UO‘K 539.16:504.5

GAMMA-SPEKTROMETRIK USUL YORDAMIDA ZARAFSHON DARYOSI SUV HAVZASI TUPROQLARI TARKIBIDAGI TABIIY RADIONUKLIDLAR MIQDORLARINI ANIQLASH

Muzafarov Amrullo Mustafayevich,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
Umumiy fizika kafedrasi professori
a.muzafarov@gmail.uz
Eshburiyev Rashid Majidovich,
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
Yadro texnologiyalari instituti Yadro fizikasi
va astronomiya kafedrasi professori
eshburiyev0082@gmail.com
Allaberganova Gulchehra Masharipovna,
Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti
Umumiy fizika kafedrasi dotsenti
gulchexramasharipova@gmail.com
Fayzullayeva Mukarram Lutfullo qizi,
Sharof Rashidov nomidagi Samarqand davlat universiteti
Yadro texnologiyalari instituti Yadro fizikasi
va astronomiya kafedrasi tadqiqotchisi
mukarramfatzullayeva@gmail.com

Annotatsiya. *Mazkur tadqiqotda Zarafshon daryosi havzasining Urgut, Samarqand, Kattaqo‘rg‘on va Narpay hududlaridan olingan tuproq namunalarining tabiiy radionuklid tarkibi gamma-spektrometrik usulda baholandi. Namunalarning 0–5, 5–10, 10–15 va 15–20 sm qatlamlari o‘rganilib, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{4}K va ^{137}Cs bo‘yicha ma’lumotlar olindi. O‘lchashlar 80×80 mm NaI(Tl) detektorli MKGB-01 RADEK spektrometrida 1800 s davomida bajarildi. Natijalarda ^{40}K barcha hududlarda asosiy radionuklid bo‘lib, eng yuqori qiymatlar Samarqand hududida kuzatildi. ^{137}Cs qiymatlari aniqlash chegarasidan past bo‘ldi. Olingan natijalar havzaning radioekologik monitoringi uchun boshlang‘ich baza yaratadi.*

Kalit so‘zlar: *Zarafshon daryosi suv havzasi, tuproq, gamma-spektrometriya, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, ^{137}Cs, NaI(Tl) detektor, MKGB-01 RADEK rusumli spektrometr, radioekologik monitoring.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ВОДНОГО БАССЕЙНА РЕКИ ЗАРАФШАН ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация. *В работе методом гамма-спектрометрии оценено содержание природных радионуклидов в почвах бассейна реки Зарафшан. Образцы отобраны в районах Ургута, Самарканда, Каттакургана и Нарпая из слоёв 0–5, 5–10, 10–15 и 15–20 см. Определялись удельные активности ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K и техногенного ^{137}Cs. Измерения проведены на спектрометре MKGB-01 RADEK с детектором NaI(Tl) размером 80×80 мм при времени сч`та 1800 с. Наибольший вклад в суммарную радиоактивность вносил ^{40}K. Максимальные средние значения ^{40}K и ^{232}Th наблюдались в Самаркандской группе проб. ^{137}Cs во всех исследованных образцах находился ниже предела обнаружения.*

Ключевые слова: *бассейн Зарафшана, почва, гамма-спектрометрия, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, ^{137}Cs, NaI(Tl) детектор, спектрометр марки MKGB-01 RADEK, радиационный мониторинг.*

DETERMINATION OF THE AMOUNTS OF NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS OF THE ZARAFSHAN RIVER BASIN USING THE GAMMA-SPECTROMETRIC METHOD

Abstract. *The study evaluates the natural radionuclide composition of soils from the Zarafshan River basin using gamma-ray spectrometry. Soil samples were collected in the Urgut, Samarkand, Kattakurgan and Narpay areas from depths of 0–5, 5–10, 10–15 and 15–20 cm. Specific activities of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and anthropogenic ^{137}Cs were investigated. Measurements were performed using an MKGB-01 RADEK gamma*

spectrometer equipped with an 80×80 mm NaI(Tl) scintillation detector for 1800 s per sample. The results show that ^{40}K is the dominant radionuclide in the studied soils, while the highest mean ^{40}K and ^{232}Th levels were observed in the Samarkand group. ^{137}Cs remained below the detection limit in the analyzed samples.

Keywords: *Zarafshan basin, soil, gamma-spectrometry, ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{4}K, ^{137}Cs, NaI(Tl) detector, MKGB-01 RADEK spectrometer, radiation monitoring.*

Kirish. Zarafshon daryosi havzasi Markaziy Osiyoning muhim tabiiy-resurs hududlaridan biri bo‘lib, sug‘oriladigan dehqonchilik, aholi punktlari va sanoat faoliyati bilan chambarchas bog‘langan. Shu sababli tuproq qoplamining radioekologik holatini muntazam nazorat qilish tabiiy radionuklidlarning hududiy taqsimlanishini, tuproq profilidagi migratsiyasini va ehtimoliy antropogen radionuklidlarning mavjudligini baholash uchun muhimdir. Tuproqdagi ^{226}Ra va ^{232}Th uran va toriy parchalanish qatorlari bilan, ^{40}K esa tabiiy kaliy bilan bog‘liq bo‘lib, ular hududning tabiiy gamma-fonini shakllantirishda asosiy hissa qo‘shadi [1–3].

UNSCEAR ma’lumotlariga ko‘ra, dunyo bo‘yicha tuproqlarda ^{40}K, ^{226}Ra va ^{232}Th ning o‘rtacha faolliklari mos ravishda taxminan 512, 33 va 42 Bq/kg darajasida baholangan [1]. Ushbu qiymatlar muayyan hududning tabiiy geologik va geokimyoviy sharoitlarini baholashda taqqoslash mezoni sifatida qo‘llanishi mumkin. ^{137}Cs esa asosan atmosfera yadroviy sinovlari va ayrim texnogen manbalar bilan bog‘liq bo‘lgan antropogen radionuklid sifatida tuproq monitoringida muhim indikator hisoblanadi.

Mazkur ishning maqsadi Zarafshon havzasining to‘rtta hududida turli chuqurliklardan olingan tuproq namunalarida ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K va ^{137}Cs radionuklidlarining solishtirma aktivligini gamma-spektrometrik usulda baholash, hududlar va tuproq qatlamlari bo‘yicha farqlarni aniqlash hamda radioekologik monitoring uchun ilmiy asoslangan xulosalar ishlab chiqishdan iborat.

Tadqiqot obyekti va usullari. Tadqiqot obyekti sifatida Urgut, Samarqand, Kattaqo‘rg‘on va Narpay hududlaridan oqib o‘tuvchi Zarafshon daryosi suv havzasidan olingan tuproq namunalari tanlandi. Har bir asosiy nuqtada tuproqning 0–5, 5–10, 10–15 va 15–20 sm qatlamlaridan namunalar olindi. Ekspeditsiyada jami 48 ta qatlam namunasi qayd etilgan. Namunalarning massasi taxminan 0,81–1,64 kg oralig‘ida bo‘lib, gamma-spektrometrik o‘lchash vaqti har bir namuna uchun 1800 s ni tashkil etdi.

Gamma-spektrometrik o‘lchashlar Samarqand davlat universiteti Yadro fizikasi laboratoriyasida MKGB-01 RADEK qurilmasi va 80×80 mm o‘lchamli NaI(Tl) ssintillyatsion detektor yordamida bajarildi. Spektrometr hajmiy standart manbalar (OMACH) bilan kalibrlangan, standart manbalar va fon 6 soat davomida hisobga olingan. Energiya kalibrlashida ^{232}Th parchalanish mahsulotlarining, xususan, ^{28}Tl ning gamma chiziqlaridan foydalanilgan; ^{137}Cs ning 661 keV chizig‘ida energiya ajratish qobiliyati 8,5 % ni tashkil qilgan [4,6,8].

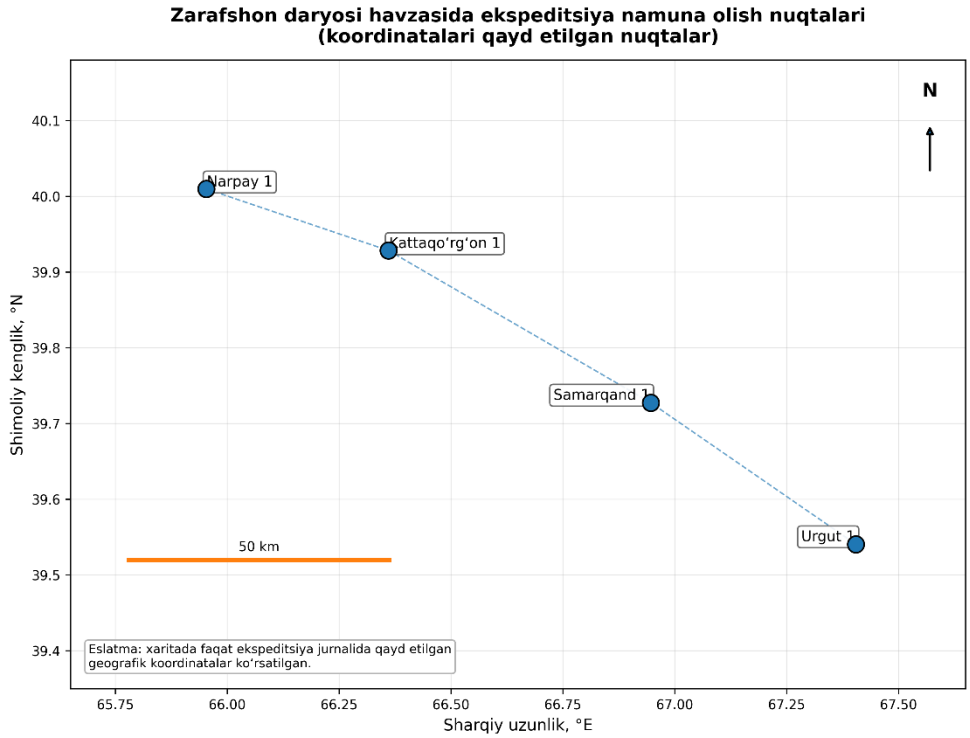
^{226}Ra, ^{232}Th va ^{4}K faolliklari ularning gamma-spektrometrik identifikatsiyasi uchun xarakterli chiziqlar asosida baholandi. ^{226}Ra uchun ^{214}Bi ning 1120 va 1764 keV, ^{232}Th uchun ^{28}Tl ning 2614 keV hamda ^{228}Ac ning 911 keV chiziqlari, ^{4}K uchun 1460,7 keV gamma chizig‘i ishlatildi [4, 5].

^{226}Ra ni aniqlashning ayrim nazorat o‘lchovlarida namuna Marinelli idishiga joylashtirilib, germetik tarzda skotch bilan yopilgan va taxminan bir oy saqlangan. Bunday yondashuv radon va uning qisqa yashovchi parchalanish mahsulotlari bilan radioaktiv muvozanatning tiklanishini ta’minlashga xizmat qiladi. Mazkur maxsus o‘lchovlar asosiy gamma-spektr natijalarini nazorat qilish uchun qo‘llangan.

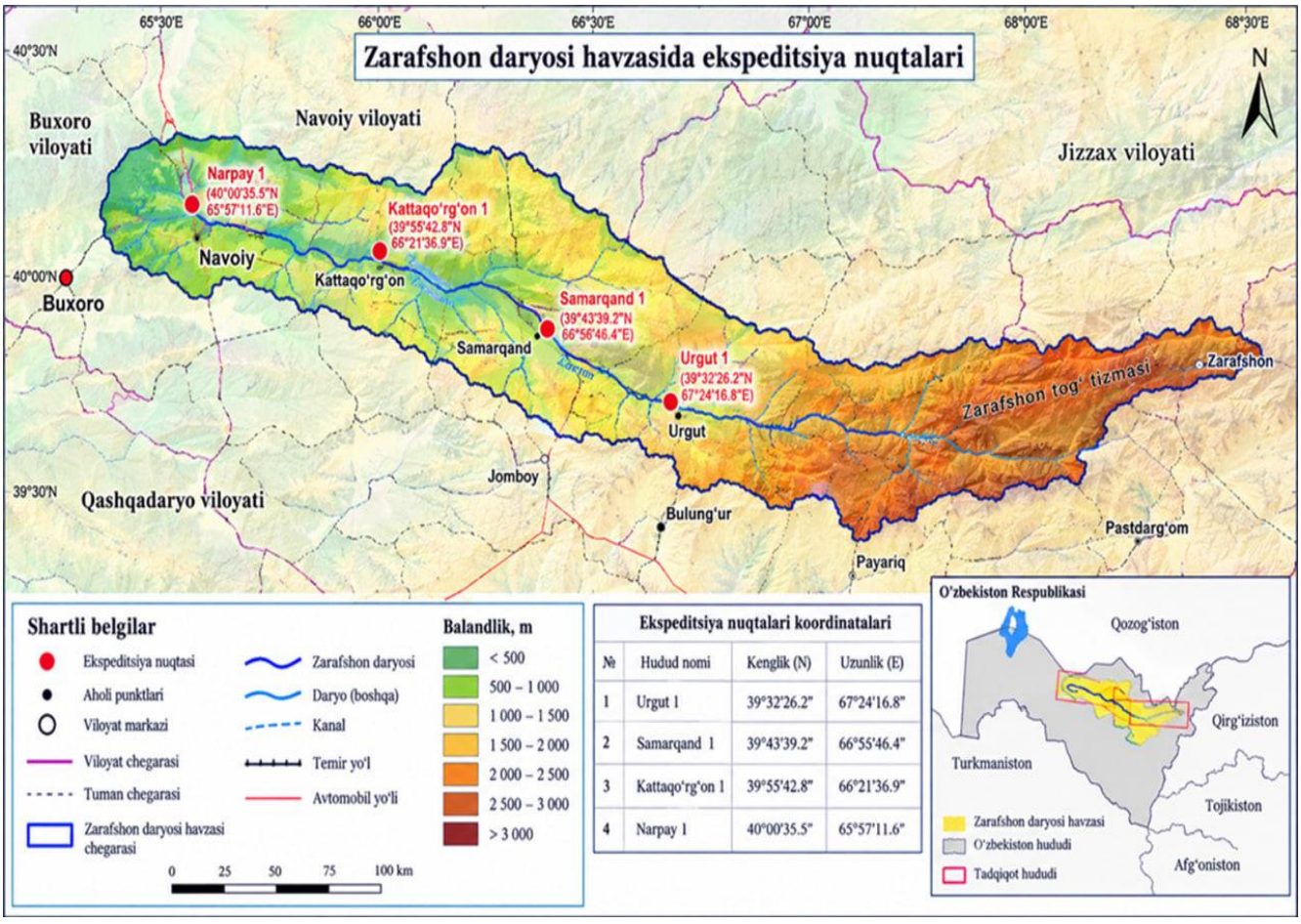
^{137}Cs qiymatlari jadvalda ko‘p hollarda aniqlash chegarasidan past (<LOD) ko‘rinishida qayd etilganligi sababli ular oddiy arifmetik o‘rtachaga sun’iy ravishda kiritilmadi. Bunday ma’lumotlar censored, ya’ni aniqlash chegarasi bilan cheklangan natijalar sifatida talqin qilindi [10, 11].

Olingan natijalar va ularning muhokamasi. Tadqiqot davomida Zarafshon daryosi suv havzasi hududidan olingan tuproq namunalarining radionuklid tarkibi gamma-spektrometrik usul yordamida o‘rganildi. Tadqiqotning asosiy maqsadi tuproq tarkibidagi tabiiy kelib chiqishga ega bo‘lgan ^{238}U, ^{232}Th qatorlari radionuklidlari hamda ^{40}K ning solishtirma aktivliklarini aniqlash va ularning hudud bo‘yicha taqsimlanish xususiyatlarini baholashdan iborat bo‘ldi.

Gamma-spektrometrik tahlil natijalariga ko‘ra, o‘rganilgan tuproq namunalarida tabiiy radionuklidlarning mavjudligi qayd etildi. Aniqlangan radionuklidlarning solishtirma aktivlik qiymatlari namuna olingan hudud, tuproqning mineralogik tarkibi, granulometrik xususiyatlari, organik modda miqdori hamda geologik-litologik sharoitlarga bog‘liq holda ma’lum darajada farq qilishi kuzatildi.



1-rasm. Ekspeditsiya jurnalida geografik koordinatalari qayd etilgan namuna olish nuqtalarining joylashuvi



2-rasm. Zarafshon daryosining umumiy ko‘rinishi va oqib o‘tish hududlari

Shuni alohida ta’kidlash kerakki, gamma-spektrometrik usul yordamida olingan natijalar radionuklidlarning tuproqdagi tabiiy fon darajasini baholash, hudud bo‘yicha radioaktivlikning fazoviy taqsimlanishini aniqlash va keyingi monitoring ishlari uchun boshlang‘ich ma’lumotlar bazasini shakllantirish imkonini beradi. Ushbu yondashuv Zarafshon daryosi havzasida tabiiy radioaktivlikning

shakllanish qonuniyatlarini o‘rganish bilan bir qatorda, antropogen ta’sir natijasida yuzaga kelishi mumkin bo‘lgan o‘zgarishlarni kelgusida aniqlash uchun ham muhimdir.

Natijalar va ularning muhokamasi. Eksperimental ma’lumotlar tahlili barcha to‘rtta hududda ^{40}K radionuklidi tabiiy gamma-radioaktivlikning asosiy komponenti ekanligini ko‘rsatdi. Hududiy o‘rtacha qiymatlar Samarqandda ^{40}K uchun 495,1 Bq/kg, Urgutda 417,3 Bq/kg, Narpayda 380,5 Bq/kg va Kattaqo‘rg‘onda 359,5 Bq/kg atrofida bo‘ldi. Samarqand guruhidagi yuqori qiymatlar ushbu hudud tuproqlarining mineralogik va geokimyoviy tarkibi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin; buni aniq tasdiqlash uchun kelgusida granulometrik va element tahlillari bilan korrelyatsiya qilish zarur [7, 11].

^{232}Th bo‘yicha o‘rtacha qiymat Samarqandda 39,3 Bq/kg, Narpayda 31,9 Bq/kg, Urgutda 29,1 Bq/kg va Kattaqo‘rg‘onda 26,1 Bq/kg bo‘ldi. Samarqanddagi qiymat UNSCEAR 2024 tomonidan keltirilgan dunyo bo‘yicha o‘rtacha 42 Bq/kg qiymatga yaqin, qolgan hududlarda esa undan past. Bu natija Samarqand namunalarida toriyga boy mineral komponentlarning nisbatan yuqori ulushini taxmin qilishga imkon beradi, biroq mineralogik tasdiq talab etiladi [1,7,9].

^{226}Ra bo‘yicha aniqlangan sonli qiymatlarning hududiy o‘rtachasi Samarqandda 30,3 Bq/kg, Narpayda 25,0 Bq/kg, Urgutda 22,3 Bq/kg va Kattaqo‘rg‘onda 18,5 Bq/kg ni tashkil etdi. Bu qiymatlar UNSCEAR 2024 hisobotidagi ^{226}Ra uchun 33 Bq/kg global o‘rtacha qiymat bilan bir xil tartibda bo‘lib, tadqiq etilgan tuproqlarda radiy bo‘yicha keskin anomal to‘planish kuzatilmaganini ko‘rsatadi [1,7,10].

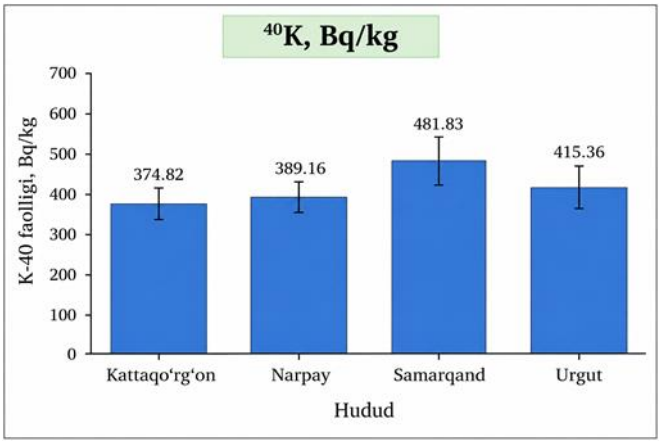
Shu bilan birga, ^{226}Ra bo‘yicha ayrim qatlamlarda qiymatlar aniqlash chegarasidan past bo‘lgan. Bunday natijalarni o‘rtachaga 0 yoki LOD/2 kabi shartli qiymat bilan kiritish o‘rniga, alohida qayd etish ilmiy jihatdan ehtiyotkorroqdir. Maxsus Marinelli o‘lchovlari esa radiy uchun radioaktiv muvozanat shartlarini yaxshilashga qaratilgan nazorat protsedurasi sifatida qaraladi. Hududlar bo‘yicha olingan namunalardagi asosiy radionuklidlarning statistik ko‘rsatkichlari 1- jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

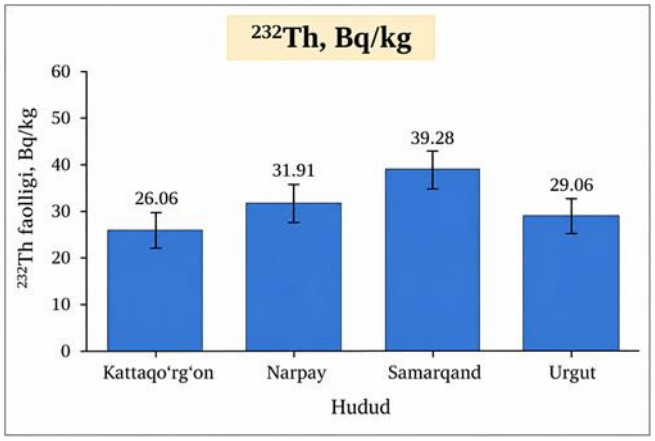
Hududlar bo‘yicha olingan namunalardagi asosiy radionuklidlarning statistik ko‘rsatkichlari

Hudud	^{226}Ra, Bq/kg	^{232}Th, Bq/kg	^{40}K, Bq/kg	A_{eff}, Bq/kg
Kattaqo‘rg‘on	18.51	26.06	374.82	82.90
Narpay	25.02	31.91	389.16	96.73
Samarqand	30.26	39.28	481.83	122.67
Urgut	22.31	29.06	415.36	95.95

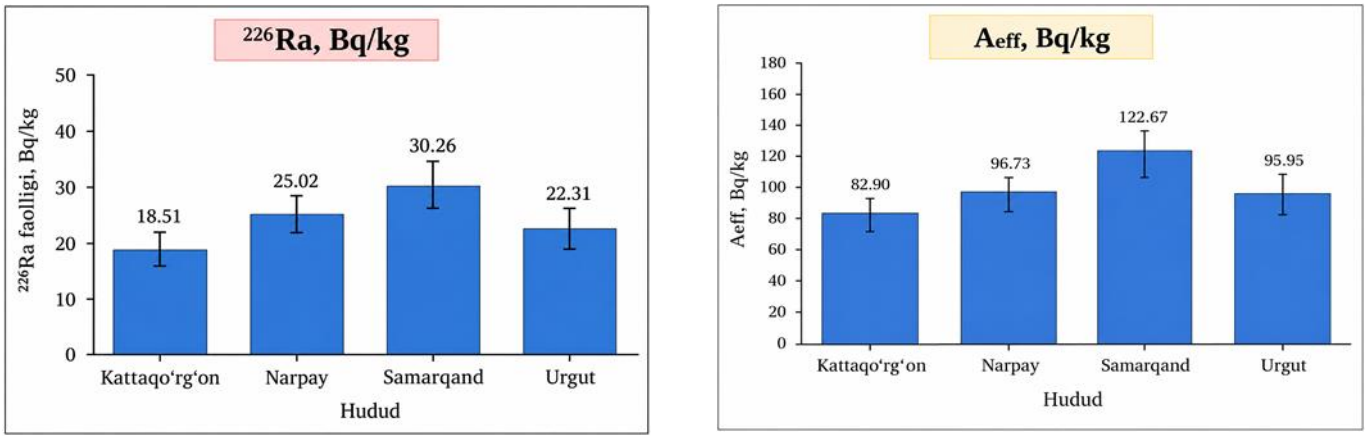
Quyidagi 3-, 4- va 5-rasmlarda ^{4}K, ^{232}Th va ^{226}Ra tabiiy radionuklidlarining hududlar bo`yicha solishtirma effektiv aktivliklarining taqsimlanishlari keltirilgan.



3-rasm. ^{40}K ning hududlar bo‘yicha o‘rtacha solishtirma aktivligi

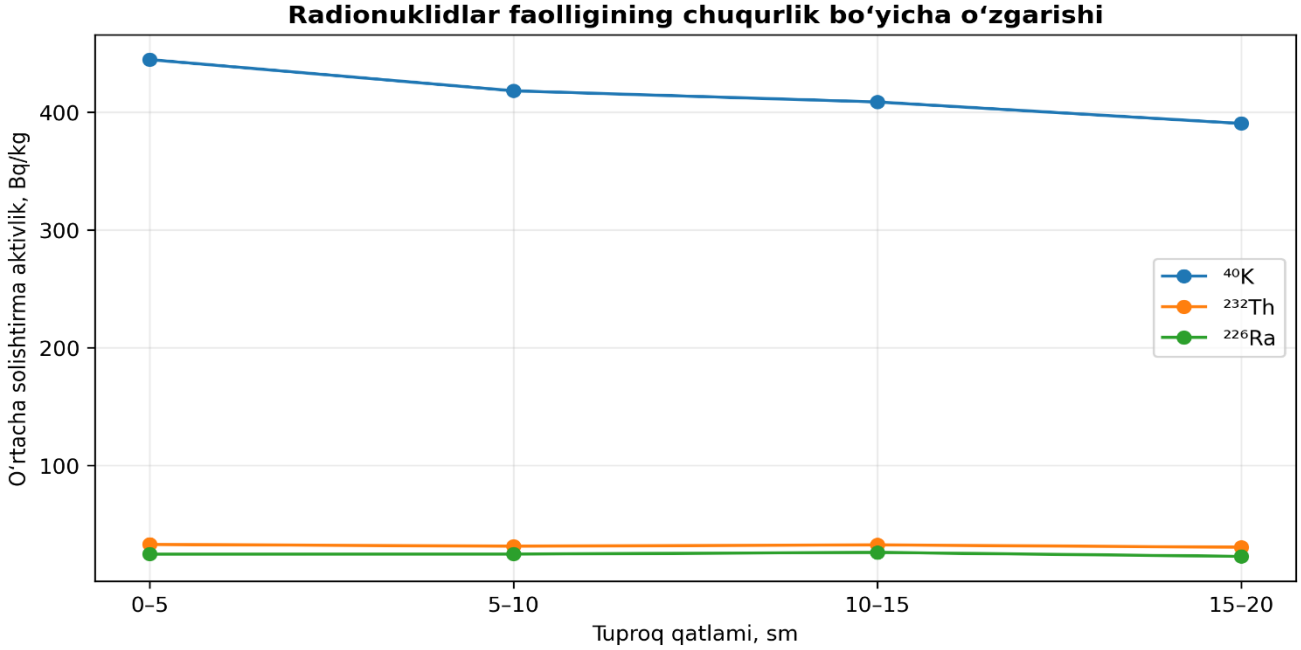


4-rasm. ^{232}Th ning hududlar bo‘yicha o‘rtacha solishtirma aktivligi



5-rasm. ^{226}Ra ning hududlar bo'yicha o'rtacha solishtirma aktivligi

Quyidagi 6-rasmda ^{226}Ra, ^{232}Th va ^{40}K faolliklarining tuproq chuqurligi bo'yicha o'rtacha o'zgarishi keltirilgan.



6-rasm. ^{226}Ra, ^{232}Th va ^{40}K faolliklarining tuproq chuqurligi bo'yicha o'rtacha o'zgarishi

Tuproq profilidagi o'zgarishlar ham bir xil yo'nalishda emas. Urgutda ^{40}K ning ayrim chuqur qatlamlarda kamayishi kuzatilsa, Samarqandda 5 - 10 sm qatlamda ^{40}K 578,3 Bq/kg gacha yetgan. Narpayda 10–15 sm qatlamda ^{40}K 471,4 Bq/kg bo'lgan. Kattaqo'rg'onda esa ^{40}K ning eng past qiymatlari 10–15 sm qatlam atrofida qayd etilgan. Bunday vertikal o'zgarishlar radionuklidlarning fizik-kimyoviy xususiyatlari, gil minerallari, kaliy saqlovchi minerallar va tuproqning granulometrik tarkibi bilan bog'liq bo'lishi mumkin.

A_{eff} ko'rsatkichi bo'yicha eng yuqori hududiy o'rtacha qiymat Samarqandda 122,7 Bq/kg, undan keyin Narpayda 96,7, Urgutda 96,0 va Kattaqo'rg'onda 82,9 Bq/kg ni tashkil etdi. Ushbu qiymatlar faqat ushbu tadqiqotda qo'llangan A_{eff} ustunining o'rtacha qiymatlaridir; ularni bevosita doza tezligi bilan tenglashtirmaslik kerak. Tashqi gamma-doza tezligini baholash uchun radionuklidlarning individual faolliklari asosida tegishli dozaviy koeffitsiyentlardan foydalanish maqsadga muvofiq [1,2].

UNSCEAR- 2024 hisobotida dunyo bo'yicha ^{40}K, ^{226}Ra va ^{232}Th uchun 512, 33 va 42 Bq/kg populyatsiya-og'irlikli o'rtacha qiymatlar keltirilgan [1]. Tadqiqotdagi ^{40}K qiymatlarining aksariyati ushbu global o'rtacha bilan bir xil tartibda yoki undan past, faqat Samarqanddagi ayrim qatlamlar yuqoriroq. ^{226}Ra va ^{232}Th bo'yicha hududiy o'rtachalar ham global o'rtacha qiymatlarga yaqin yoki past bo'lib, natijalar hududda tabiiy radionuklidlar fonining keskin anomal ekanini ko'rsatmaydi.

^{137}Cs ning tarqalishi bo‘yicha natijalar. Tadqiqotning muhim natijalaridan biri ^{137}Cs ning barcha ko‘rib chiqilgan qatlamlarda aniqlash chegarasidan past qayd etilganidir. Bu holat namunalar tarkibida ^{137}Cs mutlaq yo‘q degan xulosani bermaydi; faqat qo‘llangan o‘lchash sharoitida uning aktivligi detektor va hisoblash statistikasi bilan belgilanadigan aniqlash chegarasidan past ekanligini anglatadi. Shu sababli ^{137}Cs bo‘yicha yanada sezgir monitoring zarur bo‘lsa, uzoqroq hisoblash vaqti, pastroq fonli ekranlash yoki yuqori energiya ajratish qobiliyatiga ega detektor qo‘llash mumkin.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy ahamiyati. Tadqiqotning amaliy jihati Zarafshon havzasining to‘rtta hududida tuproq profilining to‘rt xil chuqurligini bir xil gamma-spektrometrik metodika bilan taqqoslash imkonini berganligidadir. Bundan tashqari, ^{226}Ra ni aniqlash uchun Marinelli geometriyasida bir oy germetik saqlashga asoslangan nazorat protsedurasining qo‘llanilishi radiy natijalarining ishonchliligini oshirishga qaratilgan metodik yondashuv sifatida muhimdir.

Olingan ma’lumotlar Zarafshon daryosi havzasida radioekologik monitoringning dastlabki referens bazasini shakllantirish, keyingi ekspeditsiyalarda nuqtalar tarmog‘ini kengaytirish va vaqt bo‘yicha o‘zgarishlarni aniqlash uchun qo‘llanishi mumkin. Kelgusida gamma-spektrometriyani EDXRF element tahlili, tuproqning granulometrik tarkibi, pH, organik modda va mineralogik tarkib bilan birlashtirish radionuklidlarning hududiy taqsimlanish sabablarini ancha chuqurroq izohlash imkonini beradi.

Xulosalar. Gamma-spektrometrik usul yordamida Zarafshon daryosi suv havzasi tuproqlari tarkibidagi tabiiy radionuklidlar miqdorlarini aniqlash tadqiqoti davomida - Zarafshon daryosi havzasining Urgut, Samarqand, Kattaqo‘rg‘on va Narpay hududlaridan olingan 48 ta qatlam namunasining gamma-spektrometrik ma’lumotlari tahlil qilindi, tadqiq etilgan tuproqlarda tabiiy gamma-radioaktivlikning asosiy hissasi ^{40}K radionuklidiga to‘g‘ri kelishi topildi, ^{40}K ning hududiy o‘rtacha qiymati Samarqandda eng yuqori, Kattaqo‘rg‘onda esa eng past bo‘lishi aniqlandi, ^{226}Ra va ^{232}Th ning hududiy o‘rtacha qiymatlari mos ravishda 18,5 - 30,3 va 26,1 - 39,3 Bq/kg oralig‘ida bo‘lishi, UNSCEAR tomonidan berilgan global o‘rtacha qiymatlar bilan bir xil tartibda bo‘lishi, ^{137}Cs barcha ko‘rib chiqilgan namunalarda aniqlash chegarasidan pastligi qayd etildi. Ushbu natija antropogen radionuklid bo‘yicha keyingi monitoring uchun boshlang‘ich nuqta sifatida qaralishi kerak va natijalar Zarafshon havzasi tuproqlarining radioekologik holati bo‘yicha boshlang‘ich ma’lumotlar bazasini yaratadi va keyingi monitoring hamda EDXRF asosidagi geokimyoviy tahlillar bilan integratsiya qilish uchun asos bo‘lib xizmat qilishi aniqlandi.

ADABIYOTLAR:

1. UNSCEAR. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2024 Report, Volume II, Scientific Annex B: Evaluation of Public Exposure to Ionizing Radiation. New York: United Nations, 2024.

2. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Vol. I. New York: United Nations, 2010.

3. Mo‘minov A.T., Mo‘minov T.M., Xolbayev I., Axmedova G., Mamatqulov O.B. Atrof-muhit obyektlarini gamma-spektrometriya usullari bilan tadqiq qilish. Toshkent: Vneshinvestprom, 2020. 290 b.

4. Khasanov Sh., Tukhtaev U., Mamatkulov O., Safarov A., Afsharipour S. Natural radionuclide profiles and radiological risks in soils and rocks of the Koytash–Ugam Range, Uzbekistan // Environmental Monitoring and Assessment. 2024. Vol. 196. Article 847. DOI: 10.1007/s10661-024-13015-0. https://doi.org/10.1007/s10661-024-13015-0

5. Tukhtaev U., Khasanov S., Fayzullayev J., Safarov A., Togaev B., Afsharipour S. Determination of natural radionuclides and heavy metal concentrations in the groundwater and adjacent areas of the Kattakurgan reservoir, Uzbekistan // Radiochimica Acta. 2024. Vol. 112, No. 2. P. 127–137.

6. Muminov I.T., Muhamedov A.K., Osmanov B.S., Safarov A.A., Safarov A.N. Application of NaI(Tl) detector for measurement of natural radionuclides and 137Cs in environmental samples: new approach by decomposition of measured spectrum // Journal of Environmental Radioactivity. 2005. Vol. 84, No. 3. P. 321–331. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2005.02.017

7. Zubair M., Verma D., Azam A., Roy S. Natural radioactivity and radiological hazard assessment of soil using gamma-ray spectrometry // Radiation Protection Dosimetry. 2013. Vol. 155, No. 4. P. 467–473. DOI: https://doi.org/10.1093/rpd/nct017

8. Hassan N.M., Kim Y.J., Jang J., Chang B.U., Chae J.S. Comparative study of precise measurements of natural radionuclides and radiation dose using in-situ and laboratory γ-ray spectroscopy techniques // Scientific Reports. 2018. Vol. 8. Article 14115. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-018-32220-9

9. Islami rad S.Z., Mansuri R., Rezaei G.H. Determination of natural radioactivity using gamma spectrometry in used soils as construction materials in Qom province, Iran // Journal of Radiation Research

and Applied Sciences. 2023. Vol. 16, No. 4. Article 100753. DOI: 10.1016/j.jrras.2023.100753. https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100753

10. Kraishan A., Shayeb M.A., Belmabrouk H., Qwasmeh A.A.H., Baloch M.A. Assessment of natural radioactivity in soil and olive mill pomace utilizing NaI(Tl) gamma-ray spectrometry and low background alpha/beta counting system // Nuclear Engineering and Technology. 2024. Vol. 56, No. 5. P. 1925–1931. DOI: 10.1016/j.net.2023.12.055. https://doi.org/10.1016/j.net.2023.12.055

11. Zubair M., Shafiqullah. Measurement of natural radioactivity in several sandy-loamy soil samples from Sijua, Dhanbad, India // Heliyon. 2020. Vol. 6, No. 3. Article e03430. DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e03430. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03430