

**РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА РАДИОНУКЛИДИ В ПЯСЪК СЪБРАН ОТ  
БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРИЕ****Нина Архангелова<sup>1</sup>, Сениха Салим<sup>1</sup>, Даниела Недева<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Шуменски университет „Епископ Константин Преславски“*<sup>2</sup>*Технически университет - Габрово***DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN SANDS FROM THE  
BULGARIAN BLACK SEA****Nina Arhangelova<sup>1</sup>, Seniha Salim<sup>1</sup>, Daniela Nedeva<sup>2</sup>**<sup>1</sup>*Konstantin Preslavsky University of Shumen*<sup>2</sup>*Technical University of Gabrovo***Abstract**

*The present work is related to the compilation of maps of the distribution of radionuclides along the territory of the Bulgarian Black Sea coast. For this purpose, the measured specific activities of natural and technogenic radionuclides registered in the sand samples were used. The obtained maps allow to determine the places with higher values of radioactivity. Maps for the distribution of radiological coefficients also been prepared. These coefficients are important for the health protection of people which visit the Bulgarian Black Sea coast.*

**Keywords:** radionuclides; distribution; sand; Bulgarian.

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Радиоактивността представлява съвкупност от лъчения с голяма честота, разположени в късовълновата част от електромагнитния спектър, наречени още йонизиращи лъчения. Естествените източници на радиация са налични в околната среда, като стойностите на активностите на различните радионуклиди са типични за конкретното място. Източниците обуславящи естествената земна радиоактивност са радионуклидите от естествените радиоактивни семейства с родоначалници  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{235}\text{U}$ , както и радионуклида  $^{40}\text{K}$ , който не образува семейство, но е с период на полуразпадане  $1,251 \cdot 10^9$  години. Освен естествените радионуклиди в природата доста често се откриват и техногенни радионуклиди. Те попадат в околната среда в следствие чо-

вешка дейност (производствена, опити с оръжия, военни действия и др.) Източниците на радиация откривани в околната среда (естествени и техногенни), са именно тези, които водят до външно или вътрешно облъчване на населението [1]. Рискът от неблагоприятни последици за здравето на човека зависи от получената доза радиация [2].

Хората ежедневно са изложени на естественото радиационно фоново лъчение, дължащо се на радионуклидите в земната кора (почви, скали), водата, въздуха, храната и космичното лъчение. Концентрацията на радионуклидите във въздуха зависи от местната почва, вятъра и условия на влага. Съгласно докладите на UNSCEAR 2000 [2], се приема че прахово замърсяване от  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  е свързано с типични концентрации на естествени

радионуклиди в почвата. Част от твърдата материя във въздуха, обаче може да не се дължи на почвата, а на органична материя, строителни материали, дим и летлива пепел от изгарянето на въглища и други [3].

В настоящото изследване на пясъчни проби събрани от плажове по българското Черноморско крайбрежие са определени количествените съдържания на радионуклидите открити в пробите. Данните получени за специфичните активности на отделните радионуклиди са представени в GIS карти. Направен е статистически анализ на получените резултати.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Изследванията свързани с определяне на естествената радиация са от голямо значение за населението на света, тъй като тя е основен източник за експозицията на човечеството. Получените дози варират в зависимост от концентрацията на естествените радионуклиди със земен произход –  $^{226}\text{Ra}$  ( $^{238}\text{U}$ ),  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$ , присъстващи в почвите, пясъците и скалите, които от своя страна зависят от местната геология на всеки регион в света. Съгласно доклада на UNSCEAR, 2000 [2] например мощността на погълнатата доза на открито за някои държави са посочени в Таблица 1.

**Табл. 1.** Данни за мощността на погълнатата доза на открито съгласно UNSCEAR, 2000 [2]

Държава	Мощността на погълнатата доза на открито [nGy/h]
България	56
Унгария	48
Гърция	39
Германия	39
Румъния	58
Китай	107
Египет	32

Проби от пясък бяха събрани от 33 плажа разположени по българската Чер-

номорска плажна ивица. Точките на пробовземане са представени на Фиг. 1.

Пробите са почистени от чужди тела и изсушени при температура от 60 градуса в лабораторна сушилня. На всяка от пробите беше проведен гама-спектрометричен анализ. Вследствие на анализа и обработката на данните са получени стойности за специфичните активности на радионуклиди открити в отделните проби като в Таблица 2 са представени минималните и максималните отчетени стойности.



**Фиг. 1.** Точки на пробовземане

**Табл. 2** Данни от статистическия анализ на концентрациите на радионуклиди, от двете радиоактивни семейства

Variables	$^{214}\text{Pb}$	$^{208}\text{Tl}$	$^{214}\text{Bi}$	$^{228}\text{Ac}$
Minimum	5.66	4.41	7.31	7.1
Maximum	29.47	18.82	40.91	50.02
Median	9.38	10.19	17.09	20.21
Mean	10.61	10.38	17.76	19.55
Std. Deviation	4.66	2.47	5.97	7.84
Mode	8.00	10.00	17.00	20.00
Skewness	2.42	0.89	1.79	1.56
Kurtosis	7.78	3.76	6.18	6.16
Pearson correlation	0.79	0.24	0.34	-0.25

Геостатистиката е статистика, която за анализиране и прогнозиране на стойностите използва свързани с пространствени или пространствено-времени явления и процеси. Геостатистиката се използва все по-широко в областта на екологията, за оценка на нивата на различни видове замърсители, които представляват заплахата за околната среда или за човешкото здраве [4]. На получените от гама-спектрометричния анализ данни беше извършен геостатистически анализ, прилагайки техниката за интерполация Kriging, в рамките на софтуера Surfer 20.1.195. Кригингът е един от методите използващ ограничен набор от точки с данни, на база на които се прави оценка на стойността на променливата величина, върху непрекъснатото пространствено поле. За получаване на тези стойности се използват теглата за всяка интерполирана точка, според които се изчисляват пространствените разпределения на интерполираното местоположение по отношение на всички избрани точки [5]. С помощта на програмата Surfer 20.1.195 са начертани карти на разпределението на специфичните активности на радионуклидите, регистрирани в пясъчните проби, спрямо GPS координатите на точките на пробовземане. Картите на разпределение получени за отделните регистрирани радионуклиди са представени на фигури от 2 до 5. Статистическата теория позволява наличните пространствените връзки да бъдат използвани за интерполация на стойности на места, в които не е направено пробовземане. От начертаните карти на разпределение ясно се виждат местата с по-високи отчетени специфични активности и тези с най-ниски концентрации за конкретния радионуклид. Най-високи концентрации и за четирите радионуклиди са измерени в района на плаж Иракли (точка на пробовземане S25) (Фиг.1).

За провеждането на статистически анализ бяха използвани получените специфични активности за различните радионуклиди, които са обработени чрез

софтуерния продукт IBM SPSS Statistics 19. Резултатите на параметрите от анализа са представени в Таблица 2. Получени са честотни разпределения на специфичните активности на представители от Уран-радиевото семейство ( $^{214}\text{Pb}$  и  $^{214}\text{Bi}$ ) и Ториевото семейство ( $^{208}\text{Tl}$  и  $^{228}\text{Ac}$ ), като графично са представени на фигури от 6 до 9.

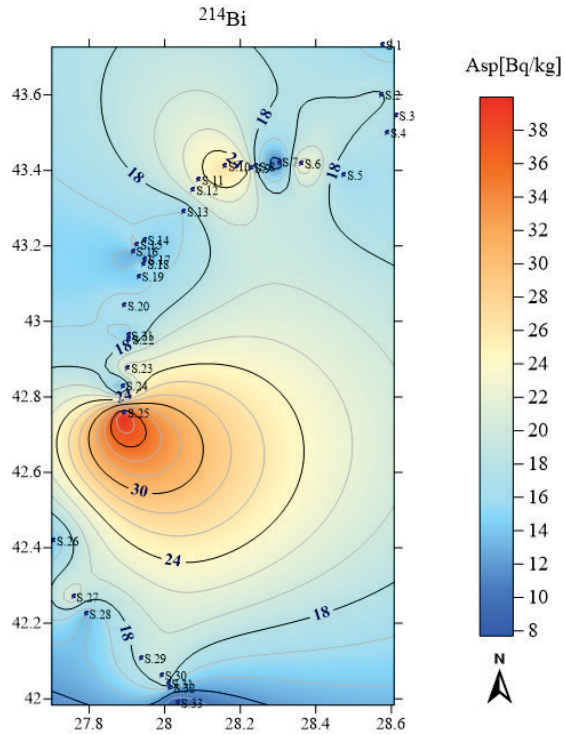
Специфичните активности за  $^{214}\text{Pb}$  в пясъчните проби са в интервали от 5 до 30 Bq/kg, като най-много отчетени стойности има в интервал от 7.5 до 10 Bq/kg. За  $^{214}\text{Bi}$  концентрациите са от 7 до 41 Bq/kg, като най-много отчетени стойности има в интервала от 15 до 20 Bq/kg. За радионуклидите от Ториевото семейство  $^{208}\text{Tl}$  и  $^{228}\text{Ac}$  интервалите, в които са отчетени концентрациите са съответно от 4 до 19 Bq/kg и от 7 до 50 Bq/kg. Най-много отчетени специфични активности има в интервала от 10 до 12.2 Bq/kg за  $^{208}\text{Tl}$  и от 20 до 25 Bq/kg за  $^{228}\text{Ac}$ .

Средноаретметичната сума и стандартното отклонение бяха използвани за определяне на ексцеса (Kurtosis) [6]. Стойностите за ексцес могат да бъдат използвани като показател за вида на разпределението. Пресметнатия ексцес за четирите радионуклиди е по-висок от 3, което показва, че разпределенията са с положителна ексцесия.

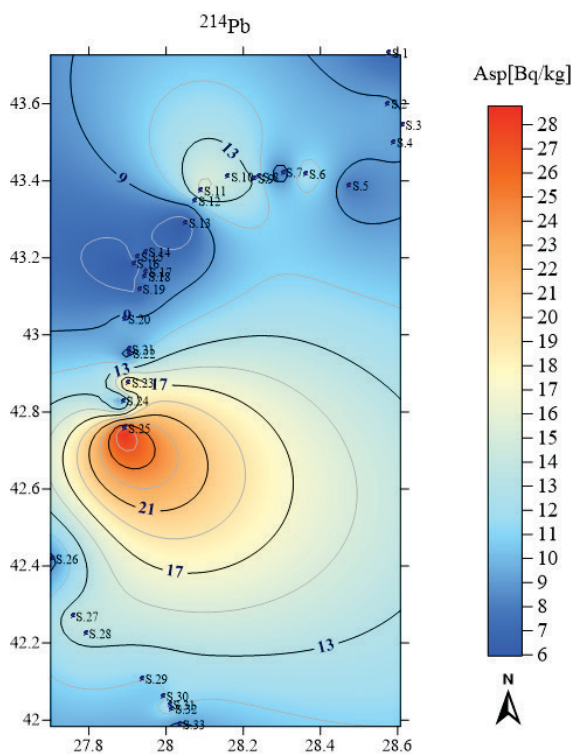
Стойностите получени за медианата (Median), средната стойност (Mean) и модата (Moda) са използвани при пресмятането на изкривяването на данните (Skewness) спрямо нормалното разпределение. Изкривяването на разпределението получено чрез масив от данни е мярка, която оценява асиметрията спрямо вероятно нормално разпределение [6]. Съгласно изложеното, следва че разпределенията получени за  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  и  $^{228}\text{Ac}$  са с нулево изкривяване спрямо нормалното разпределение и само разпределението получено за  $^{214}\text{Pb}$  е с дясно (положително) изкривяване.

Стойностите получени за коефициента на Пирсън за разпределенията на пресметнатите специфични активности на

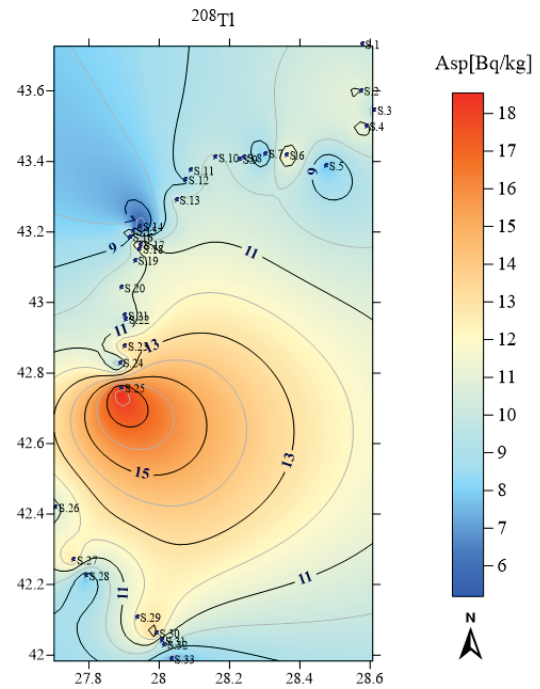
радионуклидите  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  и  $^{228}\text{Ac}$  са в интервал от -0.5 до 0.5, откъдето следва, че могат да бъдат причислени към умерените корелации. Коефициентът за  $^{214}\text{Pb}$  е 0.79, което означава, че разпределението е с положително изкривяване.



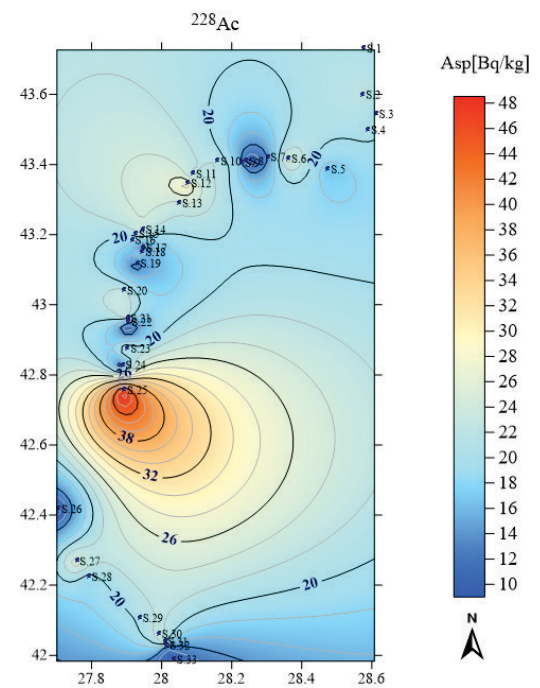
Фиг. 2. Карта на разпределението на  $^{214}\text{Bi}$



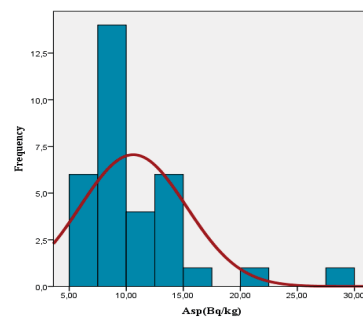
Фиг. 3. Карта на разпределението на  $^{214}\text{Pb}$



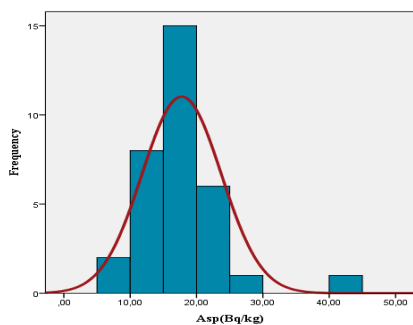
Фиг. 4. Карта на разпределението на  $^{208}\text{Tl}$



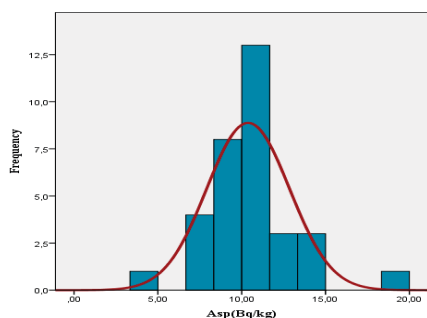
Фиг. 5. Карта на разпределението на  $^{228}\text{Ac}$



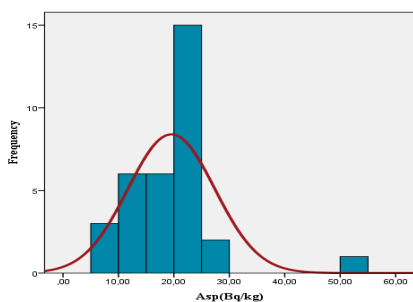
Фиг. 6. Честотно разпределение на концентрацията на  $^{214}\text{Pb}$



**Фиг. 7.** Честотно разпределение на концентрацията на  $^{214}\text{Bi}$



**Фиг. 8.** Честотно разпределение на концентрацията  $^{208}\text{Tl}$



**Фиг. 9.** Честотно разпределение на концентрацията  $^{228}\text{Ac}$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На 33 проби от пясък, събрани от българското Черноморско крайбрежие беше извършен гама-спектрометричен анализ, като е установено че 72.7% от пробите са със специфична активност за  $^{214}\text{Pb}$  в интервал от 6 до 12 Bq/kg; 69.7 % за  $^{214}\text{Bi}$  попадат в интервал от 12 до 20 Bq/kg; 48.5% за  $^{208}\text{Tl}$  попадат в интервал от 14 до 18 Bq/kg и 54.5% за  $^{228}\text{Ac}$  са в интервал от 18 до 24 Bq/kg. За да бъдат определени приликите и корелациите между различните проби, данните получени за специфичната активност на радионукли-

дите  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ,  $^{208}\text{Tl}$  и  $^{228}\text{Ac}$  бяха обработени с помощта на многовариантни статистически методи. Получени са карти на статистическо разпределение на радионуклидите, от които може да се направи заключение за областите с минимална и максимална отчетена стойност за специфичната активност. Пресметнатите статистически коефициенти и разпределения показват ясна връзка между отделните радионуклиди.

## БЛАГОДАРНОСТИ

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

## REFERENCE

- [1] National Research Council (US) Committee on Evaluation of EPA Guidelines for Exposure to Naturally Occurring Radioactive Materials. Evaluation of Guidelines for Exposures to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials. Washington (DC): National Academies Press (US); 1999. 2, Natural Radioactivity and Radiation. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK230654/>
- [2] 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
- [3] Qin-Hong Hu, Jian-Qing Weng, Jin-Sheng Wang, Sources of anthropogenic radionuclides in the environment: a review, Journal of Environmental Radioactivity, Volume 101, Issue 6, 2010, Pages 426-437, ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2008.08.004>.
- [4] <https://help.arcgis.com/>
- [5] <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/kriging-interpolation>
- [6] <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2021/05/shape-of-data-skewness-and-kurtosis>