

РАДИОЛОГИЧЕН ПРОФИЛ НА ПИТЕЙНИТЕ ВОДИ ОТ ОБЩЕСТВЕНИ ЧЕШМИ В СЕЛО НИКОЛАЕВКА, БЪЛГАРИЯ

Даниела Тонева*, Десислава Димитрова, Ива Василева

Технически Университет – Варна, Варна, България
*кореспондиращ автор: dtoneva@abv.bg

RADIOLOGICAL PROFILE OF PUBLIC DRINKING WATER FOUNTAINS IN NIKOLAEVKA, BULGARIA

Daniela Toneva*, Desislava Dimitrova, Iva Vasileva

Technical University of Varna, Varna, Bulgaria
*Corresponding author: dtoneva@abv.bg¹

Abstract

This study provides a detailed radiological characterization of groundwater from public fountains in Nikolaevka, Varna Region (Bulgaria), using high-sensitivity γ -spectrometric analysis. Samples collected in July 2025 were analyzed for natural radionuclides (Ra-226, Pb-210, K-40, U-235, Th-234, Bi-214) and anthropogenic isotopes (Cs-137, Cd-109). Moderately elevated Ra-226 (4.5–6.0 Bq kg⁻¹) and Pb-210 (5.1–6.4 Bq kg⁻¹) activities indicate a natural origin from uranium-bearing sedimentary formations. The estimated annual effective dose from direct consumption remains below the WHO guideline of 0.1 mSv yr⁻¹, though cumulative exposure, particularly to Ra-226 and Pb-210, may pose a long-term risk under exclusive water use. Slight but consistent differences between public drinking-water fountains reflect lithological and hydrogeological heterogeneity within the aquifer system. These results highlight the need for systematic monitoring and targeted management of unregulated water sources to ensure safe water supply in rural communities.

Keywords: drinking water, radiological characterization, public fountains, radionuclide activity

ВЪВЕДЕНИЕ

Количествената обезпеченост, достъпността и безопасността на питейните води е глобален приоритет и ключов елемент за водната сигурност [1,2].

Според Световната здравна организация (WHO, 2017, базова 2015) приблизително 15% от населението на Европа и над 2 млрд. души в световен мащаб използват децентрализирани или нерегламентирани водоизточници, често без системен мониторингов контрол. А това прави относителен дял на населението, зависимо от „малки водоизточници“ приблизително 23%.

Подземните води, в зависимост от литоложките условия на водоносния хоризонт, често съдържат радионуклиди от урановата и ториевата разпадни вериги, както и калий-40. Въпреки че в повечето случаи активността е ниска, редица изследвания в Източна Европа и Балканските страни (IAEA, 2020; Stojanovic et al., 2019) доказват, че концентрации на Ra-226 и Pb-210 могат да надвишават препоръчителните гранични стойности за питейни води [16, 27].

Според изчисления на UNSCEAR (2020) ежедневната консумация на води, съдържащи повишени нива на Ra-226 и

Pb-210, може да резултира в допълнителна ефективна доза от 0.1–0.5 mSv/год. или приблизително 5-кратно превишение на референтната стойност на СЗО за питейни води (0.1 mSv/год.) [10,28,29]. Особено уязвими са децата, бременните и възрастните, при които биологичната чувствителност към йонизиращо лъчение е повишена [1,9,14,16,21].

В България, в много от малките населени места, и особено в селата и махалите, обществените чешми се явяват ключов инфраструктурен елемент за задоволяване на питейно-битовите нужди на населението. Те са безплатни, леснодостъпни и често допълват или временно заместват централното водоснабдяване. Зависимостта от локални подземни източници нараства и поради остаряла водоснабдителна инфраструктура. Средният относителен дял на загубите във ВК мрежата в България през последното десетилетие (2014–2023) е в интервала между 56–63%, като за 2023 г. регистрираните общи загуби са 57% (НСИ, 2023), а реалните загуби при транспорта са 47% от подадената вода [31]. Този устойчиво висок диапазон компрометира надеждността на доставките и обуславя нарастваща зависимост от обществени чешми като буферен и достъпен източник в малките населени места.

В България приблизително 18% от населението в селските райони редовно използва обществени чешми и кладенци (НСИ, 2020), които често остават извън радиологичен, физикохимичен и микробиологичен контрол [30,31]. Макар Директива 2013/51/Евратом за определяне на изисквания за защита на здравето на населението по отношение на радиоактивни вещества във водата, предназначена за консумация от човека и Наредба №9/2001, да определят пределни стойности за алфа- и бета-активност, практическото им прилагане е ограничено до централизирани водоснабдителни системи, оставяйки нерегламентираните водоизточници извън институционалния надзор [3,4,32].

МЕТОДИ И СРЕДСТВА

Настоящото изследване е проведено през м. юли 2025г. и е фокусирано върху радиологичните характеристики на подземните води, захранващи обществени чешми в с. Николаевка.

Землището на селото обхваща площ от 34.586 km², а към месец март 2024 г. населението на с. Николаевка наброява 538 жители, при гъстота приблизително 15.6 души/km² и отчетлив сезонен приток на пребиваващи през пролетно-летния сезон.

Село Николаевка се намира в община Суворово, област Варна (североизточна България) и попада в рамките на Франгенското плато, част от Североизточната Дунавска хълмисто-равнинна област, както е показано на фиг.1.



Фиг.1. Административни граници, Област Варна, община Суворово, с. Николаевка

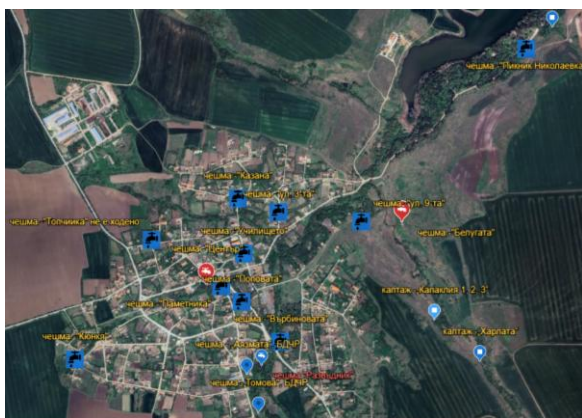
Районът е хидрогеоложки благоприятен, с множество плитки водоносни хоризонти и изворни прояви, поради което качеството на подземните води е стратегически значимо и обуславя ключовата роля на обществените чешми.

В землището на с. Николаевка, по данни на местното население, съществуват над 36 обществени чешми, но поради загубен архив и липса на централен регистър тази численост не може да бъде документално потвърдена. С оглед на това бе извършен теренен обход и картиране. От установените на терен чешми 7 попадат в мониторинговия обхват на Басейнова дирекция „Черноморски район“, 3 – на РЗИ–Варна, а останалите не

попадат в обхвата на системен мониторинг. На ниво населено място, чешмите са разположени върху общински/публични терени (извън частна собственост). Обектите са обозначени и оперативно наименувани според географското им положение. Радиологичното проучване е извършено в две пробовземни точки:

- SP1: чешма „Център“ с координати 43°21'23"N 27°40'17"E;
- SP2: чешма „Белугата“ 43°20'33"N 27°40'57"E.

Местоположението на пробовземните точки е представено на фиг.2, като са представени с отличителна символика спрямо останалите обекти.



Фиг.2. Разположение на пунктове за пробонабиране: чешма „Център“ и чешма „Белугата“, с. Николаевка, обл. Варна, Google Earth/Maps.

Чешма „Център“ е избрана за по-задълбочен радиологичен анализ поради ключовото ѝ местоположение в централната част на село Николаевка и широката ѝ достъпност за местното население. От особено значение е фактът, че въпреки интензивната ѝ употреба, водата от тази чешма не попада в обхвата на текущ мониторинг от страна на Регионалната здравна инспекция (РЗИ) и Басейнова дирекция „Черноморски район“. Това определя необходимостта от допълнителна оценка по радиологичните характеристики на водата, с цел установяване на потенциални рискове.

И двете чешми се подхранват от подземно водно тяло BG2G000000N018 – Карстово-порови води в неоген-миоцен-

сармат Изгрев–Варна–Ботево–Батово и по-конкретно във втория стратиграфски слой и втория водоносен хоризонт на водното тяло. Това предопределя карстово-поров режим на филтрация, висока хидравлична свързаност и потенциал за ускорен трансфер на радионуклиди по поточните линии на подземния поток.

За целите на изследването от всяка точка е събрана представителна водна проба. За обезпеченост на анализа от всеки пункт са използвани по 25 dm³ вода в инертни съдове без въздушен обем. В лабораторна среда пробите се изпаряват до 1 dm³ с цел концентриране на изследваната проба.

Измерванията са проведени чрез високочувствителен γ-спектрометричен метод, с продължителност от 200 000 s, което осигурява надеждност на резултатите при ниски активности [5,11,13,17,22].

Използвана е библиотека за идентификация на седиментни и разтворими нуклиди, а спектралната обработка включва енергийна и ефективностна калибрация с многоенергийни еталони и матрично съответствие.

Аналитичният обхват включва естествени радионуклиди от уран-ториевите разпадни вериги и калий-40 (Ra-226, Pb-210, Bi-214/Pb-214, Th-234, K-40), както и антропогенни маркери при наличие на (Cs-137 и, при възможност за разделяне, Cd-109) [10,12,16,18,19].

Оценката на ефективната доза при поглъщане се извършва по стандартната зависимост, а интерпретацията се съпоставя с препоръчителната гранична стойност 0,1 mSv/год. за питейни води [1,8,16].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Радиологичната уязвимост на подземните води се определя като способността на хидрогеоложката система да акумулира, пренася и трансформира радионуклиди в резултат на естествени геохимични процеси или антропогенни въздействия.

Радиоактивните елементи, както и техните производни изотопи, могат да

мигрират в подземната среда под влияние на физико-химични фактори като окислително-редукционен процеси, рН и минерален състав на водоносните хоризонти. Тази миграция често води до формиране на радиологични аномалии, които, макар и невидими, оказват дългосрочно въздействие върху качеството на подземните води и екосистемите, зависими от тях.

Присъствието на естествени радионуклиди като уран, радий и радон в водите на територията на България, особено в карстово-поровите водни тела, изисква прецизна оценка на радиологичния риск. Резултатите получени в изследването са представени в Табл. 1.

Табл. 1. Активност на естествени радионуклиди във водна проба от ч. „Център“

Пробов-земни точки	Нуклид	Активност (Bq/kg)	Неопределеност (%)	МДА на нуклида (Bq/kg)
SP1: чешма „Център“ с координати 43°21'23"N 27°40'17"E;	⁴⁰ K	3.243E+00	68.88	< 0.77
	²⁰⁸ Tl	1.676E-01	11.07	
	²¹⁰ Pb	5.112E+00	17.79	
	²¹² Bi*			
	²¹⁴ Bi	2.580E+00	6.08	
	²¹⁴ Pb	1.573E+00	8.59	
	²²⁶ Ra	6.110E+00	10.50	
SP2: чешма „Белугата“ 43°20'33"N 27°40'57"E	²³⁴ Th	6.638E+00	10.14	< 0,486
	⁴⁰ K	4.071E+00	54.51	
	²⁰⁸ Tl	1.433E-01	11.85	
	²¹⁰ Pb	6.421E+00	17.02	
	²¹² Pb*			
	²¹⁴ Bi	1.433E+00	6.29	
	²¹⁴ Pb	6.014E-01	12.90	
	²²⁶ Ra	5.968E+00	10.54	< 1,221
	²²⁴ Ra*			
	²²⁶ Th	6.138E+00	10.14	

* Активността на нуклида е под МДА (Минимална детектируема активност)

Установена е активност на Калий-40 е в рамките на очакваните фонов нива за подземни води. К-40 е естествен радионуклид, широко разпространен в природата и не носи значителен радиологичен риск при установената стойност [12].

Радий-226 (Ra-226) е с активност 3.56 ± 0.64 Bq/kg, което е над стойностите, типични за питейни води, но все още не надвишава граничните стойности, зададени в Ръководството на СЗО за качеството на питейната вода [1,16]. Въпреки това, при продължителна експозиция, това може да доведе до хроничен риск, особено ако водата се използва без третиране. Присъствието на Олово-210 (Pb-210) е 5.11 ± 0.91 Bq/kg и Талий-208 (Tl-208) е 1.68 ± 0.19 Bq/kg и потвърждава разпадната верига на уран-238. Това говори за естествен произход на радионуклидите, свързан с контакт с ураносдържащи скали [10,12].

Цезий-137 (Cs-137) в минимално детектируеми активности, който е радионуклид с антропогенен произход и активността му е $< 9,424$ Bq/kg. Това е изотоп от ядрени тестове или аварии (Чернобил), но отчетената стойност е значително под праговете за радиационна защита и не представлява непосредствен риск [18,19].

В обобщение на получените резултати, общата ефективна доза, изчислена при прием на такава вода ежедневно, остава под референтната стойност от 0.1 mSv/год. според СЗО. Този спектър е типичен за води с естествен произход на радиоактивността, където Ra-226 и Pb-210 са водещи за дозовата оценка при поглъщане. Присъствието им е индикатор за потенциална акумулация при дългосрочна консумация. Експозицията чрез непитейна употреба, като миене, пране, напояване не носи съществен риск, поради ниския капацитет на проникване на α и β -излъчванията през кожа.

Водата от ч. „Център“ не показва критично радиологично замърсяване, но съдържа естествени радионуклиди в умерено повишени нива.

Вторият пункт на изследване е ч. „Белугата“ в с. Николаевка. Пробата е събрана през м. Юли при идентична методика, геометрия на броене и време на измерване (200 000 s), което осигурява пряка съпоставимост с резултатите от ч.

„Център“ [5,11,13]. Ч.„Белуга“ е избрана за радиологичен анализ поради следното:

Водоизточникът е разположен извън централната част на с. Николаевка, в периферна зона, където се предполага минимално антропогенно влияние; Присъства филтриращ слой.

Провеждането на радиологично изследване на ч.„Белуга“ в съпоставка с резултатите от ч.„Център“ разположена в самото населено място, позволява обективна оценка на геогенния принос към радиологичния профил на подземните води, изолирайки до голяма степен влиянието на човешка дейност.

Активността на Ra-226 и Pb-210 показват умерено повишени стойности спрямо очаквания природен фон за райони с умерена литоложка радиологична активност. Подобни стойности се наблюдават при води, контактуващи с уран-съдържащи седименти или фосфатни слоеве и е индикация за възможна миграция на радий и радон в почвено-скалния профил. Стойностите не надхвърлят пределно допустимите концентрации съгласно Наредба №9/2001 за питейни води, но отклоненията спрямо естествения хидрогеохимичен фон оправдават включване на водоизточника в дългосрочна радиационна програма за наблюдение [32]. Наличието на Bi-214 и Pb-214 подсказва, че част от разпадните продукти са краткотрайни, макар и с ниска интензивност [10,17]. Присъствието на U-238, Th-234 и други нуклиди предполага естествен произход на радиоактивността, най-вероятно свързан с геоложките формации около водоизточника.

Активност на Калий-40 (K-40) е 4.071 ± 2.22 Bq/kg, в диапазона на очакваните фонове нива за подземни води. Дозовият принос при тази стойност е ограничен. Радий-226 (Ra-226) = 5.568 ± 0.63 Bq/kg е умерено повишен спрямо типичните стойности за питейни води и, наред с олово-210 (Pb-210) = 6.421 ± 1.09 Bq/kg, формира водещата част от дозата при поглъщане. Това е консистентно с естес-

твен произход на радиоактивността и продължителен контакт на вода–скала/утайки, при който Pb-210 се акумулира [10,12,23].

В сравнение радиологична характеристика на чешмите „Белугата“ и „Център“, ч.„Белугата“ показва малко по-високи стойности по всички ключови радионуклиди в сравнение с ч.„Център“, което може да се дължи на различия в литологията на водоносния пласт или дълбочина на експлоатация.

Табл.2. *Обобщени резултати от гамаспектrometerичен анализ на подземни води в с. Николаевка*

Радио-нуклид	Белугата (Bq/kg)	Център (Bq/kg)
²²⁶ Ra	5.97	4.48
²¹⁰ Pb	6.42	5.94
⁴⁰ K	7.29	6.92
²³⁵ U	0.46	0.33
²¹⁴ Bi	1.43	0.89

Резултатите за чешма „Белугата“ показват малко по-високи стойности по всички ключови радионуклиди в сравнение с чешма „Център“, което може да се дължи на различия в литологията на водоносния пласт или дълбочина на експлоатация.

Повишената активност на Ra-226 при ч. „Белугата“ спрямо ч. „Център“ индикира за пряка хидравлична връзка в слой 2, хоризонт втори на ПВТ BG2G000000N018 – карстово-порови води, неоген–миоцен–сармат, Изгрев–Варна–Ботево–Батово [1,16,21,23]. Сходните стойности на Pb-210 са типични за утаечни скални среди и подсказват близки механизми на генезис и миграция на дъщерни продукти по урановата верига в този хоризонт [5,10,22,23,25]. Незначителната разлика в K-40 се вписва във фоновата вариационност и не индикира съществени съществени различия в минералния състав. Слабо по-високият U-235 в ч. „Белугата“ остава в регулаторно допустими граници и вероятно отразява локални вариации в сорбционния капацитет и редокс-режима в слой втори.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значителен дял от селското население в България регулярно използва обществени чешми и кладенци, които остават извън системния радиологичен, физико-химичен и микробиологичен контрол. Практическото прилагане на Въпреки наличните нормативни актове Директива 2013/51/Евратом; Наредба №9/2001, тяхната практическа приложимост е фокусирана върху централизираното водоснабдяване и се формира регулаторна празнина относно децентрализирани водоизточници. Това създава потенциал за хронична, неосъзната експозиция на населението, което използва подобни източници ежедневно за пиене, готвене и битови нужди.

Чешмите в с. Николаевка са ключова буферна инфраструктура за общността, но и отразяват уязвимостта на подземните водни тела към антропогенен натиск, климатични колебания и литоложки особености. За да се гарантира тяхната устойчивост и безопасност, е необходим интегриран подход, включващ редовен мониторинг, управление на земеползването и информираност на населението.

Радиологичният профил на чешмите „Център“ и „Белуга“ е доминиран от естествени нуклиди. Сравнителният анализ показва по-високи активности при ч. „Белуга“ спрямо ч. „Център“ по част от ключовите радионуклиди. Сумарната дозова оценка за ежедневна питейна употреба е под обичайно приетите референтни нива, но кумулативният риск при дългосрочна и изключителна консумация не е пренебрежим и изисква управление и наблюдение.

Представените емпирични резултати допълват радиологичния профил на водите в обществените чешми използвани за битейно-битово водоснабдяване в Североизточна България и по-специално в рамките на подземното водно тяло BG2G000000N018 (карстово-порови води, неоген–миоцен–сармат). Поставени в контекста на ограничената институционална отчетност за подобни обекти, по-

лучените резултати осигуряват референтно ниво за бъдещо дозово моделиране и оценка на радиологичната уязвимост. Резултатите подкрепят включване на двете чешми в дългосрочна радиационна мониторингова програма, с приоритизация на Ra-226 и Pb-210.

Благодарности: Резултатите представени в това изследване са получени от изпълнението на проект № ПД20/2025, на тема: „Изследване на пътния нанос в град Варна“, финансиран целево от националния бюджет чрез Технически университет- Варна, България.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] WHO, 2022, *Guidelines for Drinking-water Quality: Fourth edition (incorporating the first and second addenda)*, Geneva: World Health Organization, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK579461/> (accessed 22.09.25).
- [2]. WHO, 2024, *Guidelines for Drinking-water Quality: Small water supplies*, Geneva: World Health Organization, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240088740> (accessed 22.09.25).
- [3]. Council Directive 2013/51/Euratom, 2013, laying down requirements for the protection of the health of the general public with regard to radioactive substances in water intended for human consumption, *OJ* L296, 7.11.2013, pp. 12–21, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0051> (accessed 22.09.25).
- [4]. Council Directive 2013/59/Euratom, 2013, laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, *OJ* L13, 17.01.2014, pp. 1–73, <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2014:013:0001:0073:EN:PDF> (accessed 22.09.25).
- [5]. ISO, 2021, *ISO 10703: Water quality — Gamma-ray emitting radionuclides — Test method using high-resolution gamma-ray spectrometry*, <https://www.iso.org/standard/78790.html> (accessed 22.09.25).
- [6]. Currie, L.A., 1968, Limits for qualitative detection and quantitative determination:

- Application to radiochemistry, *Analytical Chemistry* 40(3):586–593, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ac60259a007> (accessed 22.09.25).
- [7]. JCGM, 2008, *Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*, JCGM 100:2008, https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf (accessed 22.09.25).
- [8]. ICRP, 2012, *ICRP Publication 119: Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60, Annals of the ICRP* 41(Suppl 1):1–130, <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+119> (accessed 22.09.25).
- [9]. UNSCEAR, 2016, *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*, United Nations, New York, <https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2016.html> (accessed 22.09.25).
- [10]. IAEA, 2014, *The Environmental Behaviour of Radium: Revised Edition*, Technical Reports Series No. 476, Vienna: International Atomic Energy Agency, <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/507468/> (accessed 22.09.25).
- [11]. U.S. EPA, 2020, *High Resolution Gamma-Ray Spectrometry Analyses for Normal Operations and Radiological Incident Response*, Washington, DC: ORIA, https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-07/documents/guide_for_high_resolution_gamma_spectrometry_analyses_camera_ready.pdf (accessed 22.09.25).
- [12]. Kamenova-Totzeva, R.M., Kotova, R.M., Tenev, J.G., Totzev, A.V., Badulin, V.M., 2015, Natural radioactivity content in Bulgarian drinking waters and consequent dose estimation, *Radiation Protection Dosimetry* 164(3):402–407, doi:10.1093/rpd/ncu290, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25227438/> (accessed 22.09.25). PubMed
- [13]. NIST, 2024, *Procedure for Gamma-ray Spectrometry Measurements for Activity Calibration and Impurity Measurements using HPGe Detectors (RPD-P-23 v1.00)*, Radiation Physics Division, <https://www.nist.gov/document/procedure23v100pdf> (accessed 22.09.25).
- [14]. ISO, 2019, *ISO 11929-1: Determination of the characteristic limits (decision threshold, detection limit and limits of the coverage interval) for measurements of ionizing radiation — Fundamentals and application — Part 1*, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69579/73c53d0aa041479e920b8123a7208fa4/ISO-11929-1-2019.pdf> (accessed 22.09.25).
- [15]. ISO, 2009, *ISO 5667-11: Water quality — Sampling — Part 11: Guidance on sampling of groundwaters*, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/42990/6f2f5f9204d9416fba1f74f562b33e00/ISO-5667-11-2009.pdf> (accessed 22.09.25).
- [16]. WHO, 2018, *Management of radioactivity in drinking-water*, Geneva: World Health Organization, <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/272995/9789241513746-eng.pdf> (accessed 22.09.25).
- [17]. ICRU, 1994, *Gamma-Ray Spectrometry in the Environment (ICRU Report 53)*, Bethesda: International Commission on Radiation Units and Measurements, <https://journals.sagepub.com/toc/crub/os-27/2> (accessed 22.09.25).
- [18]. U.S. EPA, 2000, *Radionuclides Rule — National Primary Drinking Water Regulations (Final Rule)*, <https://www.epa.gov/dwreginfo/radionuclides-rule> (accessed 22.09.25).
- [19]. U.S. EPA, 2001, *Radionuclides Rule: A Quick Reference Guide (EPA 816-F-01-003)*, https://www.dnr.louisiana.gov/assets/OC/env_div/Legacy/Henning_Management/3_Appendices_Chevrons-MFP/Appendice_G_Rad_Rule_Regs.pdf (accessed 22.09.25).
- [20]. ISO, 2018, *ISO 5667-3: Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples*, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/72370/f14697ed4db749b19e49f68ca7b77530/ISO-5667-3-2018.pdf> (accessed 22.09.25).
- [21]. UNSCEAR, 2021, *Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation: 2020/2021 Report — Volume I*, United Nations, New York, https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/unscear-reports/UNSCEAR_2020_21_Report_Vol.I.pdf (accessed 22.09.25).
- [22]. Eleftheriou, G., et al., 2024, *High-resolution gamma-ray spectrometry for rou-*

- tine environmental radioactivity measurements, *Applied Radiation and Isotopes*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969804324000629> (accessed 22.09.25).
- [23]. Petisco-Ferrero, S., et al., 2023, *Radiological environmental monitoring of groundwater: guidance and case studies*, *Environmental Sciences Europe* 35:80, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10558601/> (accessed 22.09.25).
- [24]. ISO, 2019, *ISO 11929-3: Determination of the characteristic limits ... — Part 3: Applications to unfolding methods*, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/69581/a029a8fa5dc74c0e848c4ba8d6ce30a9/ISO-11929-3-2019.pdf> (accessed 22.09.25).
- [25]. IAEA, 2010, *Programmes and Systems for Source and Environmental Radiation Monitoring (Safety Reports Series No. 64)*, Vienna: International Atomic Energy Agency, (overview citing SRS-64) https://regelwerk.grs.de/sites/default/files/D5505%20Monitoring%20for%20Protection%20of%20the%20Public%20and%20the%20Environment_Step%2011c%20-%20Track%20Changes_7.01.2025.pdf (accessed 22.09.25).
- [26]. ISO, 2024, *ISO 5667-3: Water quality — Sampling — Part 3: Preservation and handling of water samples (current edition replacing 2018)*, <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/82273/e60ee99ac6f64660825d41f9c64767b2/ISO-5667-3.pdf> (accessed 22.09.25).
- [27]. WHO, 2017, *Guidelines for drinking-water quality: fourth edition, incorporating the first addendum*, <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254636/9789241550017-eng.pdf> (accessed 22.09.25).
- [28]. IAEA, 2020, *Nuclear Safety Review 2020*, GC(64)/INF/3, <https://www.iaea.org/about/governance/general-conference/gc64/documents> (PDF: GC(64)/INF/3) (accessed 22.09.25).
- [29]. Todorović, N., Nikolov, J., **Stojković, I.**, Hansman, J., Vraničar, A., Kuzmanović, P., Petrović Pantić, T., Atanasković Samolov, K., Lučić, S., Bjelović, S., 2020, *Radioactivity in drinking water supplies in the Vojvodina region, Serbia, and health implication*, *Environmental Earth Sciences* 79:162, <https://doi.org/10.1007/s12665-020-08904-9> (accessed 22.09.25).
- [30]. Natsionalen statisticheski institut (NSI). 2023. Statistika na vodite – Naselenie i vodni uslugi (godishni dannii): obshto za stranata, po statisticheski rayoni, oblasti i rayoni za baseynovo upravlenie. Sofia: NSI. <https://www.nsi.bg/> (Accessed 16.10.2025).
- [31]. Natsionalen statisticheski institut (NSI). 2020. Naselenie, domakinstva i dostap do vodosnabdyavane v selskite rayoni – spetsializirani tablitsi / “Naselenie i vodni uslugi” (godishni dannii). Sofia: NSI. <https://www.nsi.bg/> (Accessed 16.10.2025).
- [32]. Ministerstvo na zdaveopazvaneto. 2001 (amend. and suppl. to DV, br. 43 ot 16.05.2023). Naredba No. 9 ot 16.03.2001 g. za kachestvoto na vodata, prednaznachena za piteyno-bitovi tseli. Sofia: Ministerstvo na zdaveopazvaneto. Official consolidated edition. <https://www.moew.government.bg/>