

**КАРТИ НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА РАДИОНУКЛИДИ В
ПОЧВЕНИ ПРОБИ ОТ ШУМЕНСКО ПЛАТО, БЪЛГАРИЯ****Сениха Салим¹, Даниела Недева², Нина Архангелова¹**¹Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“²Технически университет - Габрово**GAMMA RADIATION DISTRIBUTION MAPS IN SOIL SAMPLES
FROM SHUMEN PLATEAU, BULGARIA****Seniha Salim¹, Daniela Nedeva², Nina Arhangelova¹**¹ Shumen University “Konstantin Preslavsky”² Technical university of Gabrovo**Abstract**

The aim of this study is to measure the specific activity of the natural and technogenic radionuclides in soil samples from the Shumen Plateau Nature Park. Naturally occurring radionuclides ²²⁶Ra, ²¹⁴Bi, ²¹⁴Pb, ²⁰⁸Tl, ²²⁸Ac, and ⁴⁰K as well as the technogenic ¹³⁷Cs were determined by gamma spectrometry using Ge(Li) detector.

The maps of the distribution of radionuclides in the soils of the Shumen Plateau and the GPS coordinates of the sampling points indicate the distribution of the measured radionuclides on the territory of the plateau. This information is essential for the safety of the population considering that the territory of the Shumen Plateau Nature Park is intensively used for recreation, sports, and tourism.

Keywords: kriging; radionuclides; specific activity; soil; map.

ВЪВЕДЕНИЕ

Изследването на радиоактивността на почвите е от съществено значение при определяне на промените в естествения радиационен фон. Основните гама-лъчения, които определят дозовото натоварване от естествен произход произлизат от ⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th и техните дъщерни продукти. Въпреки, че тези радионуклиди са широко разпространени в природата е установено, че концентрациите им зависят от геолошко-почвените характеристики на района, например като вида на скалния масив, от който произхожда почвата. Почвата действа като среда за миграция на радионуклиди в екосистемите. Съдържанието на радионуклидите в нея зависи от нейната структура, аку-

мулирането на радионуклидите от растителните видове, метеорологичните условия и други. Това налага проследяване на замърсяването и безопасността при използването на почвите, като биоресурс [1].

Радиологичния мониторинг на необработваемите почви се осъществява чрез мрежа от пунктове разпределени по територията на България. Съдържанието на естествените радионуклиди в почвите не се нормира от българското законодателство. Това налага установяването на замърсяване на почвената покривка да се извършва чрез съпоставяне на получените данни с фоновите стойности в района [2].

Съгласно данните за 2021 г. публикувани в Националния доклад за състоянието и опазването на околната среда в

Република България публикуван на страницата на МОСВ и ИАОС специфичните активности на естествените радионуклиди ^{238}U и ^{226}Ra са около 30 Bq/kg, за ^{232}Th и ^{210}Pb са около 40 Bq/kg, за ^{40}K са приблизително 400 Bq/kg, а за техногенния радионуклид ^{137}Cs , който се открива в околната среда е вследствие аварията в Чернобилската АЕЦ, стойностите са в интервал от 0 до 50 Bq/kg [3].

В някои райони по света естествените концентрации на радионуклиди са над установените световни граници според Научен комитет на ООН за ефектите от атомната радиация (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation – UNSCEAR). Ако концентрацията на естествените радионуклиди е над средните световни стойности, то може да се наблюдава отрицателен ефект върху човешкото здраве [4].

Целта на настоящото изследване е определяне концентрацията и разпределението на радионуклиди в почвите на Шуменско плато, България. За да се разкрие пространствената вариация на концентрациите на радионуклидите открити в почвените проби бяха извършени геостатистически и статистически анализи.

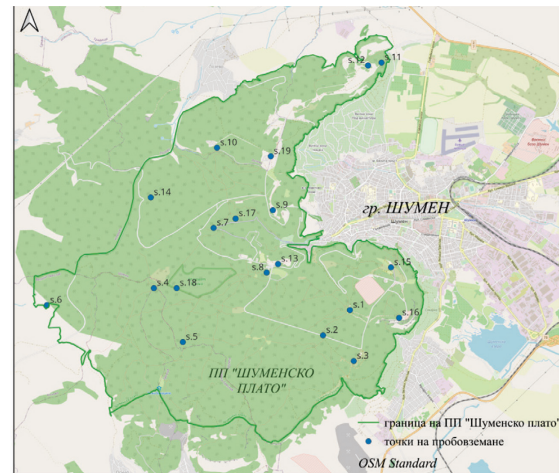
ИЗЛОЖЕНИЕ

Почвената покривка на Шуменското плато е съставена предимно от сиво-кафяви горски почви, следвани от излужени черноземни и хумуснокарбонатни почви. По протежение на речните долини са развити алувиално пясъкливи почви [5]. Радиоактивните елементи в почвата не са разпределени равномерно. Това налага мониторирането им, което е важна стъпка в защитата от негативните ефекти на радиоактивността.

Събрани са 19 повърхностни почвени проби до дълбочина 20 cm от различни места на Природен парк „Шуменско плато“, разположено в североизточна България. На Фиг. 1 е представена карта с отбелязани точки на пробоземане, а в Таблица 1 са представени надморските височини и описание на точките на пробоземане.

вземане.

В точките, в които е извършено пробоземането на почвите беше измерен чрез пряк метод радиационния гама-фон.



Фиг. 1. Карта с обозначени точки на пробоземане

Таблица 1. Надморска височина и описания на точките на пробоземане

Проба	Надморска височина [m]	Място на пробоземане
S1	456	туристически заслон „Теменуга“
S2	481	паметник на „Курсистите“
S3	482	„Ченгел табия“
S4	503	„Търнов табия“
S5	435	туристически заслон „Австростроител“
S6	297	„Казъл тепе“
S7	455	Пещера „Русалка“
S8	445	туристически заслон „Алеко“
S9	453	туристически заслон „Диана“
S10	420	лагер „Ивански“
S11	371	„Черкез табия“
S12	367	„Коджа тепе“
S13	439	Хан Крумови порти
S14	484	път за Новосел
S15	442	Паметник „Създатели на Българската държава“
S16	470	Военна база
S17	447	Летовище „Висока поляна“
S18	502	път до резерват „Букака“
S19	472	„Чакмакъл табия“

Отчетените стойности са в интервал от 0,07 до 0,35 $\mu\text{Sv/h}$. Най-ниската отчетена стойност е в точки S1 (туристически заслон „Теменуга“), S2 (паметника на „Курсистите“) и S8 (туристически заслон „Алеко“). Надморската височина в трите точки е приблизително еднаква – в диапазона 450-480 m. Най-високи стойности са измерени в точки S6 („Казълтепе“) и S12 („Коджатепе“), които също имат близки стойности за надморска височина – 297 и 367 m съответно.

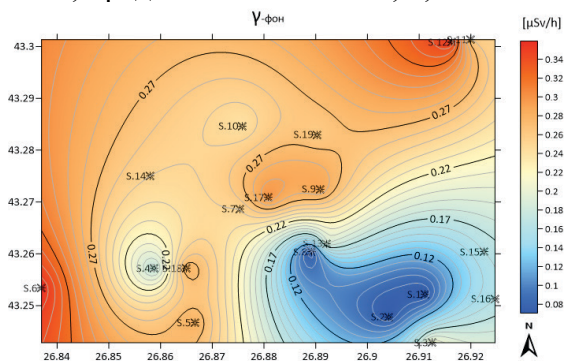
За определяне на съдържанието и концентрациите на радионуклиди в почвените проби е направен гама-спектрометричен анализ. Установката за измерване включва Ge(Li) полупроводников детектор с относителна ефективност 4,5% за линията на ^{137}Cs [8].

Получените спектри са обработени с програмата "Anges", получените данни за специфичната активност на радионуклиди от семействата на ^{238}U и ^{232}Th са представени в Таблица 2.

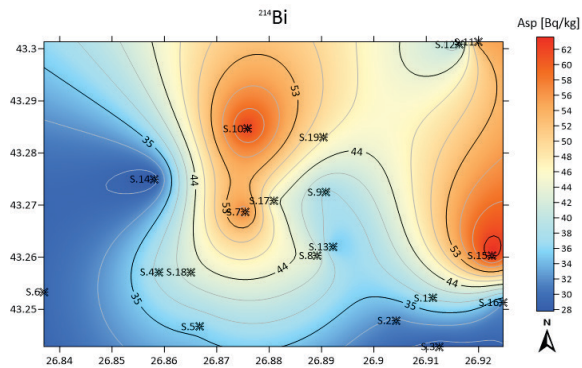
Таблица 2. Резултати от проведения гама-спектрометричен анализ

Радионуклид	Диапазон и средни стойности на специфичните активности в Bq/kg			
	^{214}Bi	^{214}Pb	^{228}Ac	^{208}Tl
Диапазон	28 – 65	15 – 45	27 – 65	18 – 49
Средна стойност	42	30	47	34

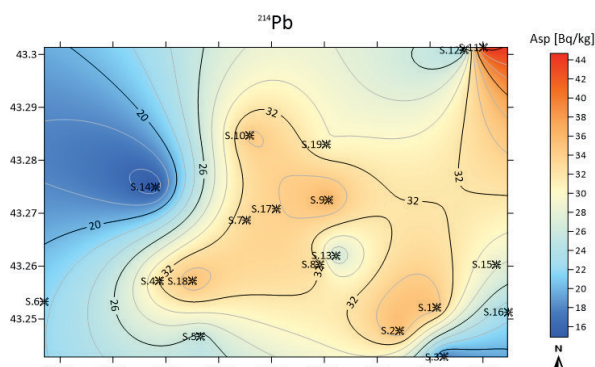
Получените резултати от измерванията бяха използвани за провеждане на пространствените анализи и изчертаване на карти на разпределението на гама-фона (Фиг. 2) и специфичните активности на радионуклидите ^{214}Bi , ^{214}Pb , ^{208}Tl и ^{228}Ac , представени на Фиг. 3, 4, 5 и 6.



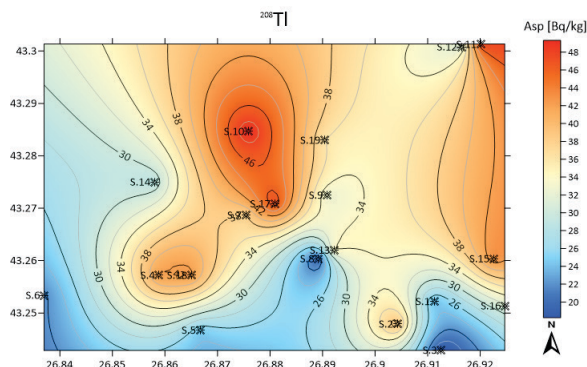
Фиг. 2. Карта на разпределението на радиационния гама-фон



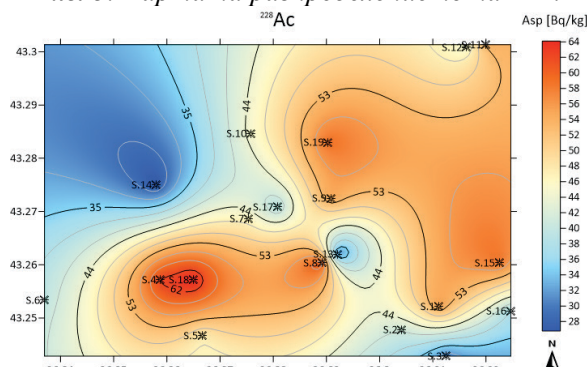
Фиг. 3. Карта на разпределението на ^{214}Bi



Фиг. 4. Карта на разпределението на ^{214}Pb



Фиг. 5. Карта на разпределението на ^{208}Tl



Фиг. 6. Карта на разпределението на ^{228}Ac

За изчертаване на тези карти беше използвана Кригинг техниката (Kriging), която е една от най-добрите и широко известни техники, в пространствените

линейни прогнози [6]. Кригинг методите имат различни гъвкави форми, в зависимост от района на изследване и данните за конструиране на картите [7]. Геоestatистическите методи позволяват да се изследва връзката с пространствените вариации на радионуклидите. Експерименталният модел на пространственото разпределение е конструиран с помощта на метода "Kriging" на програмата Surfer 20.1.195. Техниката за интерполация на "Kriging" става възможна чрез прехвърляне на данни в GIS среда [9].

По този начин може да се извърши анализ в области, за които няма получени полеви данни.

От формираните прогнозни карти се наблюдават следните зависимости:

- ✓ представената плътност на разпределението за специфичната активност на ^{214}Bi е с максимални стойности в северозападната част на платото, а минимални в източната му част (Фиг. 3).

- ✓ специфичната активност на ^{214}Pb (Фиг. 4) е сравнително равномерно разпределена. Максималните стойности се отчитат в района на „Черкез табия“, а най-ниски предвидени се наблюдават по пътя за с. Новосел.

- ✓ прогнозното разпределение на ^{208}Tl представено на Фиг. 5., определя максимална стойност в северозападната част на платото точки S10 (лагер „Ивански“), S17 (Летовище „Висока поляна“) и S11 („Черкез табия“). Докато в района на точки S3 („Ченгел табия“) и S8 (туристически заслон „Алеко“) са определени специфичните активности с най-ниски стойности.

- ✓ сравнително равномерното разпределение на специфичната активност на ^{228}Ac (Фиг. 6) е с максимални стойности в S4 и S18, които са до резерват „Букака“, и минимални стойности в областта на „Ченгел табия“, и пътя за с. Новосел.

Резултатите, получени от гама-спектрометричния анализ бяха проверени чрез статистически подход, използвайки софтуерния продукт IBM SPSS Statistics

19. За целта бяха пресметнати параметри като минимална и максимална стойност, медиана, мода, коефициенти на изкривяване (Skewness) и ексцес (Kurtosis) на разпределението, както и коефициента на Пирсън. Стойностите са представени в Табл. 3.

Табл. 3 Данни от статистическия анализ на концентрациите на радионуклиди, от двете радиоактивни семейства

Variables	^{214}Pb	^{208}Tl	^{214}Bi	^{228}Ac
Minimum	14.58	17.94	27.59	26.46
Maximum	44.74	49.46	64.19	64.49
Median	31.16	34.41	39.33	46.91
Mean	29.65	34.26	41.56	47.19
Std. Deviation	7.38	9.76	11.18	11.49
Mode	35.5	47.5	38	55
Skewness	-0.17	-0.14	0.73	-0.19
Kurtosis	-0.2	-0.69	-0.51	-0.67
Pearson correlation	-0.55	-0.04	0.66	0.07

Бяха направени честотни разпределения за четирите радионуклиди ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{208}Tl и ^{228}Ac от Уран-радиевото и Ториевото семейства, Графично разпределенията са представени на фигури от 7 до 10. Процентното разпределение в интервали се интерпретира добре от посочените графики:

- ✓ В интервали от 20 до 40 Bq/kg попадат 84% от специфичните активности за ^{214}Pb ;

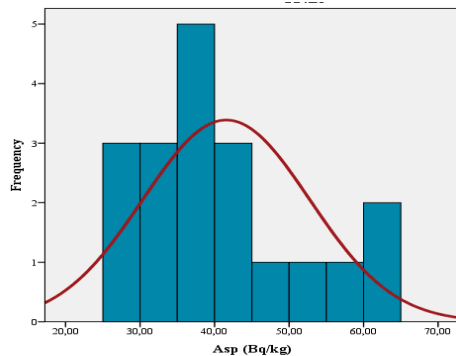
- ✓ 74% от специфичните активности на ^{214}Bi попадат в интервала от 25 до 45 Bq/kg.

- ✓ 58% от специфичните активности на ^{208}Tl са в интервала от 20 до 40 Bq/kg.

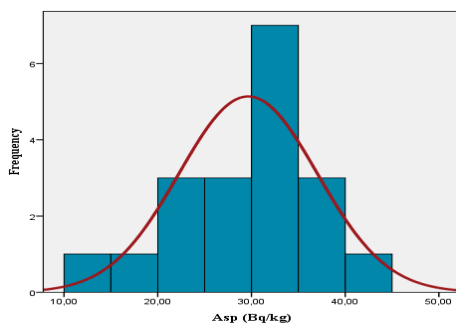
- ✓ 84% от отчетени специфични активности за ^{228}Ac попадат в интервала от 35 до 65 Bq/kg.

Стойностите, получени за ексцеса са отрицателни числа т.е. и при четирите радионуклиди се наблюдава отрицателна ексцесия или платикуртично разпределение – отчетена е ниска концентрация на стойности около средната стойност за съответната извадка.

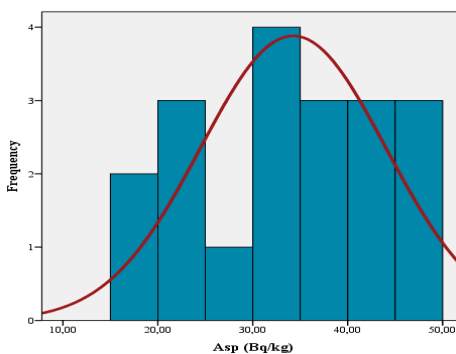
Разпределенията получени за ^{214}Pb , ^{208}Tl и ^{228}Ac са с ляво (отрицателно) изкривяване спрямо нормалното разпределение, а разпределението получено за ^{214}Bi е с дясно (положително) изкривяване.



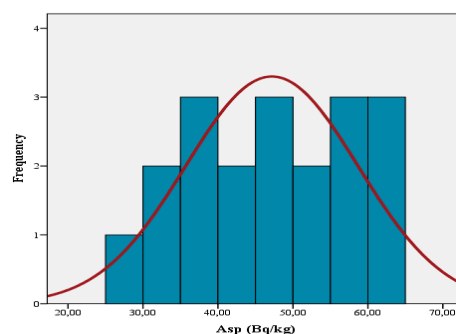
Фиг. 7. Честотно разпределение на концентрацията на ^{214}Bi



Фиг. 8. Честотно разпределение на концентрацията на ^{214}Pb



Фиг. 9. Честотно разпределение на концентрацията ^{208}Tl



Фиг. 10. Честотно разпределение на концентрацията ^{228}Ac

Стойностите получени за коефициента на Пирсън за специфични активности на радионуклидите ^{208}Tl и ^{228}Ac попадат в интервала от -0.5 до 0.5, откъдето следва, че корелацията е умерена. Коефициентът за ^{214}Pb е -0.55, което означава, че разпределението е с отрицателно изкривяване, а това на ^{214}Bi е 0.66 и попада в интервала от 0.5 до 1, където се счита, че изкривяването е положително.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На 19 почвени проби събрани от територията на ПП „Шуменско плато“ беше проведен гама-спектрометричен анализ. Специфичните активности за ^{214}Pb в почвените проби са в интервали от 14 до 45 Bq/kg, а ^{214}Bi концентрациите са от 27 до 65 Bq/kg. За радионуклидите от Ториевото семейство ^{208}Tl и ^{228}Ac интервалите, в които са отчетени най-много получени стойности за специфични активности съответно са за ^{208}Tl от 17 до 50 Bq/kg, а за ^{228}Ac от 26 до 65 Bq/kg.

Честотните разпределения и геостатистическите карти ни дават възможност за по-конкретно и точно представяне на резултатите от проведените анализи, както и възможност да се потърсят връзки и съответствия между пробите, събрани от изследвания обект.

БЛАГОДАРНОСТИ

Измерванията са направени с финансовата подкрепа на проект РД-08-113/20.02.2023 г., на ШУ ”Епископ Константин Преславски”.

REFERENCE

- [1] Markovic, Jelena & Stevovic, Svetlana. (2019). Radioactive Isotopes in Soils and Their Impact on Plant Growth. 10.5772/intechopen.81881.
- [2] MINISTRY OF ENVIRONMENT AND WATER, <https://www.moew.government.bg/bg/pochvi/>.
- [3] National Report on the State and Protection of the Environment in the Republic of Bulgaria. <https://eea.government.bg/bg/soer/2023>.

- [4] UNSCEAR, 2000. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly United Nations, New York
- [5] Asen Peychev, Elka Radoslavova, Shumen Plateau, Snezhanka Petkova-AR, 1998
- [6] Brown RB, Huddleston JH: Presentation of statistics data on Map units to the user. In spatial variabilities of soil and landform. SSSA Special 1991, 28: 127–147.
- [7] Ecker MD: Geostatistics: Past, Present and Future, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), Developed under the Auspices of the UNESCO. Eolss Publishers, Oxford, UK; 2004.
- [8] Jechev, A., „System for low background gamma measurements”, Thesis, Shumen University, 1996
- [9] Jeong, Shinkyu & Murayama, Mitsuhiro & Yamamoto, Kazuomi. (2005). Efficient Optimization Design Method Using Kriging Model. Journal of Aircraft - J AIRCRAFT. 42. 413-420. 10.2514/1.6386.