03	0.32
2		13	667±141.7	0.24±0.05	0.64
3		20	993±283.53	0.36±0.1	0.97
4		39	1937±387.4	0.71±0.14	1.91
5		30	1500±300	0.55±0.11	1.48
6	Ангрен	41	2036±407.2	0.75±0.15	2.02
7		71	3527±705.4	1.30±0.26	3.51
8		90	4471±894.2	1.65±0.33	4.45

Результаты показывают, что удельные активности  $^{226}\text{Ra}$  в образцах волос жителей Ташкента составили для детей от 0.12 до 0.24 мБк/г и для взрослых от 0.36 до 0.71 мБк/г, соответственно. Эти значения для взрослых жителей Ангрена меняются от 0.75 до 1.65 мБк/г. Превышение удельной активности радия в (2 ÷ 2.5) раза в волосах жителей из Ангрена по сравнению с данными Ташкента указывает на высокое содержание тяжелых радиоактивных элементов в этой местности. Для этого были проведены измерения ОАР и определены УА  $^{226}\text{Ra}$  в почвах Ангрена и Ташкента.

В таблице 6 приведены результаты удельной активности радия в почвах Ангрена и Ташкента.

Таблица 6

Удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  в почвах Ангрена и Ташкента

Почва	$\rho$ , тр/см <sup>2</sup> ·д	$A_{Rn}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$C_{Ra}$ , Бк/кг
Ангрена	240	1405±327.8	134.2±25.0
Ташкента	40	235.3±55.1	22.4±6.0

Как видно из таблицы 6 удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  в почве Ангрена в 6 раз больше, чем в почве Ташкента и составляет (134±24) Бк/кг и (22.4±6.0) Бк/кг, соответственно.

Из таблицы 5 следует, что степень биологической аккумуляции  $^{226}\text{Ra}$  в волосах человека связана с употреблением местной воды и продуктов питания, где основным источником поступления является местная почва. Следовательно, средние значения удельной активности радия в волосах населения Ангрена и Ташкента составили (1.23±0.2) мБк/кг и (0.54±0.12) мБк/г, соответственно. Превышение концентрации радия в волосах жителей Ангрена связано с геологическим расположением местности.

Что касается оседания тяжелых естественных радионуклидов в волосах из атмосферы, нам кажется, их количество незначительно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора философии по техническим наукам (PhD) на тему: «Разработка методики определения  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в костных останках и волосах людей трековым детектором CR-39», были сформулированы основные результаты и следующие выводы:

1. Показано с использованием ИНАА, что почва является основным донором элемента урана в ткань скелета 1.5÷220 мг/кг, при содержании  $\leq 0.01$  мг/кг в стандартной кости. При этом содержания  $^{232}\text{Th}$  в костях динозавров, южных мамонтов, архантропа и стандартной кости различаются незначительно 0.58÷0.78 мг/кг.
2. Разработана простая и легкодоступная регистрационная камера на CR-39 детекторах для определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в доисторических и древних костях.
3. Обнаружено, что существует корреляция между возрастом и концентрацией  $^{226}\text{Ra}$  в доисторических и древних костях.
4. Впервые разработана методика определения суммарной  $\alpha$ -активности радиоизотопов в костных останках. Показано, что значения суммарной удельной  $\alpha$ -активности радионуклидов в 10 ÷ 12 раз больше, чем значения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в тех же образцах.

5. Разработана простая и высокочувствительная методика определения удельной активности  $^{226}\text{Ra}$  в волосах человека с помощью CR-39 детектора до 0.12 мБк/г ( $0.32 \cdot 10^{-14}$  г/г). Обнаружено, что удельная активность Ra в (2 ÷ 2.5) раза больше в волосах жителей Ангрена, что указывает на высокое содержание тяжелых радиоактивных элементов в этой местности. Это доказывает, что концентрация радия в волосах является радиоиндикатором загрязнения окружающей среды.



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

---

**IINSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

**SAYDULLAEV BAKHODIR JURAEVICH**

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR DETERMINING  $^{222}\text{Rn}$  AND  $^{226}\text{Ra}$   
IN BONES AND IN HUMAN HAIR USING THE CR-39 TRACK  
DETECTOR**

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

**DISSERTATION ABSTRACT  
of the Doctor of Philosophy (PhD) on Technical Sciences**

**Tashkent – 2023**

**The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under No. B2023.4.PhD/TXXX.**

The doctoral (PhD) dissertation was carried out at the Institute of the Institute of Nuclear Physics of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan..

The abstract of the dissertation was posted in three (Uzbek, Russian, English (resume)) languages on the website of the Scientific Council at [www.inp.uz](http://www.inp.uz) and on the website of “Ziyonet” information and educational portal at [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz).

**Scientific supervisor:**

**Vasidov Abdisamat**

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher

**Official opponents:**

**Radjapov Sali Ashirovich**

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,  
Senior Researcher

**Danilova Elena Artavazdovna**

Candidate of Chemical Sciences,  
Senior Researcher

**Leading organization:**

**Samarkand State University**

The defense of the dissertation will be held on “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_2023 at \_\_\_\_\_ at the meeting of Scientific Council No. DSc.02/30.12.2019.FM/T.33.01 at the Institute of Nuclear Physics (Address: INP, Ulugbek settlement, 100124 Tashkent city, tel. (+99871)289-31-41; fax: (+99871)289-36-65; e-mail: [info@inp.uz](mailto:info@inp.uz)).

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

The abstract of dissertation was distributed on “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_2023.  
(Registry record No. \_\_\_\_ dated “\_\_\_\_” \_\_\_\_\_2023).

**M.Yu. Tashmetov**

Chairman of the Scientific Council on  
award of Scientific degree D.Ph.-M.S.,  
Professor

**O.R. Tojiboev**

Scientific secretary of the Scientific  
Council on award of Scientific degrees,  
PhD Ph. M.S., Senior Researcher

**E.M. Tursunov**

Chairman of the Scientific seminar of the  
Scientific Council on award of Scientific  
degrees, D.Ph.-M.S., Professor

## INTRODUCTION (annotation of PhD dissertation)

**The aim of the research** is to develop a methodology for determining the exhalation rate of  $^{222}\text{Rn}$ , the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  on the CR-39.

**The tasks of the research:**

application of instrumental neutron activation analysis to study the elemental composition of the bones of dinosaurs, southern mammoths, archanthrop and standard bone in order to obtain information corresponding to different age periods in the development of the life of mammals and primitive people on Earth;

to development of a method for track analysis using CR-39 detectors to determine the rate of  $^{222}\text{Rn}$  exhalation and the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in bone remains and surrounding soils;

to development of a methodology for determining the total specific  $\alpha$ -activity of radionuclides to assess the reliability of the results of track analysis;

to development of a technique for measuring the rate of  $^{222}\text{Rn}$  exhalation using a track detector CR-39 to determine the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in human hair.

**The objects of the research** are the bones of dinosaurs, southern mammoths, archanthropus, standard or ordinary bone of sheep and cattle, soils surrounding them, human hair, radioactive and inert gas  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{222}\text{Rn}$ .

**The subject of the research** is the determination of the content and distribution of chemical elements, and their variations in prehistoric and ancient bones, the total and specific activities of alpha-emitting radionuclides in biological samples, the volumetric activity and exhalation rate of  $^{222}\text{Rn}$ .

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

a new method has been developed for determining the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in ancient bone remains and their soils, containing a track detector CR-39 of  $\alpha$ -particles of the daughter  $^{222}\text{Rn}$  from bones and soils in an isolated chamber;

using trace analysis, it was established that the age of bone remains is directly dependent on correlations of the relative activity of  $^{226}\text{Ra}$  in them and in the surrounding soil;

it was shown by INAA of newly found bones that the soil is the main source of uranium in the skeletal tissue, and it was proved that the concentration of  $^{232}\text{Th}$  in the bones varies insignificantly ( $0.58 \div 0.78$  mg/kg);

for the first time, a method was developed for determining the total  $\alpha$ -activity of radionuclides in bone remains, and thus the convergence of the results of track analysis and the total  $\alpha$ -activity of radionuclides was shown;

a highly sensitive technique for determining the concentration of  $^{226}\text{Ra}$  in human hair has been developed, and it has been shown that human hair serves as an indicator of radio contamination of the area.

**Implementation of the research results.** The practical significance of the work is confirmed by the act of implementing the results of the dissertation work on the development of methods for determining  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  using track analysis of bone remains and human hair:

the method for determining the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in ancient bone remains and the surrounding soil layer using the measuring chamber of the CR-39

track detector was used in the State Geological Museum of the Ministry of Mining and Geology (Letter of the State Geological Museum № 52 dated 08.06.2023). The use of the results made it possible to reduce the release of radon from the surface of skeletal exhibits and maintain the volumetric activity of  $^{222}\text{Rn}$  within the sanitary radiation safety standards (RSS) of the Republic of Uzbekistan;

the method for determining the age of skeletal exhibits by the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in the bones, as well as the results of instrumental neutron activation analysis to determine uranium and thorium, were used in the State Geological Museum of the Ministry of Mining and Geology (Letter of the State Geological Museum № 52 dated 08.06.2023). The use of the results made it possible to obtain information about the presence of heavy radioactive elements in the skeleton exhibits, which have a detrimental effect on the environment;

the method for determining the specific activity of  $^{226}\text{Ra}$  in hair by registering  $\alpha$ -particles of daughter  $^{222}\text{Ra}$  with a CR-39 track detector in an isolated chamber is registered with the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan (Uzbekistan utility model patent № FAP 01941 dated 29.04.2022). Using the method makes it possible to simplify and reduce the cost of analysis for the detection of  $^{226}\text{Ra}$ .

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion and a list of references. The volume of the dissertation is 89 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (Часть I; Part I)**

1. Vasidov A., Akhmadshaev A., Osinskaya N.O., Saydullayev B.J. Neutron activation and track analysis of the newly found bones of the southern mammoths and dinosaurs // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. - Springer (Netherlands), 2016. – pp. 953-958. (№1. Web of Science; IF=1,371).
2. Васидов А., Ахмадшаев А., Осинская Н.С., Сайдуллаев Б.Ж.. Инструментальный нейтронно-активационный анализ древних костей, найденных на территории Узбекистана // *Узбекский физический журнал*. – Ташкент, 2017. – №2(19). – С. 114-119. (01.00.00. № 5)
3. Vasidov A., Saidullaev B. J., Usmanov T. M.  $\alpha$ -Activity Measurement for Native Radionuclides in Ancient Bone Remains // *Atomic Energy*. – Moscow, 2022. – Vol.131, No.5. – pp. 279-283. (№1. Web of Science; IF=0.33)
4. Васидов А., Сайдуллаев Б.Дж., Усманов Т.М. Измерение суммарной альфа-активности естественных радионуклидов в древних костных останках // *Узбекский физический журнал*. – Ташкент, 2022. – №1(24). – С. 76-79. (01.00.00. № 5)
5. Patent RUz № FAP01941. CR–39 iz detektori yordamida sochdagi radiy–226 solishtirma aktivligini aniqlash usuli / Vasidov A., Saydullayev B. J. // *Rasmiy Axborotnoma*. - 2022. – №5. – B.139

**II bo'lim (Часть II; Part II)**

6. Vasidov A., Akhmadshaev A., Saydullayev B. J. Activation and track analysis of the bone remains found in the territory Uzbekistan // «The seventh Eurasian conference Nuclear science and it's application»: Book of abstracts, October 21-24, 2014. – Baku (Azerbaijan), 2014. – pp. 370-371.
7. Васидов А., Ахмадшаев А., Сайдуллаев Б.Дж. Определение эксхалиции радона из доисторических и древних костных образцов // «Фундаментальные и прикладные вопросы физики»: Материалы Республиканской конференции, посвященная 100-летию академика С.А. Азимова 6-7 ноября 2014. – Ташкент, 2014. – С. 34-35.
8. Vasidov A., Akhmadshaev A., Osinskaya N.S., Saidullaev B.J. Neutron activation and track analysis of the newly found bone relicts // *The International Conference On Modern Trends In Activation Analysis*, 23-28 August, 2015. – Niderland: Delft University of Technology, 2015. – pp. 132.
9. Васидов А., Ахмадшаев А., Сайдуллаев Б.Ж. Янги топилган тарихий ва кадимий суякларнинг инструментал нейтрон активацион тахлили // «Физика фанининг ривожига истеъдодли ёшларнинг ўрни»: Республика илмий – амалий конференция мақолалари тўплами, 24-25 апрель 2015. – Тошкент, 2015. – Б. 153-159.

10. Васидов А., Сайдуллаев Б.Ж. Жанубий фил суяк қолдикларидаги радон эксхалация тезлигини аниқлаш // «Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни»: Республика илмий – амалий конференция мақолалари тўплами, 24-25 апрель 2015. – Тошкент, 2015. – Б. 111-114.
11. Васидов А., Сайдуллаев Б.Ж. Био намуналарда  $^{222}\text{Rn}$  радиоактивлигини ва эксхалация тезлигини аниқлаш методикасини яратиш // «Ядро физикаси ва ядровий технологиялар»: Ўзбекистон ёш физиклари V республика анжумани мақолалари тўплами, 4-5-декабр, 2018. – Ташкент, 2018. – С.159-161.
12. Васидов А., Сайдуллаев Б.Ж. Тарихий ва қалимги суяк топилмаларида радон-222 радиоактивлигини ва эксхалация тезлигини аниқлаш // Ёш олимлар ахборотномаси. – Тошкент, 2019. – №3 (1). – Б. 45-46.
13. Сайдуллаев Б.Дж., Васидов А. Определение скорости эксхалации радона из костных останков // Радиационно –гигиенические последствия и уроки аварии на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1»: Материалы международной научно-практической конференции 22-23 апреля 2021. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 191-194.
14. Сайдуллаев Б.Ж., Васидов А. Қадимий ва стандарт суяк қолдикларидаги радон эксхалация тезлигини аниқлаш // «Замонавий физиканинг долзарб муаммолари»: VII Республика илмий – назарий анжуман материаллари, 19-20 май. – Термиз, 2017. – Б. 207-209.
15. Сайдуллаев Б.Дж., Васидов А., Усманов Т.М. Измерение  $\alpha$ -активности естественных радионуклидов в древних костных останках // «Ядерная физика и ядерные технологии»: Сборник докладов VI Республиканской конференции молодых физиков Узбекистана 4-5-декабря 2020. – Ташкент: Институт ядерной физики АН РУз, 2020. – С.203-212.
16. Saydullaev B.J., Vasidov A., Usmanov T.M. Measuring the alpha activity of natural radionuclides in ancient bone remains // “Modern Problems of Nuclear Energetics and Nuclear Technologies”: Book of Abstracts of International Conference, November 23-25, 2021. - Tashkent: Institute of Nuclear Physics, 2021. – pp. 199.
17. Васидов А., Сайдуллаев Б. Дж. Разработка методики измерения радона-222 из волос для определения удельной активности радия-226 в волосах с помощью трекового детектора CR-39 // Сб. материалов Международной научно–практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – залог прогресса и процветания», посвященной 5-летию основания Навоийского отделения Академии наук Республики Узбекистан. – Навои, 2022. – С.67 – 70.
18. Vasidov A., Saydullaev B.J. The measurements of  $^{222}\text{Rn}$  and  $^{226}\text{Ra}$  activities in human hairs by using CR-39 track detectors // IV International scientific forum “Nuclear Science and Technologies” September 26-30, 2022. Abstracts. – Almaty (Republic of Kazakhstan), 2022. – pp.192.