

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

**NAVOIY DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

SOLIYEV TURSUNBOY IZZATILLO O'G'LI

**URAN YEMIRILISH ZANJIRI RADIONUKLIDLARI ORASIDAGI
RADIOAKTIV MUVOZANAT BUZILISHINI BAHOLASH**

01.04.01 – Eksperimental fizikaning asboblari va usullari

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

Toshkent – 2024

**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**

Soliyev Tursunboy Izzatillo o‘g‘li

Uran yemirilish zanjiri radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat
buzilishini baholash..... 3

Солиев Турсунбой Иззатилло угли

Оценка нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами
в цепочке распада урана..... 21

Soliyev Tursunboy Izzatillo o‘g‘li

Assessment of disturbances in the radioactive equilibrium between
radionuclides in the uranium decay chain..... 37

E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati

Список опубликованных работ

List of published works 41

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

**NAVOIY DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI
NAVOIY DAVLAT KONCHILIK VA TEXNOLOGIYALAR
UNIVERSITETI**

SOLIYEV TURSUNBOY IZZATILLO O'G'LI

**URAN YEMIRILISH ZANJIRI RADIONUKLIDLARI ORASIDAGI
RADIOAKTIV MUVOZANAT BUZILISHINI BAHOLASH**

01.04.01 – Eksperimental fizikaning asboblari va usullari

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

Toshkent – 2024

Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2019.3 PhD/FM411 raqami bilan ro'yhatga olingan.

Dissertatsiya ishi Navoiy davlat pedagogika instituti hamda Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengashning internet sahifasida (www.inp.uz) va "Ziyonet" axborot-ta'lim tarmog'ida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

Ilmiy rahbar:

Muzafarov Amrullo Mustafayevich
kimyo fanlari doktori, dotsent

Rasmiy opponentlar:

Kurbanov Baxtiyar Ibragimovich
texnika fanlari doktori, professor

Kulmatov Rashid Anorovich
kimyo fanlari doktori, professor

Yetakchi tashkilot:

Sharof Rashidov nomidagi
Samarqand davlat universiteti

Dissertatsiya himoyasi Yadro fizikasi instituti huzuridagi DSc.02/30.12.2019.FM/T.33 raqamli Ilmiy kengashning 2024-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).

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

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "____" _____ da tarqatildi.
(2024-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

I.Nuritdinov

Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy
kengash huzuridagi ilmiy seminar raisi o'rinbosari
f.-m.f.d., professor

KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati. Dunyoda muqobil energiya hosil qiluvchilardan biri uran mahsulotlari bo'lib, ulardan atom elektr stansiyalarida ishlatiladigan yadro yoqilg'ilari olinadi. Uranni olishda va uni yadro yoqilg'isi sifatida ishlatishda, uning tozaligiga hamda xodimlarga radiatsion ta'siri jihatidan maxsus ehtiyot choralarini ko'rish talab etiladi. Yadro yoqilg'isi sifatida foydalanishga yaroqli uran mahsulotlari ularning radionuklid tarkibi bo'yicha belgilangan Xalqaro standart talablariga javob berishi kerak. Bundan tashqari, uran mahsuloti yoki uran tarkibli namunalardagi radionuklidlardan – ^{234}U , ^{235}U , ^{226}Ra birining miqdori ko'payib ketishi ushbu mahsulotlarni saqlash joylaridagi radiatsion fonning oshib ketishiga olib keladi. Shu sababli uranning tabiiy yemirilish zanjiri radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat buzilish omillarini baholash masalalariga alohida e'tibor qaratish zarur.

Bugungi kunda dunyoda uran mahsulotlari tarkibida ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{226}Ra – radionuklidlarni aniqlash, ^{234}U va ^{238}U , ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat buzilishlarni baholash uchun turli xil yadro-fizikaviy usullarni ishlab chiqish bo'yicha ilmiy-tadqiqotlar olib borilmoqda. Bunday tadqiqot natijalari radiatsiyaning zararli ta'siridan himoya qilish bo'yicha samarali chora-tadbirlarni ishlab chiqish imkonini beradi, shu jumladan, uran tarkibli namunalarni saqlanadigan joylarda radiatsion fonni minimallashtirib, xalqaro va milliy standartlarga mos keladigan qiymatlarga keltirish imkoniyatini yaratadi.

Respublikamizda uran ishlab chiqarish jarayonlarining xodimlarga va atrof-muhitga radiatsion ta'sirini nazorat qilishning yadro-fizikaviy usullarining amaliy hamda nazariy asoslarini ishlab chiqishda muayyan natijalarga erishilgan. “Yangi O'zbekistonning 2022-2026-yillarga mo'ljallangan rivojlanish strategiyasi”ning uchinchi yo'nalishida ilg'or ilmiy asoslangan chora-tadbirlarni amaliyotga joriy etish orqali amaliy natijalarga erishilisi belgilangan. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida” farmonida quyidagi muhim vazifalar belgilab berilgan “...milliy iqtisodiyotni barqarorlashtirishni ta'minlash uchun ishlab chiqarish siyosatini davom ettirish, yalpi ichki mahsulotning sanoat ishlab chiqarish ulushini 1,4 baravar oshirish ...”¹, “... utilizatsiya qilish, zararsizlantirish, konservatsiya qilish va texnogen chiqindilarni belgilangan chegaralardan chetga chiqmasligini ta'minlash ...”². Shu munosabat bilan uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanatni baholash bo'yicha ilmiy tadqiqotlar o'tkazish muhimdir.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarda yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida”gi farmoni, 2019-yil 4-oktyabrdagi PQ-4477-sonli “2019-2030-yillar davrida

¹ O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28-yanvardagi PF-60-sonli “2022-2026-yillarda Yangi O'zbekistonni rivojlantirish strategiyasi to'g'risida”gi farmon

² Vazirlar Mahkamasining 30.03.2021-yildagi 170-sonli Farmoniga asosan “Navoiyuran” davlat korxonasi, “Navoiy kon-metallurgiya kombinati” aksiyadorlik jamiyati va “Navoiy kon-metallurgiya kombinati jamg'armasi” davlat muassasasi faoliyatini tashkil etish to'g'risida

O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tish strategiyasi” qarori hamda ushbu sohada boshqa me’yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

Tadqiqot ishining respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi. Mazkur tadqiqot ishi respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining II. “Energetika, energotejamkorlik va muqobil energiya manbalari” ustuvor yo‘nalishiga muvofiq bajarilgan.

Muammoning o‘rganilganlik darajasi. Xorijiy mutaxassis va olimlardan, jumladan, amerikalik (John Arrington, Ursula Bassler, Sekhar Basu, Felix Boehm, Walter Dunham Claus, Harro Wilks Fulbright, Alexandra Gade, Magdalena Gonzalez Sanchez, Hanna Nasser), rossiyalik (Shurigin S.V., Ovseychuk V.A., Laskorin B.N., Lobanov D.P., Arens V.J., Djabiyev O.A., Myasoyedov V.N., Grabovnikov V.A., Gridin O.M., Avrorin E.A., Aleksandrov A.P., Alexin L.A., Aleksandrov V.A., Arsimov L.A., Petrjak A.K., Ovchinnikov F.Ya., Mostovoy V.I.) va o‘zbekistonlik olimlardan (Yuldashev B.S., Muminov T.M., Bekjanov R.B., Muxammedov S.M., Kist A.A., Kulmatov R.A., Sattarov G.S.) va boshqalar uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatni baholashda fan hamda amaliyot rivojiga katta hissa qo‘shdilar.

O‘tkazilgan tadqiqotlar natijasida uran rudalarida texnologik mahsulotlarda ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{226}Ra – radionuklidlarini aniqlashning yadro-fizikaviy uslubiyatlari ishlab chiqilgan. Shuningdek, uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat buzilishi holatlari ham kuzatilgan.

Shu bilan birga, hozirgi kunga qadar uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar o‘rtasidagi radioaktiv muvozanatning buzilishi tayyor uran mahsuloti sifatining pasayishiga va uran omborlarida radiatsion fon qiymatini oshib ketishiga ta’sir qiluvchi yadro-fizikaviy omillar kam o‘rganilgan.

Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta’lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog‘liqligi. Dissertatsiya tadqiqotlari Navoiy davlat konchilik va texnologiya universitetining BA-A-13-015 “Mahalliy reagentlar yordamida yer ostida uranini tanlab eritish texnologik rejimni ishlab chiqish” (2020-2022) mavzusidagi ilmiy loyihasi doirasida bajarilgan.

Tadqiqotning maqsadi turli uran konlarida ^{234}U radionuklidlar konsentratsiyasini aniqlash, hamda uran-238 yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat buzilishining radiatsion fon qiymatiga ta’sirini baholashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari:

uran-238 yemirilish zanjiri radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining – K_m uran rudalarining yoshiga bog‘liqligi qonuniyatlarini o‘rganish;

texnogen obyektlardagi $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ va $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ radionuklidlar orasida radioaktiv muvozanat buzilishini radiatsion fonga bog‘liqligini eksperimental baholash;

turli uran konlaridan olingan uran namunalarida ^{234}U radionuklidining massa ulushini eksperimental baholash;

Zafarobod koniga tegishli uran rudalarining yoshini aniqlash bo'yicha eksperimental tadqiqotlar o'tkazish.

Tadqiqotning obyekti uran namunalari, uran konlari, uran rudalari, uran chiqindilarini saqlash omborlari, uran mahsulotlari omborlari, uranni yer ostida tanlab eritish maydonlaridan iborat.

Tadqiqotning predmeti radioaktiv muvozanatning uran rudalari yoshiga bog'liqligi, texnogen maydonlardagi radioekologik holat, turli uran konlarida ^{234}U radionuklidining tarqalish qonuniyatlarini o'rganishdan iborat.

Tadqiqot usullari: radiometriya usullari, alfa, gamma-spektrometriya, massa-spektrometriya, rentgenofluoressensiya, nazariy hisob-kitoblar natijalarini matematik qayta ishlash usullari.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi quyidagilardan iborat:

uran-238 yemirilish zanjiri radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ning uran namunalari yoshiga bog'liqligi asosida uran rudalarining yoshini aniqlash uslubi ishlab chiqilgan;

^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} oshishi radiatsion fon qiymatining chiziqli oshishiga olib kelishi, eksperimental o'rnatilgan qonuniyat asosida uran ishlab chiqarish texnogen obyektlari lokal maydonlarida radiatsion holatni baholash usuli ishlab chiqilgan;

alohida uran konlaridan olingan uran mahsulotlari tarkibida ^{234}U radionuklidining miqdorlari muvozanatdagi massa miqdori – 53,41 $\mu\text{g/g}$ dan farq qiluvchi qiymatlari, ya'ni 48,4 $\mu\text{g/g}$ dan 69,9 $\mu\text{g/g}$ gacha bo'lishi eksperimental aniqlangan;

ishlab chiqilgan metodika asosida birinchi marta Zafarobod konidagi uran rudalarining yoshi 2,1 dan 2,5 milliard yilgacha bo'lgan oraliqda bo'lishi eksperimental aniqlangan.

Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:

$^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ va $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining qiymatlariga qarab qattiq uran namunalari hamda uran mahsulotlari saqlash joylarida radiatsion fon qiymatini nazorat qilish imkoniyatlari baholangan.

Tadqiqot natijalarining ishonchliligi zamonaviy tadqiqot usullari va o'lchash vositalarini qo'llagan holda olingan natijalarni zamonaviy kompyuter dasturlari yordamida qayta ishlash, natijalarni xalqaro standart namunalari qiyoslash, parallel tahlillar, turli tadqiqotchilar va laboratoriyalar ma'lumotlarini taqqoslash bilan tasdiqlanadi.

Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati. Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati uran rudalarining yoshini aniqlash usuli va ularning radiatsion holatini baholash uran rudalarining atrof-muhitga radiatsion ta'sirini yanada aniqroq baholash imkonini ochishdan iborat.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining tajriba yo'li bilan topilgan qiymatlari uran rudalari yoshini aniqlashda va uran konlarining geologik ma'lumotlar bazasini yaratishda, uran ishlab chiqarish texnogen obyektlaridagi

radiatsion fon qiymatlarini aniqlashda hamda sanoat obyektlari hududlarini radioekologik monitoring qilish bilan belgilanadi.

Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi. Uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatning buzilish omillarini baholash bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

uran rudalarining yoshini aniqlash bo'yicha ishlab chiqilgan uslub "NKMK" AJ da qo'llanilgan (Navoiy kon-metallurgiya kombinati AJ ning 2023-yil 5-oktyabrdagi 23-01-07/489-sonli ma'lumotnomasi). Natijalardan foydalanish uran rudalarining yoshini hisoblashda ishonch chegaralarini oshirishga imkon bergan;

uran ishlab chiqarish texnogen obyektlarining mahalliy hududlarida radiatsion holatni baholashning ishlab chiqilgan usuli "NKMK" AJ da qo'llanilgan ("Navoiy kon-metallurgiya kombinati" AJning 2023-yil 5-oktyabrdagi 23-01-07/489-sonli ma'lumotnomasi). Natijalardan foydalanish uranni yer ostida tanlab eritish sanoat maydonlarida, uran chiqindilari omborlarida va kernlarini saqlash joylarida radiatsion holatni nazorat qilishga xizmat etgan;

turli uran ishlab chiqarish obyektlari namunalari uchun uran yemirilish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatning buzilish qiymatlariga asoslanib, "NKMK" AJ "Uran namunalari yoshini aniqlash uchun radioaktiv muvozanat koeffitsiyentlari – K_m parametrlarini hisoblash" kompyuter dasturi paketi ishlab chiqilgan (O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligining 01.02.2023-y. DGU 21848-sonli guvohnomasi). Ishlanmadan foydalanish uranni qayta ishlash va saqlash mahsulotlarida yemirilish zanjiri radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatning buzilish darajasini baholash imkonini bergan.

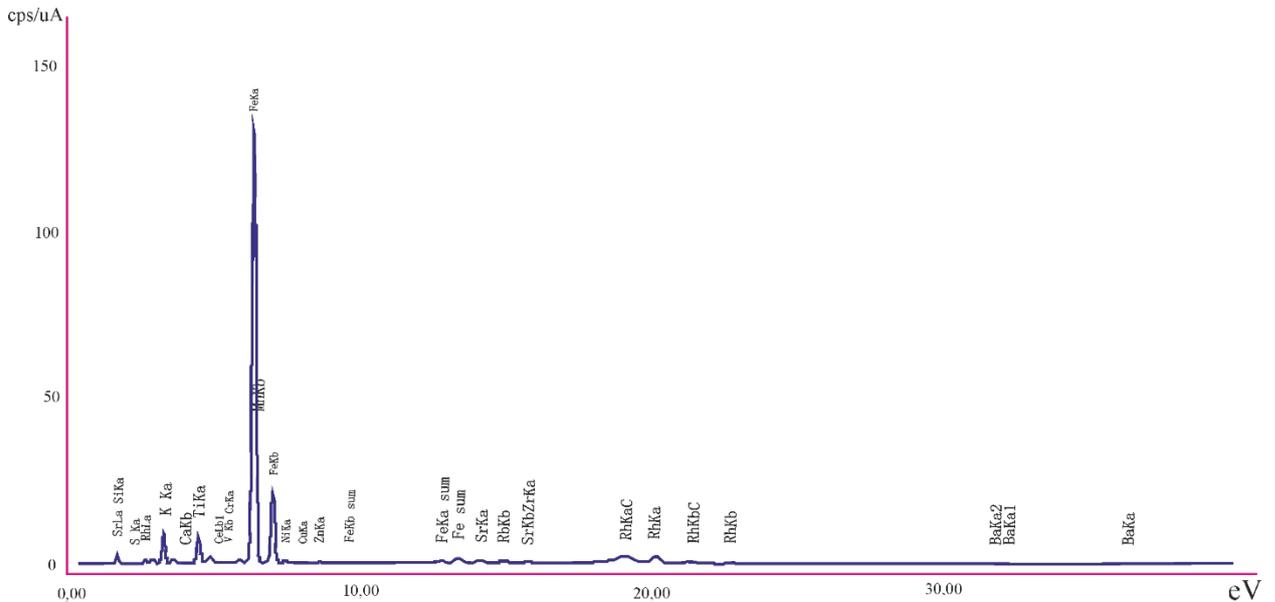
Tadqiqot natijalarini aprobatsiyasi. Dissertatsiya ishining asosiy natijalari 13 ta xalqaro va respublika ilmiy-amaliy konferensiyalarida muhokama qilingan.

Tadqiqot natijalarining e'lon qilinishi. Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 19 ta ilmiy ish chop etilgan, jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan tavsiya etilgan ilmiy nashrlarda 6 ta maqola, shundan, 3 tasi xorijiy ilmiy jurnallarda maqolalar chop etilgan, hamda dasturiy ta'minot uchun Adliya vazirligining guvohnomasi olingan.

Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi. Dissertatsiya ishi kirish, to'rtta bob, xulosa va foydalanilgan adabiyotlar ro'yxatidan iborat. Dissertatsiya hajmi 118 betni tashkil qiladi.

DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

Dissertatsiyaning **kirish qismida** mavzuning 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.



2-rasm. Rentgenflyuorissent tahlil asosida olingan ikkinchi uran keri namunasining spektri

O‘nta uran keri namunalarning rentgenflyuorissent tahlil natijalardan ma’lum bo‘ldiki, ulardagi uran miqdori o‘rtacha 119 g/t dan 162 g/t gacha oraliqda o‘zgarib turar ekan. Uran namunalarning umumiy solishtirma aktivligi turli xil ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn radionuklidlar aktivliklarining yig‘indisidan iborat. Ular orasida maksimal hissani asosiy gamma-nurlanish chiqaruvchi radionuklid bo‘lgan ^{226}Ra beradi. Uni uran namunalarda aniqlash uchun “Progress-Gamma” va “Canberra” qurilmalari yordamida gamma-spektrometrik tahlil usuli qo‘llanilgan.

Uran namunalarda $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ o‘rtasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} bo‘yicha o‘tkazilgan tadqiqotlar yordamida radiatsiya fonining qiymatlarini aniqlash mumkin.

Radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$K_{rm} = \frac{A_{Ra}}{A_U} = \frac{m_{Ra} \cdot \mu_U \cdot T_{1/2(U)}}{m_U \cdot \mu_{Ra} \cdot T_{1/2(Ra)}} \quad (1)$$

bunda, A_{Ra} va A_U – o‘rganilayotgan namunalardagi radiy hamda uran aktivliklari, m_{Ra} – radiyning massaviy ulushi, μ_U – uranning molyar massasi, $T_{1/2(U)}$ – uranning yarim yemirilish davri, m_U – uranning massaviy ulushi, μ_{Ra} – radiyning molyar massasi, $T_{1/2(Ra)}$ – radiyning yarim yemirilish davri.

1-jadvalda ^{226}Ra va ^{238}U aktivliklarini $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ orasidagi radioaktiv muvozanat bo‘lganda – K_{rm} va muvozanat buzilgandagi – K_{rm} aktivliklarining qiymati keltirilgan. Namunalarda ^{238}U aktivligi oshishi bilan ^{226}Ra aktivligi ham parallel ravishda oshishini ko‘rish mumkin. Shunday qilib, ^{238}U aktivligining – $3,98 \cdot 10^6$ Bk qiymatida, ^{226}Ra radionuklidining aktivligi – $1,07 \cdot 10^4$ Bk ni tashkil qilsa, ^{238}U aktivligining – $11,70 \cdot 10^6$ Bk qiymatida ^{226}Ra ning aktivligi – $3,16 \cdot 10^4$ Bk ga oshganligini kuzatish mumkin.

^{226}Ra va ^{238}U aktivliklarini $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ orasidagi radioaktiv muvozanat bo'lganda va muvozanat buzilgandagi aktivliklarining qiymatlari

| T/r | ^{226}Ra va ^{238}U orasidagi radioaktiv muvozanat holdagi radionuklidlar aktivligi, Bk | | ^{226}Ra va ^{238}U orasidagi radioaktiv muvozanat buzilgandagi radionuklidlar aktivligi, Bk | |
|-----|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
| | $^{238}\text{U} \cdot 10^6$ | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$ | $^{238}\text{U} \cdot 10^6$ | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$ |
| 1 | 3,98 | 1,07 | 4,95 | 1,78 |
| 2 | 4,38 | 1,16 | 6,21 | 2,27 |
| 3 | 5,60 | 1,51 | 8,11 | 2,75 |
| 4 | 6,91 | 1,86 | 9,37 | 6,47 |
| 5 | 7,18 | 1,94 | 10,14 | 3,84 |
| 6 | 8,60 | 2,32 | 12,9 | 4,55 |
| 7 | 9,43 | 2,55 | 17,69 | 7,88 |
| 8 | 11,70 | 3,16 | 23,11 | 9,32 |

2-jadvalda keltirilgan natijalar ekvivalent doza quvvati qiymatlarining ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar miqdoriga hamda uran kernlari va uran otvallari saqlash joylaridagi namunalar tarkibidagi ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining K_{rm} buzilish kattaligiga bog'liqligidan dalolat beradi.

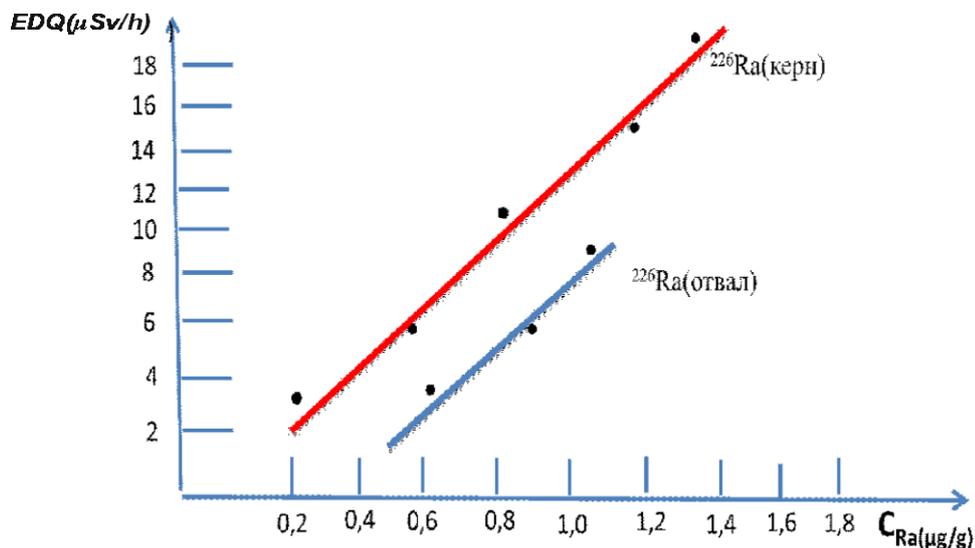
2-jadval

Ekvivalent doza quvvati qiymatining (EDQ) ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar miqdori hamda namunalarining saqlash joylaridagi ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat buzilish koeffitsiyentiga K_{rm} bog'liqligi

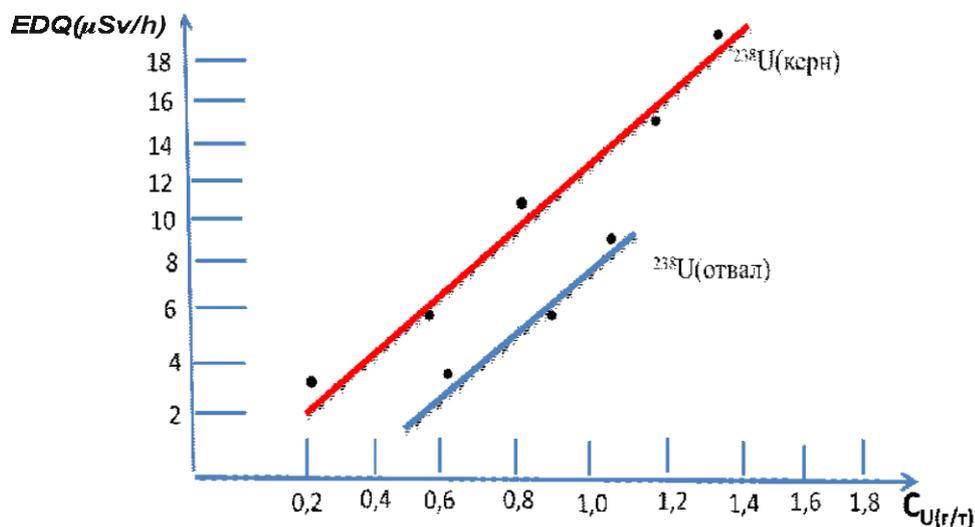
| Kern namunalardagi uran konsentratsiyasi, (g/t) | | EDQ, ($\mu\text{Sv/h}$) | | Chiqindi namunalardagi uran konsentratsiyasi, (g/t) | | EDQ, ($\mu\text{Sv/h}$) |
|--|------------------|---------------------------|--|---|------------------|---------------------------|
| $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$ | ^{238}U | | | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$ | ^{238}U | |
| Radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat holda | | | | | | |
| 88,7 | 264,6 | 0,764 | | 23,8 | 70 | 0,471 |
| 188,6 | 564,6 | 1,398 | | 37,4 | 110 | 0,515 |
| 251,8 | 765,1 | 1,972 | | 44,2 | 130 | 0,569 |
| 298,0 | 890,3 | 2,216 | | 56,1 | 165 | 0,602 |
| 345,3 | 1031,2 | 2,547 | | 60,7 | 175 | 0,657 |
| Radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat buzilgan holatida | | | | | | |
| 587 | 1150 | 3,247 | | 106 | 208 | 1,439 |
| 670 | 1232 | 3,403 | | 156,7 | 256 | 2,767 |
| 840 | 1370 | 4,708 | | 151,2 | 278 | 2,926 |
| 986 | 1450 | 4,984 | | 132,6 | 300 | 2,154 |
| 1440 | 1512 | 5,238 | | 126,5 | 310 | 2,093 |

Effektiv doza quvvatiing qiymatlari ma'lum bir hudud uchun gamma-nurlanishining tabiiy fon qiymatlaridan 3 martadan 30 martagacha farq qiladi.

3- va 4-raslarda ekspozitsion doza quvvati (EDQ) qiymatining o'zgarishi uran otvallari hamda kern namunalaridagi ^{226}Ra va ^{238}U konsentratsiyasiga bog'liqlik grafiklari keltirilgan. Fizik birliklar sistemasida effektiv doza quvvati (EDQ) qiymati $\mu\text{Sv}/\text{soat}$ (mikroZivert/soat) bilan o'lchanadi. Fizik birliklar sistemasidan tashqari EDQ qiymati $1 \mu\text{Sv}/\text{soat}$ $100 \mu\text{R}/\text{h}$ ga teng.



3-rasm. Uranning chiqindi va kern namunalarida ^{226}Ra konsentratsiyasi bilan EDQ qiymatlarining o'zgarishiga bog'liqlik

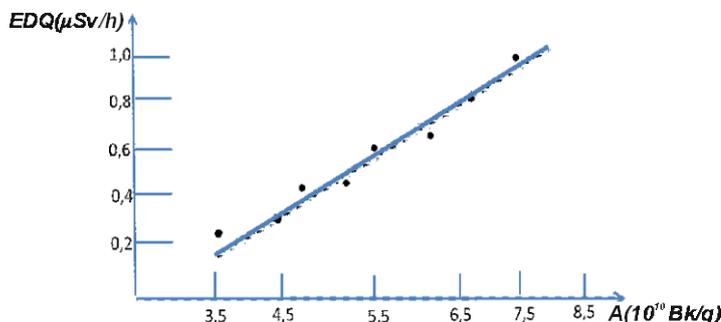


4-rasm. Uranning chiqindi va kern namunalarida ^{238}U konsentratsiyasi bilan EDQ qiymatlarining o'zgarishiga bog'liqlik

Ma'lum bir hudud tabiiy radiatsion fon qiymatining effektiv doza quvvatining farqlanishiga sabab shu hududdagi radioaktiv uran namunalari miqdorlari va ular tarkibidagi ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari miqdorlarining har xilligidir. Boshqacha qilib aytganda, radioaktiv uran namunalarining hajmi hamda ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari miqdori qanchalik ko'p bo'lsa, ushbu obyekt fon qiymati

shunchalik yuqori bo‘ladi. Bundan tashqari, effektiv doza quvvati kattaligi, uran kern va uran otvallari saqlash joylaridagi ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanatning koeffitsiyenti – K_{rm} buzilishiga bog‘liq.

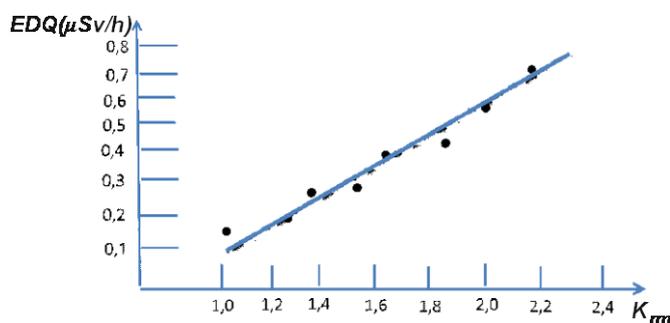
5-rasmda uran ishlab chiqarish obyektlarida effektiv doza quvvati qiymatlari va A_{Ra} – radionuklidining solishtirma aktivligi o‘rtasidagi bog‘liqlik ko‘rsatilgan.



5-rasm. Uran ishlab chiqarish korxonalarida ekspozion doza quvvati qiymatlari va radionuklidning solishtirma aktivligi qiymatlari orasidagi bog‘liqlik A_{Ra} (Bk/g)

5-rasmdan ko‘rinib turibdiki, A_{Ra} radionuklidining solishtirma aktivligi $3,5 \cdot 10^{10} \text{ Bk/g}$ dan $8,5 \cdot 10^{10} \text{ Bk/g}$ gacha oshishi bilan effektiv doza quvvati qiymatlari $18 \mu\text{Sv/h}$ dan $82 \mu\text{Sv/h}$ gacha oshadi.

6-rasmda uran ishlab chiqarish korxonalarida effektiv doza quvvati qiymatlarining ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti qiymatlariga bog‘liqligi ko‘rsatilgan.



6-rasm. Uran ishlab chiqarish korxonalarida ekspozion doza quvvati va $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti qiymatlari o‘rtasidagi bog‘liqlik

$K_{\text{rm}}=1$ da effektiv doza quvvatining qiymatlari $15 \mu\text{Sv/h}$ dan $20 \mu\text{Sv/h}$ gacha tabiiy fon diapazoni oralig‘ida o‘zgaradi. $K_{\text{rm}}=1,16$ da effektiv doza quvvatining qiymatlari $18 \mu\text{Sv/h}$ dan $24 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi. $K_{\text{rm}}=1,22$ da effektiv doza quvvatining qiymatlari $20 \mu\text{Sv/h}$ dan $28 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi, $K_{\text{rm}}=1,36$ da effektiv doza quvvatining qiymatlari $23 \mu\text{Sv/h}$ dan $31 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi, $K_{\text{rm}}=1,45$ da, effektiv doza quvvatining qiymatlari $25 \mu\text{Sv/h}$ dan $34 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi, $K_{\text{rm}}=1,61$ effektiv doza quvvatining qiymatlari $27 \mu\text{Sv/h}$ dan $42 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi, $K_{\text{rm}}=1,81$ da, effektiv doza quvvatining qiymatlari $32 \mu\text{Sv/h}$ dan $58 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig‘ida o‘zgaradi,

$K_{rm}=2,16$ da, effektiv doza quvvatining qiymatlari $38 \mu\text{Sv/h}$ dan $67 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig'ida o'zgaradi. Va nihoyat $K_{rm}=2,34$ da, effektiv doza quvvatining qiymatlari $45 \mu\text{Sv/h}$ dan $82 \mu\text{Sv/h}$ gacha oralig'ida o'zgaradi. Ushbu bog'liqlik K_{rm} ning ortishi bilan samarali doza quvvati chiziqli ravishda oshib borishini tasdiqlaydi va tabiiy fonning o'zgarishiga olib keladi. Tabiiy fonning ortishi mintaqa ekologiyasi va xodimlar salomatligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Dissertatsiyaning "Uran yemirilish zanjiri radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat parametriga ko'ra uran rudalari va namunalarining yoshini aniqlash metodikasi" deb nomlangan uchinchi bobida uran yemirilish zanjiri radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatning buzilish koeffitsiyentiga ta'sir qiluvchi omillar keltirilgan. Uran parchalanish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanatning buzilishi koeffitsiyentiga ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri bu ularning tepki energiyasidir. Alfa-yemirilishlar vaqtida bir element yadrolari boshqa element yadrolariga aylanadi. Uranning tabiiy yemirilish zanjirida ^{238}U dan ^{234}U ga, ^{234}U dan ^{234}Th ga, ^{234}U dan ^{234}Th ga va nihoyat ^{234}Th dan ^{226}Ra ga o'zgaradi hamda hokazo. Radionuklidlarning atom massasi alfa-yemirilish natijasida kamayishi bilan radionuklidlarning tepki energiyasi – E_{tep} ortadi (3-jadvalga qarang).

3-jadval

Ona yadrodan α -zarrachaning uchib chiqish hisobiga radionuklidlarning tepki energiyalari – E_{tep} qiymatlari

| Radionuklidning atom massasi | Yemirilish sxemasi | E_{tep} - tepki energiya, MeV |
|------------------------------|--|--|
| ^{238}U | $^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{234}\text{Th}$ | 0,0700 |
| ^{234}U | $^{234}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{230}\text{Th}$ | 0,0816 |
| ^{230}Th | $^{230}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} ^{226}\text{Ra}$ | 0,0813 |
| ^{226}Ra | $^{226}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} ^{222}\text{Rn}$ | 0,0846 |
| ^{222}Rn | $^{222}\text{Rn} \xrightarrow{\alpha} ^{218}\text{Po}$ | 0,0989 |
| ^{218}Po | $^{218}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{214}\text{Pb}$ | 0,1100 |
| ^{214}Po | $^{214}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{210}\text{Pb}$ | 0,1438 |

3-jadvalda keltirilgan natijalardan ko'rinib turibdiki, tepki energiyaning – E_{tep} qiymatlari $0,0700 \text{ MeV}$ dan $0,1438 \text{ MeV}$ gacha o'zgaradi. Bu fakt shundan dalolat beradiki, radionuklidning atom massasi kamayishi bilan ularning tepki energiyasi chiziqli ravishda ortadi. Nazariy hisoblashlar natijasida radionuklidlarning tepki energiyasi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentiga oz miqdorda bo'lsa ham ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Quyidagi formulaga asoslanib, uran namunalarining yoshini hisoblash mumkin:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{Ra}{0,34 \cdot K_{rm} \cdot Pb}\right)}{\lambda_U} \quad (2)$$

Ushbu formulada uran namunalarining yoshini aniqlashda radiy, uran va qo‘rg‘oshin konsentratsiyalari, shuningdek, radioaktiv muvozanat koeffitsiyentlari – K_{rm} o‘rtasidagi bog‘liqlik mavjudligini ko‘rsatadi.

4-jadvalda keltirilgan ma‘lumotlardan ko‘rinadiki, ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} hamda namunalar yoshi orasida to‘g‘ridan-to‘g‘ri bog‘lanish mavjud.

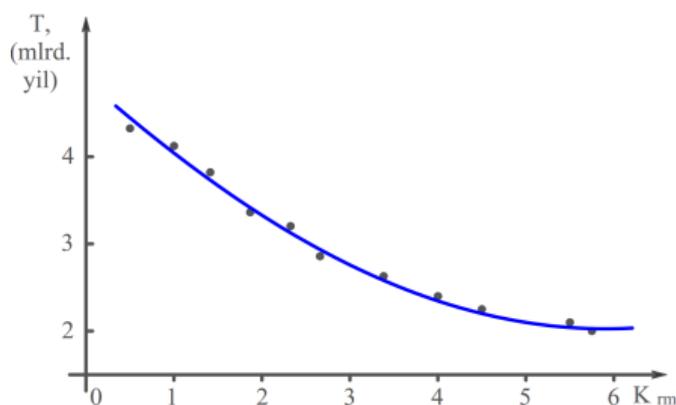
4-jadval

Uran namunalari yoshining Ra, U, Pb miqdoriga va radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ga bog‘liqlik natijalari

| № | Namuna tarkibi, (g/t) | | | K_{rm} | Tanlangan namunaning yoshi – T, (mlrd.yil) |
|---|-----------------------|------------------|-------------------|----------|--|
| | ^{226}Ra | ^{238}U | ^{206}Pb | | |
| 1 | 41,5 | 72,2 | 23,6 | 3,75 | 2,089±0,104 |
| 2 | 36,6 | 65,1 | 22,7 | 3,43 | 2,110±0,106 |
| 3 | 28,0 | 60,3 | 20,3 | 2,90 | 2,180±0,109 |
| 4 | 30,2 | 71,5 | 24,1 | 2,60 | 2,270±0,112 |
| 5 | 32,4 | 80,2 | 27,6 | 2,40 | 2,364 ±0,118 |
| 6 | 27,8 | 73,5 | 25,9 | 2,15 | 2,500±0,125 |

^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ning qiymatlari qanchalik yuqori bo‘lsa, bu namunalarning yoshi shunchalik kichik bo‘ladi. Bu fakt yoshi katta namunalarda ^{238}U miqdori ^{226}Ra dan katta bo‘lishi bilan tasdiqlanadi, chunki $T_{1/2}$ radiyning yarim yemirilish davri 1600-yil uranning yarim yemirilish davriga ($4,5 \cdot 10^9$ yil) qaraganda kamroq. 7-rasmda radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining namunalar yoshiga bog‘liqligi grafigi ko‘rsatilgan.

7-rasmdan ko‘rinib turibdiki, radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} va namunalarning yoshi o‘rtasida chiziqli bog‘liqlik mavjud. Namuna tarkibidagi radionuklidlarning yarim yemirilish davrlari turlicha ekanligini hisobga olsak, ^{226}Ra ($T_{1/2}=1600$ -yil) miqdori ^{238}U ($T_{1/2}=4,5 \cdot 10^9$ yil) miqdoriga nisbatan tezroq yemiriladi.



7-rasm. Namuna yoshining radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti $K_{rm} = ^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ ga bog‘liqligi

Shunday qilib, uran namunalarining yoshi va radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti K_{rm} o'rtasida chiziqli bogliqlik mavjudligiga olib borilgan tajribalar asosida eksperimental isbotlandi. Bu radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti qiymatlari yuqori bo'lgan namunalar yoshroq ekanligini ko'rsatadi. Bu fakt namunadagi ^{226}Ra miqdori ^{238}U miqdoriga qaraganda vaqt o'tishi bilan tezroq kamayishini tasdiqlaydi, chunki ^{226}Ra ning yarim yemirilish davri ^{238}U dan 2,8 million marta kam.

Dissertatsiyasining **“Radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ni aniqlash va ulardan texnogen obyektlarning radioekologik monitoringi uchun foydalanish”** deb nomlangan to'rtinchi bobida, ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentini K_{rm} aniqlash bo'yicha eksperimental ravishda olingan natijalar keltirilgan. 6-jadvalda olingan namunalarda ^{226}Ra va ^{238}U konsentratsiyalarini eksperimental aniqlash natijalari keltirilgan.

6-jadval

^{238}U va ^{226}Ra radionuklidlarining aniqlangan konsentratsiyalari hamda ular orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentlari – K_{rm} natijalari

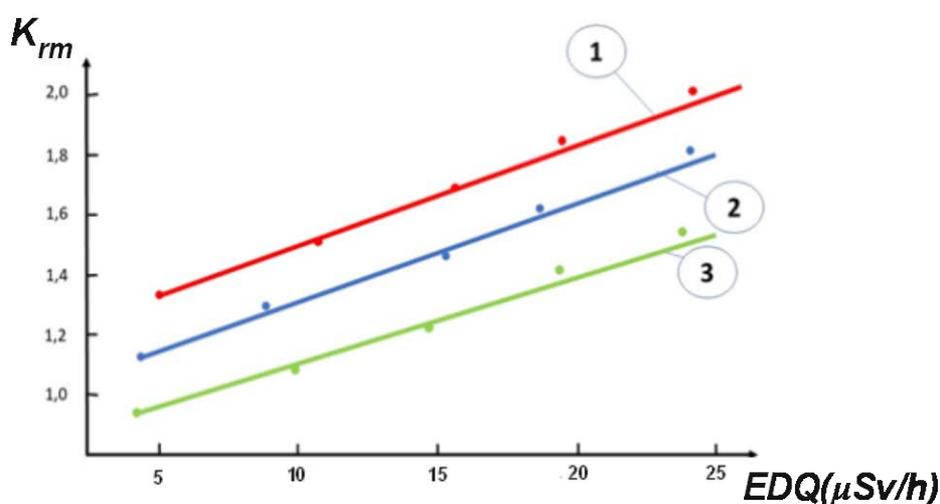
| № namuna | ^{226}Ra namunalardagi konsentratsiyasi, g/t | ^{238}U namunalardagi konsentratsiyasi, g/t | Radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti, K_{rm} |
|----------|---|--|---|
| 1 | 19,67 | 40 | 1,4 |
| 2 | 34,10 | 37 | 2,7 |
| 3 | 38,10 | 40 | 2,8 |
| 4 | 99,40 | 510 | 0,57 |
| 5 | 67,05 | 47 | 4,1 |
| 6 | 13,67 | 35 | 1,1 |
| 7 | 39,45 | 41 | 2,8 |
| 8 | 54,02 | 40 | 3,9 |
| 9 | 49,05 | 40 | 3,6 |
| 10 | 59,32 | 46 | 3,7 |
| 11 | 29,89 | 46 | 1,9 |
| 12 | 5,81 | 32 | 0,5 |
| 13 | 26,37 | 47 | 1,6 |
| 14 | 26,21 | 49 | 1,5 |
| 15 | 5,67 | 31 | 0,54 |
| 16 | 2,45 | 30 | 0,24 |
| 17 | 29,83 | 57 | 1,5 |
| 18 | 63,00 | 56 | 3,3 |
| 19 | 58,91 | 54 | 3,2 |
| 20 | 54,17 | 41 | 3,7 |

Olingan natijalar asosida ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentlari hisoblangan. Olingan 20 ta real namunalarda ^{226}Ra radionuklidining konsentratsiyasi 2,45 g/t dan 99,40 g/t gacha chegarada, ^{238}U

radionuklidining konsentratsiyasi 30 g/t dan 150 g/t gacha chegarada va radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti K_{rm} qiymati 0,24 dan 4,1 gacha chegarada o'zgarishi hisoblab topildi.

O'tkazilgan tajribalar uran otvallaridan olingan namunalarda ^{226}Ra va ^{238}U radionuklidlar konsentratsiyasi keng diapazonda o'zgarishini ko'rsatadi. Bular o'rtasida aniq radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti buzulish kuzatildi. Bu fakt hududda tabiiy radiatsion fonining oshishiga ta'sir qiluvchi sabab bo'lishi mumkin. Ushbu omilni o'rganish asosida uran ishlab chiqarish jarayonlarining xodimlarga va atrof-muhitga texnogen ta'sirini oldini olish choralarini ishlab chiqish mumkin.

8-rasmda uran mahsulotlari (uran ximkonsentrat) tarkibida ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentining K_{rm} effektiv doza quvvatiga bog'liqligi keltirilgan.



8-rasm. Uran mahsulotlari (uran ximkonsentrat) tarkibida ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ning effektiv doza quvvatiga bog'liqligi

Ushbu 8-rasmdan ko'rish mumkinki, uran mahsulotlarini saqlash joylarida effektiv doza quvvati (EDQ) qiymatlari chiziqli ravishda 5,0 $\mu\text{Sv/h}$ dan 25,0 $\mu\text{Sv/h}$ gacha oshadi. Bu o'sish uran mahsulotlari (uran kimyoviy konsentratlari) tarkibidagi ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ga to'g'ridan-to'g'ri proporsionaldir.

7-jadvalda effektiv doza quvvati qiymatlarining radioaktiv muvozanat koeffitsientlari o'zaro bog'liqligi keltirilgan.

Uran mahsulotlari saqlash joylaridagi effektiv doza quvvati – EDQ qiymatlarining radioaktiv muvozanat koeffitsiyentiga o‘zaro bog‘liqligi

| 1 chiziq | | 2 chiziq | | 3 chiziq | |
|----------|--------------------------|----------|--------------------------|----------|--------------------------|
| K_{rm} | EDQ, $\mu\text{Sv/soat}$ | K_{rm} | EDQ, $\mu\text{Sv/soat}$ | K_{rm} | EDQ, $\mu\text{Sv/soat}$ |
| 1,35 | 4,0 | 1,17 | 4,5 | 0,81 | 4,2 |
| 1,54 | 11,0 | 1,23 | 9,2 | 1,04 | 10,0 |
| 1,62 | 16,0 | 1,31 | 16,0 | 1,11 | 15,0 |
| 1,76 | 20,0 | 1,40 | 19,2 | 1,26 | 19,8 |
| 1,93 | 24,8 | 1,62 | 24,2 | 1,38 | 24,0 |

Yuqoridagi 7-jadvalda keltirilgan eksperimental ma’lumotlarga asoslanib, ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} qiymatining oshishi, uran mahsulotlarini saqlash joylarida radiatsion fonning oshishiga olib kelishini xulosa qilish mumkin. Bunga sabab solishtirma aktivligi – $2,3 \cdot 10^8$ Bk/g ga teng bo‘lgan ^{234}U qiz radionuklidi ulushining ^{238}U ona yadrosi solishtirma aktivligi – $1,25 \cdot 10^4$ Bk/g ga nisbati taxminan 10 000 marta katta ekanligi hisoblanadi. Shunday qilib, qiz radionuklid ^{234}U faolligining ta’siri radiatsion fonni sezilarli darajada oshiradi va uran mahsulotlarini xavfsiz saqlash hamda qayta ishlash uchun murakkab holatni yaratadi.

XULOSALAR

“Uran yemirilish zanjiri radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat buzulishini baholash” mavzusida texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) ilmiy darajasini olish uchun olib borilgan dissertatsiya ishi tadqiqotlari asosida quyidagicha xulosalar qilindi:

1. Uran rudalari tarkibidagi ^{206}Pb miqdorini aniqlash diapazoni 10 g/t dan 2000 g/t gacha oraliqda bo‘lgan atom - absorbsion va mass - spektrometrik usullari ishlab chiqilgan hamda uran qazib oluvchi korxonalar amaliyotida qo‘llanilgan. Ushbu tahlil usullariga ko‘ra, real uran kern namunalarida qo‘rg‘oshinning miqdori 20,3 g/t dan 27,6 g/t gacha bo‘lgan oraliqda aniqlandi. Qo‘rg‘oshin izotoplari miqdori bo‘yicha eksperimental ravishda olingan ushbu qiymatlar asosida Zafarobod konlari uran rudalarining yoshi aniqlandi. Ushbu ma’lumotlar uran konlarining geologik yoshini aniqlash imkonini beradi, bu esa uran rudalarining paydo bo‘lishining geokimyoviy mexanizmlarini tushuntiradi.

2. Energodispers rentgenoflyuorissensiyon tahlil usuli asosida uran namunalarida 0,1 g/t – 1000 g/t oralig‘ida ^{238}U miqdorini aniqlash usuli ishlab chiqilgan. Turli rudalardagi uran miqdorini aniqlash uchun ushbu usuldan foydalanish tajribalarning metrologik xarakteristikalarini optimallashtirish va yaxshilash imkonini beradi. Tajribaning ana shu optimal metrologik xarakteristikalari asosida O‘zbekiston

Respublikasining Qizilqum mintaqasidagi uran rudalarining yoshini aniqlashning chegaralarini ishonchli oshirish mumkin.

3. Aniqlanishicha, uran mahsulotlari tarlibidagi ^{234}U radionuklidi miqdorining o'zgarishi bilan bog'liq holda, ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasida radioaktiv muvozanatning buzilishi kuzatiladi, masalan, №1 namunada ^{234}U radionuklidining miqdori 48,4 $\mu\text{g/g}$ dan 50,3 $\mu\text{g/g}$ gacha, №2 namunada 49,8 $\mu\text{g/g}$ dan 51,5 $\mu\text{g/g}$ gacha, №3 namunada 65,6 $\mu\text{g/g}$ dan 69,9 $\mu\text{g/g}$ gacha, №4 namunada 53,2 $\mu\text{g/g}$ dan 57,2 $\mu\text{g/g}$ gacha va №5 namunada 50,1 $\mu\text{g/g}$ dan 52,3 $\mu\text{g/g}$ gacha. Olingan natijalar shuni ko'rsatadiki, ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti ^{234}U radionuklidining radioaktiv muvozanat vaqtidagi 53,41 $\mu\text{g/g}$ qiymatidan ancha farq qiladi. Normadan chetga chiqish radiatsion xavfsizlik bilan bog'liq potensial xavflarni yuzaga keltirishi mumkin, shuning uchun bunday og'ishlarga jiddiy e'tibor berish tegishli soha uchun maqsadli va zarur ishdir.

4. Uran parchalanish zanjiridagi radionuklidlar orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyentlarining tadqiqoti va aniqlangan qiymatlari uran mahsulotlari hamda uran tarkibidli qattiq namunalarni saqlash joylarida tabiiy fon qiymatining orshishi sababi ekanligini ko'rsatdi. Uran mahsulotlarini saqlash joylarida effektiv doza qiymati – EDQ ning 5,0 $\mu\text{Sv/soat}$ dan 25,0 $\mu\text{Sv/soat}$ gacha chiziqli oshishi ^{234}U va ^{238}U radionuklidlari orasidagi radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} qiymatining 1,35 dan 1,93 gacha o'sishiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Olingan natijalar uran mahsulotlari va uran tarkibli qattiq namunalarni saqlash joylarida radiatsion fon qiymatlarini har tomonlama monitoring qilish uchun qulay shart-sharoitlarni yaratish imkonini beradi.

5. Radioaktiv muvozanat koeffitsiyenti – K_{rm} ni aniqlash bo'yicha ishlab chiqilgan usullar atrof-muhitga va xodimlarga radiatsion ta'sirini kamaytirish bo'yicha chora-tadbirlarni o'tkazish imkonini beradi. Quyidagilarni bajarish tavsiya etiladi: birinchidan, radioaktiv muvozanati buzilgan holdagi radionuklid tarkibga ega bo'lgan uran tarkibli qattiq namunalarni va suyuq uran tarkibli mahsulotlarni uzoq vaqt saqlamaslik; ikkinchidan, uran tarkibli qattiq namunalarni va suyuq uran tarkibli mahsulotlarni radioaktiv muvozanat koeffitsiyentini doimiy tahlil qilib borish; uchinchidan, uran tarkibli qattiq namunalarni va suyuq uran tarkibli mahsulotlarni saqlash joylarida xodimlarning o'tkazadigan vaqtini cheklash.

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

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

**НАВОИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

СОЛИЕВ ТУРСУНБОЙ ИЗЗАТИЛЛО УГЛИ

**ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ РАДИОАКТИВНОГО РАВНОВЕСИЯ
МЕЖДУ РАДИОНУКЛИДАМИ В ЦЕПОЧКЕ РАСПАДА УРАНА**

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам

Ташкент – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером В2019.3PhD/FM411

Диссертация выполнена в Навоийском государственном педагогическом институте и Навоийском государственном горно-технологическом университете.

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

| | |
|-------------------------------|--|
| Научный руководитель: | Музафаров Амрулло Мустафаевич доктор химических наук, доцент |
| Официальные оппоненты: | Курбанов Бахтияр Ибрагимович доктор технических наук, профессор Кулматов Рашид Анорович доктор химических наук, профессор |
| Ведущая организация: | Самаркандский государственный университет имени Ш.Рашидова |

Защита диссертации состоится « _____ » _____ 2024 года в _____ часов на заседании Научного совета DSc.02/30.12.2019.FM/Т.33.01 при Институте ядерной физики (Адрес: 100214, Ташкент, пос. Улугбек, ИЯФ. Тел.: (+99871) 289-31-41; факс: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

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

Автореферат диссертации разослан « _____ » _____ 2024 г.
(протокол рассылки № _____ от « _____ » _____ 2024 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 физ.-мат. наук,
старший научный сотрудник

И.Нуритдинов
Зам. председателя 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. Одним из альтернативных энергоносителей в мире в настоящее время являются урановые руды, из которых получают ядерное топливо, используемое в работе атомных электростанций. В процессе добычи урана и его превращения в ядерное топливо необходимо соблюдать особые меры предосторожности с точки зрения чистоты продукта и радиационного влияния на персонал. Урановые продукты, пригодные для использования в качестве ядерного топлива, должны соответствовать установленным Международным требованиям по своему радионуклидному составу. Кроме этого, увеличение содержания одного из радионуклидов – ^{234}U , ^{235}U , ^{226}Ra в урановом продукте или ураносодержащей пробе приведёт к увеличению радиационного фона в местах хранения данного продукта и ураносодержащих проб. В связи с этим необходимо уделять особое внимание решению вопросов оценки факторов нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана.

На сегодняшний день в мире проводятся научные исследования по разработке различных ядерно-физических методов идентификации радионуклидов – ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{226}Ra , определению их содержания и оценке нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами – $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в урановых продуктах и твёрдых ураносодержащих пробах, а также определению факторов влияющих на коэффициент радиоактивного равновесия между ними. Результаты такого исследования позволят разработать эффективные меры защиты от вредного воздействия излучений, в том числе минимизировать значения радиационного фона в местах хранения ураносодержащих проб, что соответствует международным и республиканским нормативам.

В нашей Республике достигнуты определённые результаты по разработке практических и теоретических научных основ ядерно-физических методов контроля радиационного воздействия процессов производства урана на персонал и окружающую среду. Ряд научных и практических результатов достигаются внедрением опережающих научных обоснованных мероприятий, отмеченных в третьем направлении стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 гг. Указом Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года №УП-60 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Нового Узбекистана на 2022-2026 гг.» определены такие важные задачи как «...продолжение производственной политики по обеспечению стабилизации национальной экономики, увеличение доли промышленного производства всего валового продукта в 1,4 раза...»³, «...утилизация, обезвреживание, консервация и обеспечение того, чтобы техногенные

³ Указ Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № ПФ-60 «О Стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы»

отходы не отклонялись от установленных лимитов...»⁴. В этой связи важны научные исследования, оценивающие радиоактивное равновесие между радионуклидами в цепочке распада урана.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года № УП-60 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Нового Узбекистана на 2022-2026 гг.», Постановлении Президента Республики Узбекистан от 4 октября 2019 года № ПП-4477 «Об утверждении стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019-2030 годов», а также другими нормативно-правовыми документами, принятыми в данной сфере.

Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий в республике. Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики II. «Энергетика, энергосбережение и альтернативные источники энергии».

Степень изученности проблемы. Значительный вклад в развитие науки и практики по оценке радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана внесли зарубежные учёные, например: американские (John Arrington, Ursula Bassler, Sekhar Basu, Felix Boehm, Walter Dunham Claus, Harry Wilks Fulbright, Alexandra Gade, Magdalena Gonzalez Sanchez, Hanna Nasser), российские (С.В. Шурыгин, В.А. Овсейчук, Б.Н. Ласкорин, Д.П. Лобанов, В.Ж. Аренс, О.А. Джабиев, В.Н. Мясоедов, В.А. Грабовников, О.М. Гридин, Е.А. Аврорин, А.П. Александров, Л.А. Алехин, В.А. Александров, Л.А. Арцимов, В.К. Боболев, Е.Н. Бабулев, И.К. Кикоин, И.В. Курчатова, А.И. Лейпунская, И.Д. Морохов, А.К. Петржак, Ф.Я. Овчинников, В.И. Мостовой), узбекистанские (Б.С. Юлдашев, Т.М. Муминов, Р.Б. Бекжанов, С.М. Мухаммедов, А.А. Кист, Р.А. Кулматов, Г.С. Сагтаров) и другие специалисты.

В результате проведенных исследований разработаны ядерно-физические методики идентификации радионуклидов ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{226}Ra и определения их содержания в урановых рудах и ураносодержащих технологических продуктах. Также было замечено, что в цепочке спонтанного распада урана нарушается радиоактивное равновесие между радионуклидами.

Однако до настоящего времени мало изучены вопросы, связанные с ядерно-физическими факторами, влияющими на нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана, которые приводят к снижению качества готового продукта урана и увеличению радиационного фона в складах урановых продуктов.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где

⁴ Постановление № 170 от 30.03.2021 Кабинета Министров Республики Узбекистан «Об организации деятельности государственного предприятия «Навоиуран», акционерного общества «Навоийский горно-металлургический комбинат» и государственного учреждения «Фонд Навоийского горно-металлургического комбината».

выполнена диссертация. Диссертационное исследование выполнено в рамках планов научно-исследовательских работ Навоийского государственного горно-технологического университета по теме: БА-А-13-015 «Разработка технологического режима подземного выщелачивания урана с применением местных реагентов» (2020-2022).

Целью исследования является определение значения концентрации радионуклидов ^{234}U в различных урановых месторождениях и оценка влияния нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана – 238 на радиационный фон.

Задачи исследования:

исследование закономерностей зависимости коэффициента радиоактивного равновесия – K_{pp} между радионуклидами в цепочке распада урана-238 от возраста урановых руд;

экспериментальная оценка зависимости радиационного фона от нарушения радиоактивного равновесия между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в техногенных объектах;

экспериментальная оценка массовой доли ^{234}U в урановых образцах различных урановых месторождений;

проведение экспериментальных исследований по оценке возраста урановых руд Зафарабадского месторождения.

Объектом исследования являются урановые образцы, урановые месторождения, урановые руды, урановые хвостохранилища, склады урановых продуктов, площадки подземного выщелачивания урана.

Предметом исследования являются зависимость радиоактивного равновесия от возраста урановых руд, радиоэкологическое состояние в техногенных участках, закономерности распределения радионуклида ^{234}U в различных месторождениях урана.

Методы исследования: методы радиометрии, альфа, гамма-спектрометрии, масс-спектрометрии, рентгенофлуоресценции, методы математической обработки результатов теоретических расчётов.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработана методика датирования урановых руд, основанная на закономерности взаимосвязи коэффициента радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана-238 с возрастом урановых образцов;

разработана методика оценки радиационной обстановки в локальных участках техногенных объектов уранового производства на основе экспериментально установленной закономерности, согласно которой увеличение коэффициента радиоактивного равновесия – K_{pp} между радионуклидами ^{234}U и ^{238}U приводит к линейному увеличению значений радиационного фона;

экспериментально определено, что в урановых продуктах, отобранных из отдельно взятых месторождений урана, наблюдаются различные значения массового содержания ^{234}U , отличающиеся от равновесного - 53,41 $\mu\text{g/g}$, то

есть в пробе от 48,4 $\mu\text{g/g}$ до 69,9 $\mu\text{g/g}$;

на основе разработанной методики впервые экспериментально установлен возраст урановых руд Зафарabadского месторождения в диапазоне от 2,1 до 2,5 млрд. лет.

Практические результаты исследования заключаются в следующем:

на основе определения коэффициентов радиоактивного равновесия между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ созданы благоприятные условия для всестороннего контроля значений радиационного фона на местах хранения урановых продуктов и твердых урансодержащих проб.

Достоверность результатов исследования обоснована применением современных методов исследования и измерительных средств с использованием компьютерных программ обработки полученных данных, сравнительным анализом сертифицированных эталонных образцов, параллельными анализами и сравнением с данными различных исследователей и лабораторий.

Научная и практическая значимость результатов. Научная значимость результатов исследований заключается в том, что разработанные методы определения возраста урановых руд и оценки их радиационного состояния открывают возможности для дальнейших исследований и позволяют более точно оценить радиационное влияние урановых руд на окружающую среду.

Практическая значимость результатов исследований определяется тем, что экспериментально найденные коэффициенты радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана могут использоваться для определения возраста урановых руд и образцов, создания базы геологических данных по урановым месторождениям, для радиоэкологического мониторинга техногенных объектов уранового производства и территорий промышленных зон.

Внедрение результатов исследования. На основании полученных научных результатов по оценке факторов, влияющих на нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана:

разработанная методика определения возраста урановых руд использована в АО «НГМК» (Справка АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» №23-01-07/489 от 05 октября 2023 года). Использование результатов позволило увеличить доверительные границы проведения расчета датирования возраста урановых руд;

разработанная методика оценки радиационной обстановки в локальных точках техногенных объектов уранового производства использована в АО «НГМК» (Письмо АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» №23-01-07/489 от 05 октября 2023 года). Использование результатов позволило контролировать радиационную обстановку на промышленных площадях подземного выщелачивания урана, на местах хранения урановых отвалов и керна;

по найденным значениям нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана для различных проб объектов уранового производства АО «НГМК» разработан пакет программ для ЭВМ «Расчёт параметров значений коэффициентов радиоактивного равновесия- K_{pp} для определения возраста урановых образцов» (Свидетельство Агентства интеллектуальной собственности РУз № DGU 21848 от 01.02.2023 года). Использование разработки позволило оценить степень нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана в продуктах переработки и складирования урана.

Апробация результатов исследования. Основные результаты обсуждались на 13 международных и республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, в том числе 6 статей в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них 3 в зарубежных журналах, получено свидетельство на программный продукт.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы. Объём диссертации составляет 118 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

В первой главе диссертации **«Современное состояние методов определения радионуклидов в цепочке распада урана»** представлены сведения и обзор литературы по современным методам определения радионуклидов в цепочке распада урана в различных образцах. Подробно рассмотрены ядерно-физические характеристики радионуклидов, классификация методов их определения, природа, типы погрешностей при определении радионуклидов в ураносодержащих пробах, метрологические характеристики методик, требования к правильности ядерно-физических аналитических измерений, исследованы факторы, влияющие на коэффициент радиоактивного равновесия – K_{pp} и на радиационную обстановку локальной местности. На основе анализа литературных данных сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе диссертации **«Ядерно-физические методы определения содержаний и удельных активностей радионуклидов»** приведены экспериментальные данные рентгенофлуоресцентного метода

определения количества урана ^{238}U в урановых пробах и гамма-спектрометрического метода определения удельной активности ^{226}Ra в исследуемых пробах. Для определения количества ^{206}Pb в исследуемых пробах приведены экспериментальные данные анализа по атомно-абсорбционным и рентгенофлуоресцентным методам. На основании полученных результатов были определены значения коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$. Ниже на рисунках 1 и 2 приведены спектры, полученные на основе проведенного рентгенофлуоресцентного анализа урановых образцов – керновых проб, отобранных из различных точек.

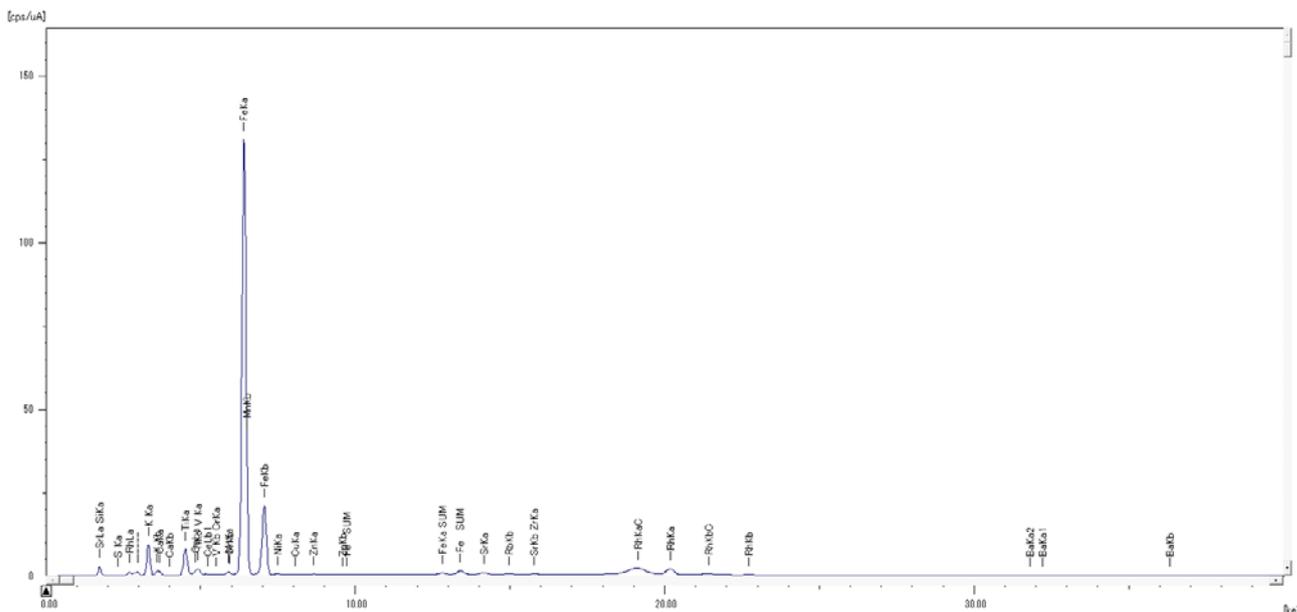


Рис. 1. Спектр первой пробы урановых образцов – керновых проб на основе рентгено-флуоресцентного анализа

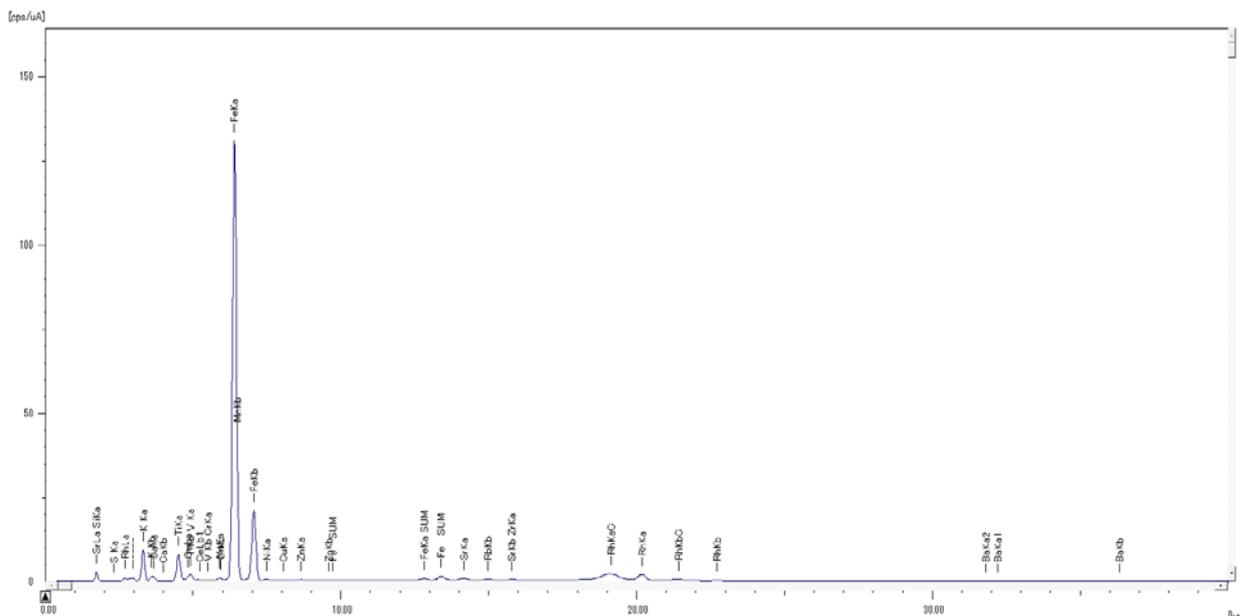


Рис. 2. Спектр второй пробы урановых образцов – керновых проб на основе рентгено-флуоресцентного анализа

Из результатов рентгенофлуоресцентного анализа десяти отобранных проб урановых образцов – керновых проб видно, что содержание урана изменяется в среднем в диапазоне от 119 г/т до 162 г/т.

В пробах урановых образцов суммарная удельная активность состоит из суммы активностей различных радионуклидов - ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn . Среди них максимальный вклад дает радионуклид ^{226}Ra , являющийся главным гамма-излучающим радионуклидом. Для его определения в урановых образцах использован метод гамма-спектрометрического анализа с помощью приборов марки «Прогресс-Гамма» и «CANBERRA».

По значениям коэффициента радиоактивного равновесия - K_{pp} между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в урановых образцах можно определить величину радиационного фона.

Коэффициент радиоактивного равновесия - K_{pp} рассчитывается по следующей формуле:

$$K_{pp} = \frac{A_{Ra}}{A_U} = \frac{m_{Ra} * \mu_U * T_{1/2(U)}}{m_U * \mu_{Ra} * T_{1/2(Ra)}} \quad (1)$$

где A_{Ra} и A_U – активности радия и урана в исследуемых пробах, m_{Ra} – массовая доля радия, μ_U – молярная масса урана, $T_{1/2(U)}$ – период полураспада урана, m_U – массовая доля урана, μ_{Ra} – молярная масса радия, $T_{1/2(Ra)}$ – период полураспада радия.

В таблице 1 приведены полученные результаты по определению активности ^{238}U и ^{226}Ra при радиоактивном равновесии - K_{pp} между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и при нарушении радиоактивного равновесия - K_{pp} между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$.

Таблица 1

Результаты по определению активности радионуклидов ^{238}U и ^{226}Ra при радиоактивном равновесии и при нарушении радиоактивного равновесия между ними

| № п/п | Активности радионуклидов при радиоактивном равновесии между ^{226}Ra и ^{238}U , Бк | | Активности радионуклидов при нарушении радиоактивного равновесия между ^{226}Ra и ^{238}U , Бк | |
|-------|---|---------------------------------|--|---------------------------------|
| | $^{238}\text{U} \cdot 10^6$ | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$ | $^{238}\text{U} \cdot 10^6$ | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-4}$ |
| 1 | 3,98 | 1,07 | 4,95 | 1,78 |
| 2 | 4,38 | 1,16 | 6,21 | 2,27 |
| 3 | 5,60 | 1,51 | 8,11 | 2,75 |
| 4 | 6,91 | 1,86 | 9,37 | 6,47 |
| 5 | 7,18 | 1,94 | 10,14 | 3,84 |
| 6 | 8,60 | 2,32 | 12,9 | 4,55 |
| 7 | 9,43 | 2,55 | 17,69 | 7,88 |
| 8 | 11,70 | 3,16 | 23,11 | 9,32 |

Как видно из результатов, приведенных в таблице 1, при радиоактивном равновесии - K_{pp} между ^{226}Ra и ^{238}U с увеличением активности радионуклида

^{238}U параллельно увеличивается активность радионуклида ^{226}Ra в данных урановых образцах. Таким образом, при значении $3,98 \cdot 10^6$ Вк активности радионуклида ^{238}U значение активности радионуклида ^{226}Ra становится равным $1,07 \cdot 10^4$ Вк, а при значении $11,70 \cdot 10^6$ Вк активности радионуклида ^{238}U , значение активности радионуклида ^{226}Ra линейно увеличивается и становится равным $3,16 \cdot 10^4$ Вк.

Представленные в таблице 2 результаты свидетельствуют о том, что значения мощности экспозиционной дозы зависят от количества радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U , а также от величины коэффициента нарушений радиоактивного равновесия - K_{pp} между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в местах хранения проб урановых кернов и урановых отвалов. Значения мощности экспозиционной дозы варьируются от трех до более чем 30-кратного превышения естественного фона гамма-излучения для данной местности.

На рисунках 3 и 4 представлены результаты зависимости изменения значений МЭД от концентрации ^{226}Ra и ^{238}U в пробах урановых отвалов и кернов. Значения МЭД в СИ измеряется $\mu\text{Sv/h}$ (микроЗиверт/час). Внесистемная единица 100 мкР/час равно $1 \mu\text{Sv/h}$.

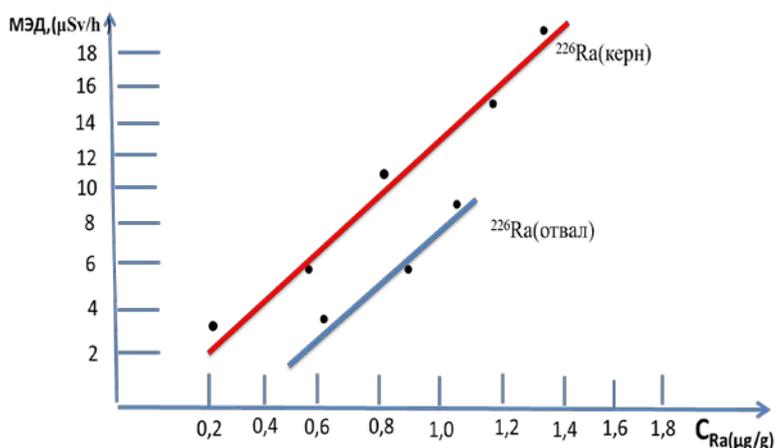


Рис 3. Зависимости изменения значений МЭД от концентрации Ra в пробах урановых отвалов и кернов

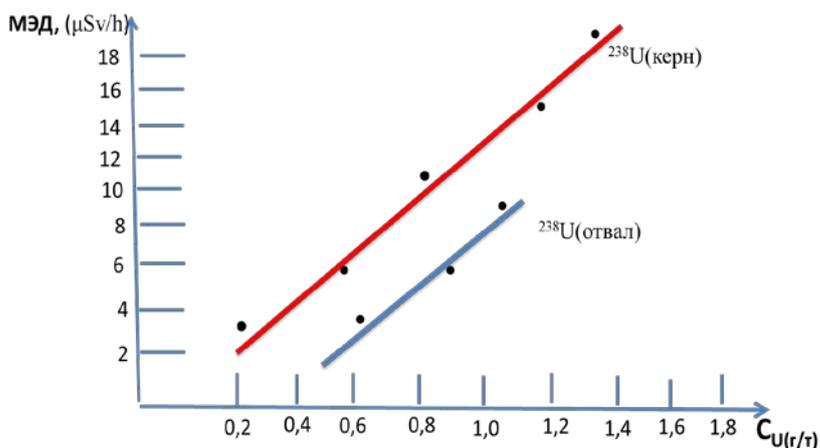


Рис 4. Зависимости изменения значений МЭД от концентрации U в пробах урановых отвалов и кернов

Причиной различия в значении мощности экспозиционной дозы от естественного радиационного фона для данной местности является определенное количество радиоактивных урановых проб и содержание радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U в них. Иными словами, чем больше объём радиоактивных урановых проб и содержание радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U , тем выше значение радиационного фона в этом объекте. Более того, величина мощности экспозиционной дозы также зависит от коэффициента нарушений радиоактивного равновесия – K_{pp} между радионуклидами ^{226}Ra и ^{238}U в местах хранения проб урановых кернов и урановых отвалов.

Таблица 2

Значения мощности эквивалентной дозы - МЭД в зависимости от количества радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U и коэффициента нарушений радиоактивного равновесия K_{pp} между ними

| Концентрации в пробах урановых кернов, г/г | | МЭД, ($\mu\text{Sv/h}$) | Концентрации в пробах урановых отвалов, г/г | | МЭД, ($\mu\text{Sv/h}$) |
|---|------------------|---------------------------|---|------------------|---------------------------|
| $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$ | ^{238}U | | $^{226}\text{Ra} \cdot 10^{-6}$ | ^{238}U | |
| При радиоактивном равновесии между радионуклидами | | | | | |
| 88,7 | 264,6 | 0,764 | 23,8 | 70 | 0,471 |
| 188,6 | 564,6 | 1,400 | 37,4 | 110 | 0,515 |
| 251,8 | 765,1 | 1,972 | 44,2 | 130 | 0,569 |
| 298,0 | 890,3 | 2,216 | 56,1 | 165 | 0,602 |
| 345,3 | 1031,2 | 2,547 | 60,7 | 175 | 0,657 |
| При нарушении радиоактивного равновесия между радионуклидами | | | | | |
| 587 | 1150 | 3,247 | 106 | 208 | 1,439 |
| 670 | 1232 | 3,403 | 156,7 | 256 | 2,767 |
| 840 | 1370 | 4,708 | 151,2 | 278 | 2,926 |
| 986 | 1450 | 4,984 | 132,6 | 300 | 2,154 |
| 1440 | 1512 | 5,238 | 126,5 | 310 | 2,093 |

На рисунке 5 изображена зависимость значений мощности эффективной дозы в объектах урановых производств от удельной активности радионуклида A_{Ra} .

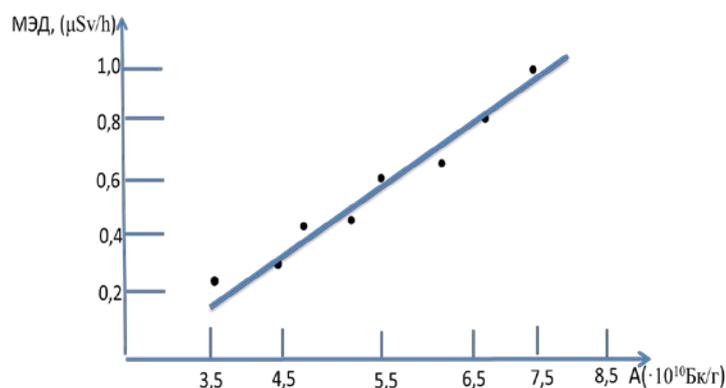


Рис.5. Зависимость мощности эффективной дозы в объектах урановых производств от удельной активности радионуклида A_{Ra} (Бк/г)

Как видно из рисунка 5, с увеличением значения удельной активности радионуклида A_{Ra} пределах от $3,5 \cdot 10^{10}$ Бк/г до $8,5 \cdot 10^{10}$ Бк/г увеличиваются значения мощности эффективной дозы в пределах от $0,18 \mu\text{Sv/h}$ до $0,82 \mu\text{Sv/h}$. $1 \mu\text{Sv/h}$ равно 100 мкР/час .

На рисунке 6 изображена зависимость значения мощности эффективной дозы в объектах урановых производств от значения коэффициента радиоактивного равновесия между радионуклидами ^{226}Ra и ^{238}U .

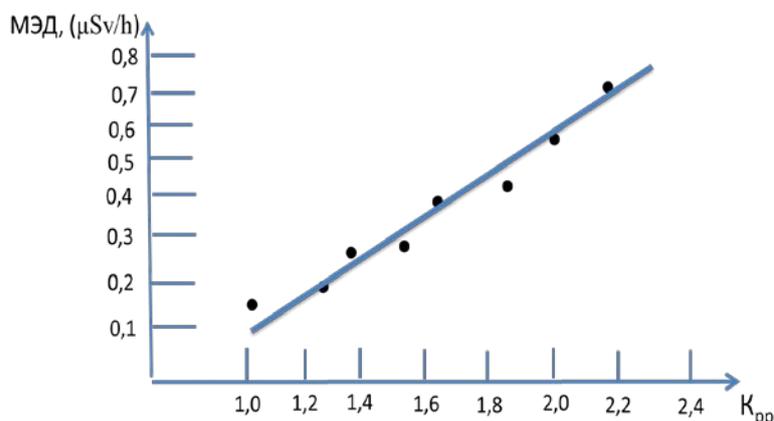


Рис.6. Зависимость мощности эффективной дозы в объектах урановых производств от коэффициента радиоактивного равновесия между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$

Рисунок 6 демонстрирует, что при $K_{pp}=1$ значения мощности эффективной дозы изменяются в диапазоне естественного фона, то есть от $0,15 \mu\text{Sv/h}$ до $0,20 \mu\text{Sv/h}$. При $K_{pp}=1,16$ эти значения изменяются в пределах от $0,18 \mu\text{Sv/h}$ до $0,24 \mu\text{Sv/h}$. Когда $K_{pp}=1,22$ мощность эффективной дозы варьируется от $0,20 \mu\text{Sv/h}$ до $0,28 \mu\text{Sv/h}$, при $K_{pp}=1,36$ ее значения изменяются в диапазоне от $0,23 \mu\text{Sv/h}$ до $0,31 \mu\text{Sv/h}$, а при $K_{pp}=1,45$ – в пределах от $0,25 \mu\text{Sv/h}$ до $0,34 \mu\text{Sv/h}$. Далее, при $K_{pp}=1,61$ мощность эффективной дозы изменяется в пределах от $0,27 \mu\text{Sv/h}$ до $0,42 \mu\text{Sv/h}$, при $K_{pp}=1,81$ – от $0,32 \mu\text{Sv/h}$ до $0,58 \mu\text{Sv/h}$, при $K_{pp}=2,16$ – от $0,38 \mu\text{Sv/h}$ до $0,67 \mu\text{Sv/h}$. Наконец, при $K_{pp}=2,34$, мощность эффективной дозы изменяется в пределах от $0,45 \mu\text{Sv/h}$ до $0,82 \mu\text{Sv/h}$. Данная зависимость подтверждает, что с увеличением K_{pp} значение мощности эффективной дозы линейно увеличивается и приводит к изменению естественного фона. Увеличение естественного фона оказывает отрицательное влияние на экологию региона и здоровье персонала.

В третьей главе диссертации «Методика определения возраста урановых руд и образцов по параметрам радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана» представлены факторы, влияющие на коэффициент нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана, который позволяет оценить нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами. Один из основных факторов, влияющие на коэффициент нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана является их

энергия отдачи. Смещения радионуклидов между собой в цепочке распада урана происходит за счет энергии отдачи. При α -распаде химический элемент превращается в другой элемент. В цепочке естественного распада урана, ^{238}U превращается в ^{234}U , а радионуклид ^{234}U в ^{234}Th и, в свою очередь, радионуклид ^{234}Th в ^{226}Ra и так далее. С уменьшением атомной массы радионуклидов за счет вылета из них α -частицы энергия отдачи - $E_{от}$ радионуклида увеличивается (смотрите таблицу 3).

Таблица 3

Значение энергии отдачи $E_{от}$ радионуклидов за счет вылета α -частицы из материнских ядер

| Атомная масса радионуклидов | Схема превращения | Энергия отдачи $E_{от}$, МэВ |
|-----------------------------|--|-------------------------------|
| ^{238}U | $^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{234}\text{Th}$ | 0,0700 |
| ^{234}U | $^{234}\text{U} \xrightarrow{\alpha} ^{230}\text{Th}$ | 0,0816 |
| ^{230}Th | $^{230}\text{Th} \xrightarrow{\alpha} ^{226}\text{Ra}$ | 0,0813 |
| ^{226}Ra | $^{226}\text{Ra} \xrightarrow{\alpha} ^{222}\text{Rn}$ | 0,0846 |
| ^{222}Rn | $^{222}\text{Rn} \xrightarrow{\alpha} ^{218}\text{Po}$ | 0,0989 |
| ^{218}Po | $^{218}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{214}\text{Pb}$ | 0,1100 |
| ^{214}Po | $^{214}\text{Po} \xrightarrow{\alpha} ^{210}\text{Pb}$ | 0,1438 |

Как видно из приведенных в таблице 3 результатов, значения энергии отдачи $E_{от}$ изменяются в диапазоне от 0,0700 МэВ до 0,1438 МэВ. Данный факт свидетельствует о том, что с уменьшением атомной массы радионуклида их энергия отдачи линейно возрастает. На основе теоретических расчетов установили, что энергия отдачи радионуклидов не значительно влияет на коэффициент радиоактивного равновесия.

Рассчитать возраст урановых образцов можно согласно следующей формулы

$$t = \frac{\ln\left(\frac{Ra}{0,34 \cdot K_{pp} \cdot Pb}\right)}{\lambda_U} \quad (2)$$

Данная формула показывает взаимосвязь между возрастом урановых образцов и концентрациями радия, урана и свинца, а также коэффициентами радиоактивного равновесия K_{pp} .

Как видно из представленных в таблице 4 результатов, возраст отобранных образцов T напрямую связан с величиной коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$.

Таблица 4

Рассчитанные значения возраста урановых образцов в зависимости от содержания Ra, U, Pb и коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp}

| № | Содержания, (г/г) | | | K_{pp} | Возраст отобранных образцов T, (млрд.лет) |
|---|-------------------|------------------|-------------------|----------|---|
| | ^{226}Ra | ^{238}U | ^{206}Pb | | |
| 1 | 41,5 | 72,2 | 23,6 | 3,75 | 2,089±0,104 |
| 2 | 36,6 | 65,1 | 22,7 | 3,43 | 2,110±0,106 |
| 3 | 28,0 | 60,3 | 20,3 | 2,90 | 2,180±0,109 |
| 4 | 30,2 | 71,5 | 24,1 | 2,60 | 2,270±0,112 |
| 5 | 32,4 | 80,2 | 27,6 | 2,40 | 2,364 ±0,118 |
| 6 | 27,8 | 73,5 | 25,9 | 2,15 | 2,500±0,125 |

Чем выше значения коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$, тем ниже возраст этих образцов. Данный факт подтверждается тем, что в старых образцах количество ^{238}U будет больше, чем ^{226}Ra , потому что период полураспада $T_{1/2}$ радия меньше (1600 лет) периода полураспада $T_{1/2}$ урана ($4,5 \cdot 10^9$ лет). На рисунке 7 изображена зависимость коэффициента радиоактивного равновесия от возраста образцов.

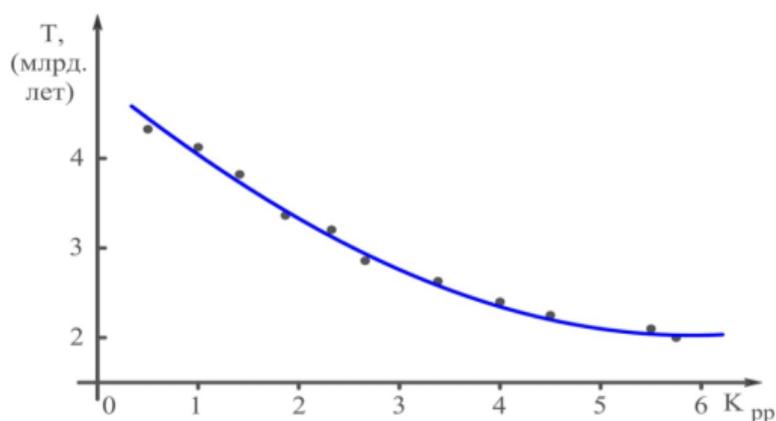


Рис 7. Зависимость коэффициента радиоактивного равновесия $K_{pp} = ^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ от возраста образцов

Как можно наблюдать на этом рисунке, существует линейная взаимосвязь между коэффициентом радиоактивного равновесия - K_{pp} и возрастом образцов.

Таким образом, на основании проведённых исследований по определению возраста урановых образцов экспериментально доказана линейная зависимость между возрастом образца и коэффициентом радиоактивного равновесия - K_{pp} . Это указывает на то, что образцы с более высокими значениями коэффициента радиоактивного равновесия являются более молодыми. Данный факт подтверждает, что количество ^{226}Ra в образце

с течением времени уменьшается быстрее, чем количество ^{238}U , т.к. период полураспада ^{226}Ra в 2,8 миллиона раз меньше, чем у ^{238}U .

В четвертой главе диссертации «**Определение коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} между радионуклидами и использование их для радиоэкологического мониторинга техногенных объектов**» приведены экспериментально полученные результаты по определению коэффициента радиоактивного равновесия - K_{pp} между радионуклидами $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$. В таблице 6 приведены экспериментальные результаты определения концентрации ^{226}Ra и ^{238}U в отобранных пробах.

Таблица 6

Результаты определения концентрации радионуклидов ^{238}U и ^{226}Ra и коэффициентов радиоактивного равновесия K_{pp} между ними

| № проб | Концентрация ^{226}Ra в пробах, г/г | Концентрация ^{238}U в пробах, г/г | Коэффициент радиоактивного равновесия. K_{pp} |
|--------|--|---|---|
| 1 | 19,67 | 40 | 1,4 |
| 2 | 34,10 | 37 | 2,7 |
| 3 | 38,10 | 40 | 2,8 |
| 4 | 99,40 | 510 | 0,57 |
| 5 | 67,05 | 47 | 4,1 |
| 6 | 13,67 | 35 | 1,1 |
| 7 | 39,45 | 41 | 2,8 |
| 8 | 54,02 | 40 | 3,9 |
| 9 | 49,05 | 40 | 3,6 |
| 10 | 59,32 | 46 | 3,7 |
| 11 | 29,89 | 46 | 1,9 |
| 12 | 5,81 | 32 | 0,5 |
| 13 | 26,37 | 47 | 1,6 |
| 14 | 26,21 | 49 | 1,5 |
| 15 | 5,67 | 31 | 0,54 |
| 16 | 2,45 | 30 | 0,24 |
| 17 | 29,83 | 57 | 1,5 |
| 18 | 63,00 | 56 | 3,3 |
| 19 | 58,91 | 54 | 3,2 |
| 20 | 54,17 | 41 | 3,7 |

По содержанию ^{226}Ra и ^{238}U в реальных пробах проведен расчёт коэффициентов радиоактивного равновесия между ними. В отобранных 20 пробах концентрация ^{226}Ra изменяется в пределах от 2,45 г/г до 99,40 г/г, концентрация ^{238}U – от 30 г/г до 510 г/г, а значения коэффициента радиоактивного равновесия – K_{pp} изменяется в пределах от 0,24 до 4,1.

Эксперименты продемонстрировали, что в исследованных 20 образцах, отобранных из урановых отвалов, концентрации радионуклидов ^{226}Ra и ^{238}U изменяются в широком диапазоне. Между ними наблюдается явное нарушение радиоактивного равновесия. Данный факт может быть причиной,

влияющей на увеличение естественного радиационного фона местности. На основании изучения данного фактора можно разработать мероприятия по предотвращению техногенного влияния процессов производства урана на персонал и на окружающую среду.

На рисунке 8 представлена зависимость мощности эффективной дозы (МЭД) от коэффициента радиоактивного равновесия - K_{pp} между радионуклидами ^{234}U и ^{238}U в составе урановых продуктов (химконцентраатах урана).

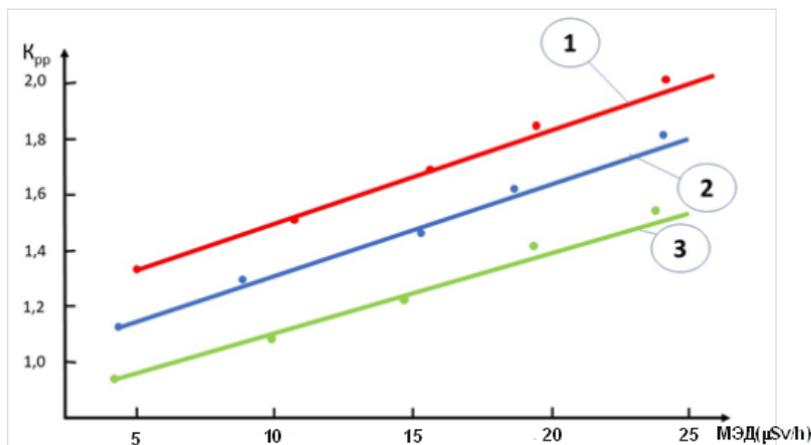


Рис. 8 Зависимость значений МЭД от K_{pp} в урановых продуктах (химконцентраатах урана)

Как можно наблюдать из этого 8 рисунка, значения мощности эффективной дозы (МЭД) в местах хранения урановых продуктов линейно возрастают от 5,0 $\mu\text{Sv/h}$ до 25,0 $\mu\text{Sv/h}$. Это увеличение прямо пропорционально коэффициенту радиоактивного равновесия - K_{pp} между радионуклидами ^{234}U и ^{238}U в урановых продуктах (химконцентраатах урана).

В таблице 7 представлена взаимосвязь значений мощности эффективной дозы (МЭД) с коэффициентами радиоактивного равновесия.

Таблица 7

Взаимосвязь значений мощности эффективной дозы с коэффициентами радиоактивного равновесия в местах хранения урановых продуктов

| 1 прямая | | 2 прямая | | 3 прямая | |
|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|
| K_{pp} | МЭД, $\mu\text{Sv/h}$ | K_{pp} | МЭД, $\mu\text{Sv/h}$ | K_{pp} | МЭД, $\mu\text{Sv/h}$ |
| 1,35 | 4,0 | 1,17 | 4,5 | 0,81 | 4,2 |
| 1,54 | 11,0 | 1,23 | 9,2 | 1,04 | 10,0 |
| 1,62 | 16,0 | 1,31 | 16,0 | 1,11 | 15,0 |
| 1,76 | 20,0 | 1,40 | 19,2 | 1,26 | 19,8 |
| 1,93 | 24,8 | 1,62 | 24,2 | 1,38 | 24,0 |

На основе вышеприведенных в таблице 7 экспериментальных данных можно заключить, что возрастание значения коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} между радионуклидами ^{234}U и ^{238}U приведет к увеличению

радиационного фона в местах хранения урановых продуктов. Это объясняется тем, что удельная активность данных продуктов окажется выше благодаря росту доли дочернего радионуклида ^{234}U , который имеет активность, превышающую в 10000 раз активность материнского радионуклида ^{238}U . Величина удельной активности ^{234}U достигает $2,3 \cdot 10^8$ Бк, тогда как активность ^{238}U составляет всего $1,25 \cdot 10^4$ Бк. Таким образом, воздействие активности дочернего радионуклида ^{234}U значительно повысит радиационный фон, и создаст усложненные условия для безопасного хранения и обращения с урановыми продуктами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований по диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) по техническим наукам на тему «Оценка нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана» сделаны следующие выводы:

1. Разработана и применена в практике уранодобывающих предприятий атомно-абсорбционная и масс-спектрометрическая методика определения содержания ^{206}Pb в урановых рудах, в диапазоне определения от 10 г/т до 2000 г/т. По данным методам анализа в реальных урановых керновых пробах определено содержание свинца в диапазоне от 20,3 г/т до 27,6 г/т. На основании этих экспериментально полученных значений по содержанию изотопа свинца определен возраст урановых руд месторождений Зафарабад. Эти данные предоставляют возможность определения геологического возраста формирования урановых месторождений, что объясняет геохимические механизмы образования урановых руд.

2. Разработана методика определения содержания ^{238}U в урановых образцах в диапазоне 0,1 г/т – 1000 г/т на основе энергодисперсионного ретгенофлюоресцентного анализа. Применение данного метода для определения содержания урана в составе различных руд позволяет оптимизировать и усовершенствовать метрологические характеристики проведения экспериментов. На основании этих оптимальных метрологических характеристик эксперимента можно увеличить доверительные границы проведения расчета датирования возраста урановых руд Кызылкумского региона РУз.

3. Установлено, что в урановых продуктах наблюдаются нарушения радиоактивного равновесия между ^{234}U и ^{238}U , связанные с изменениями значения содержания ^{234}U , например, в пробе №1 содержание радионуклида ^{234}U находится в интервале от 48,4 мкг/г до 50,3 мкг/г, в пробе №2 в интервале от 49,8 мкг/г до 51,5 мкг/г, в пробе №3 в интервале от 65,6 мкг/г до 69,9 мкг/г, в пробе №4 в интервале от 53,2 мкг/г до 57,2 мкг/г и в пробе №5 в интервале от 50,1 мкг/г до 52,3 мкг/г. Полученные результаты показывают,

что коэффициент радиоактивного равновесия между ^{234}U и ^{238}U явно отличается от равновесного значения содержания ^{234}U равного 53,41 мкг/г.

Отклонения от нормы могут указывать на потенциальные риски, связанные с радиационной безопасностью, поэтому существенное внимание к подобным отклонениям является необходимым условием для нацеленной работы в соответствующей сфере.

4. На основании проведённых исследований и определённых значений коэффициентов радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана, установлена причина увеличения естественного радиационного фона на местах хранения урановых продуктов и твёрдых ураносодержащих проб. Определено, что значение мощности эффективной дозы (МЭД) на местах хранения урановых продуктов линейно увеличивается от 5,0 $\mu\text{Sv/h}$ до 25,0 $\mu\text{Sv/h}$ в зависимости от значения коэффициента радиоактивного равновесия - K_{pp} от 1,35 до 1,93 между радионуклидами ^{234}U и ^{238}U . Полученные результаты позволяют создать благоприятные условия для всестороннего контроля значений радиационного фона на местах хранения урановых продуктов и твердых ураносодержащих проб.

5. Разработанные методики по определению коэффициента радиоактивного равновесия K_{pp} позволяют провести мероприятия по уменьшению радиационного влияния на окружающую среду и на персонал. Рекомендуется провести следующее: во-первых, необходимо избегать длительного хранения твердых ураносодержащих образцов и жидких ураносодержащих продуктов, обладающих радионуклидным составом с нарушением радиоактивного равновесия; во-вторых, следует осуществлять регулярный мониторинг коэффициента радиоактивного равновесия как твердых ураносодержащих образцов, так и жидких ураносодержащих продуктов; в-третьих, важно лимитировать время нахождения сотрудников в зонах хранения этих материалов, чтобы минимизировать их воздействие.

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

**NAVOI STATE PEDAGOGICAL INSTITUTE
NAVOI STATE UNIVERSITY OF MINING AND TECHNOLOGY**

SOLIYEV TURSUNBOY IZZATILLO UGLI

**ASSESMENT OF THE RADIOACTIVE EQUILIBRIUM BETWEEN
RADIONUCLIDES IN THE URANIUM DECAY CHAIN**

01.04.01 – Instruments and methods of experimental physics

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

Tashkent-2024

The theme of the dissertation of the doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered by the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan under № B2019.3PhD/FM411.

The doctoral (PhD) dissertations was carried out at the Navoi State Pedagogical Institute and Navoi state university of mining and technology.

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 and on the website of «Ziyonet» information and educational portal at (www.ziyonet.uz).

Scientific supervisor:

Muzafarov Amrullo Mustafayevich
Doctor of Chemical Sciences, Senior Researcher

Official opponents:

Kurbanov Baxtiyar Ibragimovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Kulmatov Rashid Anorovich
Doctor of Technical Sciences Professor

Leading organization:

Samarkand State University named after Sharof Rashidov

The defense of the dissertation will be held on «_____» _____ 2024 y. 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, 100214, Tashkent city. Tel. (+99871) 289-31-41; fax: (+99871) 289-36-65; e-mail: info@inp.uz).

The doctoral (PhD) dissertation can be looked through in the Information Resource Center of Institute of Nuclear Physics (registered under № _____). Address: INP, Ulugbek settlement 100214, Tashkent city. Tel. (+99871) 289-31-19.

The abstract of dissertation was distributed on “_____” _____ 2024.
(Registry record No. _____ dated “_____” _____ 2024).

M.Yu. Tashmetov
Chairman of Scientific Council
on award of scientific degree
D.Ph. -M.S.Professor

O.R. Tojiboyev
Scientific Secretary of the Scientific Council
on award of scientific degrees, PhD.Ph-M.S

I. Nuritdinov
Vice-Chairman of 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 work of the study is to determine the concentration of radionuclide ^{234}U in various uranium deposits, to assess the impact of disturbances in the radioactive equilibrium between radionuclides in the decay chain of uranium-238 and on the background radiation.

The tasks of the research work:

the dependence patterns study of the radioactive equilibrium coefficient (K) between radionuclides the uranium decay chain -238 on the uranium ores age;

experimental assessment of the background radiation dependence of on the of radioactive equilibrium disturbance between $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ and $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ in man-made objects;

experimental assessment of the ^{234}U mass fraction in uranium samples from various uranium deposits;

experimental estimation of the uranium ores at the Zafarabad deposit;

The objects of the research work are uranium samples, uranium ores, uranium deposits, uranium tailings dumps, uranium product warehouses, underground uranium leaching sites.

The subject of the research work is the radioactive equilibrium dependence on the uranium ores age, radioecological monitoring the distribution patterns of radionuclide ^{234}U in various uranium deposits.

Scientific novelty of the research work is as follows:

a uranium ores dating technique has been developed, on the based relationship between the radioactive equilibrium coefficient between radionuclides in the uranium-238 decay chain and the uranium samples age;

a methodology has been developed for assessing the radiation situation in local areas of man-made uranium production facilities based on an experimentally found pattern, according to which an increase in the radioactive equilibrium coefficient - K_{re} between radionuclides ^{234}U and ^{238}U leads to a linear increase in background radiation values;

experimental observation of various values of the mass content of ^{234}U in uranium products selected from individual uranium deposits, differing from the equilibrium one - 53.41 $\mu\text{g/g}$, that is, in sample 48.4 $\mu\text{g/g}$ to 69.9 $\mu\text{g/g}$;

based on the developed methodology, for the first time the age of uranium ores of the Zafarabad deposit was experimentally determined in the range from 2.1 billion years to 2.5 billion years, the results of which were entered into the geological database of Uzbekistan on uranium.

Implementation of the research results. Based on the obtained scientific results on the assessment of factors influencing disturbances in the radioactive equilibrium between radionuclides in the uranium decay chain:

the developed method for determining the age of uranium ores was used at NMMC JSC (Certificate of Navoi Mining and Metallurgical Plant JSC No. 23-01-07/489 dated October 5, 2023). The use of the results made it possible to increase the confidence limits for calculating the age dating of uranium ores;

the developed methodology for assessing the radiation situation at local site of man-made uranium production facilities was used at JSC NMMC (Letter JSC Navoi Mining and Metallurgical Plant No. 23-01-07/489 dated October 5, 2023). The use of the results made it possible to monitor the radiation situation at industrial areas of underground uranium leaching, at storage sites for uranium dumps and core;

based on the found values of the disturbance of radioactive equilibrium between radionuclides in the uranium decay chain for various samples of uranium production facilities of JSC "NMMC", a computer software package was developed "Calculation of parameters of radioactive equilibrium coefficient values - K_{re} for determining the age of uranium samples" (Certificate of the Intellectual Property Agency of the Republic of Uzbekistan No. DGU 21848 dated 02/01/2023). The use of the development made it possible to assess the degree of disturbance of the radioactive equilibrium between radionuclides in the decay chain of uranium in the products of uranium processing and storage.

Structure and volume of the dissertation. The dissertation consists of an introduction, four chapters, conclusions and a list of references. The volume of the dissertation is 118 pages.

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

I часть (I bo'lim; Part I)

1. Soliyev T.I., Muzafarov A.M. Investigation of the causes of violations of the radioactive balance between radionuclides of the uranium decay chain // International journal multicultural and multireligious understanding. – Germany, 2021. – Vol.8. No. 6. – pp. 95-101. (№ 23. Scientific Journal Impact Factor; IF= 6.862).

2. Soliyev T.I., Muzafarov A.M., Izbosarov B.F. Experimental determination of the radioactive equilibrium coefficient between radionuclides of the uranium decay chain // International Scientific Journal Theoretical & Applied Science. – Kazakhstan, 2021. – Vol.103. No. 11. – pp.801-804 (№ 17. Open Academic Journals Index; IF= 0.35).

3. Soliyev T.I., Muzafarov A.M., Sherkulov U.D. Determination of mixing factors of daughter radionuclides in the uranium decay chain // NeuroQuantology. – Turkey, 2022. – No. 20(11). – pp. 2722-2725 (№ 41.SCIImago; IF=0,285).

4. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Бадалов К.А. Исследование факторов нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами цепочки распада урана // Научный вестник СамГУ. – Самарканд, 2021. – №5. – С.162-167 (01.00.00. № 2).

5. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М. Определение главного фактора нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана // Научный вестник НУУз. – Ташкент, 2022. – С.470-473 (01.00.00. № 8).

6. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М. Радиометрические методы датирования возрастов урановых образцов некоторых месторождений Кызылкумов // Горный вестник Узбекистана. – Навои: НГМК, 2022. – С.73-75 (05.00.00. №7).

7. Soliyev T.I., Muzafarov A.M., Nazarov J.T., Allaberganova G.M. Расчёт параметров значений коэффициентов радиоактивного равновесия- K_{pp} для определения возрастов урановых образцов // O‘zbekiston Respublikasi adliya vazirligi № DGU 21848. 01.02.2023 y.

II часть (II bo'lim; Part I)

8. Солиев Т.И., Музафаров А.М. Методы экспериментального определения коэффициента радиоактивного равновесия между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ и $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в ураносодержащих пробах // IV Международное книжное издание стран Содружества Независимых Государств “Лучший молодой ученый – 2021” . – Нур-Султан, Казахстан, 2021. – С. 5-8.

9. Soliyev T.I., Muzafarov A.M., Allayarov R.M., Mustafоеv M.A., G.M. Allaberganova. Study of radioactive equilibrium between $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$

in uranium products and industrial objects // “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. 291-292.

10. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М. Исследование факторов нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами цепочки распада урана // Международная научная конференция «Инновация-2021». 26-27 октября. Сборник научных статей. – Ташкент, 2021. – С. 245-247.

11. Солиев Т.И., Музафаров А.М. Уран емирилиш занжири радионуклидлари орасидаги радиоактив мувозанат коэффициентининг бузилиш сабаблари ва таъсир этувчи факторлар //“Фан ва таълимни ривожлантиришда ёшларнинг ўрни” мавзусидаги Республика илмий ва илмий-назарий анжуман материаллари. 30 сентябрь 2021. – Тошкент, 2021. – 37-40-б.

12. Солиев Т.И. Уран емирилиш занжири радионуклидлари орасидаги радиоактив мувозанат коэффициентини экспериментал усулда аниқлашнинг физикавий асослари //«Best Innovator in Science-2022»: Республика илмий-амалий конференция материаллари. Февраль 2022. – Тошкент, 2022. – 108-114-б.

13. Солиев Т.И., Музафаров А.М. Анализ причин нарушения радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочки распада урана // Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларнинг ўрни (РИАК-15) мавзусидаги республика илмий-амалий конференцияси ишлари тўплами. 1-том. 22-23 апрел 2022 йил. – Тошкент, 2022. – 168-170-б.

14. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М. Методы обнаружения различных ядерно-физических факторов нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами в цепочке распада урана // “Фан, таълим ва ишлаб чиқаришнинг интеграцияси-ривожланиш ва тараққиётнинг гарови” халқаро илмий-амалий конференция материаллари. 9-10 июнь 2022-йил. – Навоий, 2022. – 285-288-б.

15. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Шарафутдинов У.З. Исследование факторов радиоактивного равновесия между $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ в твёрдых урановых пробах с помощью ядерно-физических методов. // Геология соҳасининг долзарб масалалари, фойдали қазилмаларни прогнозлаш, қазиб олиш ва қайта ишлаш технологиясининг инновацион усуллари мавзусидаги халқаро илмий-амалий конференция. 28 июнь 2022 йил. – Тошкент, 2022. – 235-237-б.

16. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Назаров Ж.Т. Исследование возможности ядерно-физических методов датирования возрастов урановых образцов // Proceedings of the International conference on Integrated innovative development of Zarafshan region: achievements, challenges and prospects. 27-28 October 2022. – Navoi, 2022. – pp.415-419.

17. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Назаров Ж.Т. Исследование причин увеличения радиационного фона на местах хранения урановых продуктов. //Фундаментально-инновационные исследования в развитии физики и ее перспективы: Материалы республиканской конференции. 14 октября 2022. – Ташкент, 2022. – С.53-55.

18. Солиев Т.И., Музафаров А.М., Шеркулов У.Д. Уран таркибли намуналарнинг радиоактив мувозанат бузулиш сабабларининг ядро – физик таҳлил усуллари // “Физика фанини ахборот ва инновацион технологиялар муҳитида ўқитишнинг замонавий тенденциялари: муаммолар ва ечимлар” мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани материаллари. 24 ноябр 2022. – Навоий, 2022. – 553-561-б.

19. Исследование взаимосвязи увелечение радиационного фона в объектах урановых производств с коэффициентом радиоактивного равновесия между радионуклидами цепочки распада урана // Birinchi Rennans: Abu Rayhon Beruniy va tabiiy fanlar evolutsiyasi nomli xalqaro ilmiy – amaliy konferensiya materiallari to’plami (II qism). 25-may 2023-yil. – Navoiy shahri, 2022. – 352-359-b.

20. Исследования факторов нарушений радиоактивного равновесия между радионуклидами в урановых продуктах // “Физика фанини ахборот ва инновацион технологиялар муҳитида ўқитишнинг замонавий тенденциялари: муаммолар ва ечимлар” мавзусидаги республика илмий-амалий анжумани тўплами. 10 октабр 2023. – Navoiy shahri, 2023. – 275-279-б.

Автореферат “ЎзМУ хабарлари” илмий журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлар ўзаро мувофиқлаштирилди (16.10.2024 й.)