

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ლელა მწარიაშვილი

**რადონის რადიაციული გამოსხივების კვლევა ზოგიერთ
ბუნებრივ ობიექტებში**

წარმოდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

სადოქტორო პროგრამა - საინჟინრო ფიზიკა

შიფრი - 0404

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

თბილისი, 0175, საქართველო

2018 წელი

საავტორო უფლება © 2018 წელი ლელა მწარიაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტი

ჩვენ, ქვემოთ ხელისმომწერი ვადასტურებთ, რომ გავეცანით ლელა მწარიაშვილის მიერ შესრულებულ სადისერტაციო ნაშრომს დასახელებით: **„რადონის რადიაციული გამოსხივების კვლევა ზოგიერთ ბუნებრივ ობიექტებში“** და ვაძლევთ რეკომენდაციას საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის საუნივერსიტეტო სადისერტაციო საბჭოში მის განხილვას დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად.

-----, ----- 20-- წელი

თანახელმძღვანელები: პროფესორი ნოდარ კეკელიძე

პროფესორი გელა გოდერძიშვილი

რეცენზენტი: _____

რეცენზენტი: _____

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
2018 წ

ავტორი: ლელა მწარიაშვილი

დასახელება: *რადონის რადიაციული გამოსხივების კვლევა ზოგიერთ ბუნებრივ
ობიექტებში*

სადოქტორო პროგრამა: საინჟინრო ფიზიკა

ხარისხი: დოქტორი

სხდომა ჩატარდა:

ინდივიდუალური პიროვნებების ან ინსტიტუტების მიერ ზემომოყვანილი დასახელების დისერტაციის გაცნობის მიზნით მოთხოვნის შემთხვევაში მისი არაკომერციული მიზნებით კოპირებისა და გავრცელების უფლება მინიჭებული აქვს საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტს.

ავტორის ხელმოწერა

ავტორი ინარჩუნებს დანარჩენ საგამომცემლო უფლებებს და არც მთლიანი ნაშრომის და არც მისი ცალკეული კომპონენტების გადაბეჭდვა ან სხვა რაიმე მეთოდით რეპროდუქცია დაუშვებელია ავტორის წერილობითი ნებართვის გარეშე.

ავტორი ირწმუნება, რომ ნაშრომში გამოყენებული საავტორო უფლებებით დაცულ მასალებზე მიღებულია შესაბამისი ნებართვა (გარდა იმ მცირე ზომის ციტატებისა, რომლებიც მოითხოვენ მხოლოდ სპეციფიურ მიმართებას ლიტერატურის ციტირებაში, როგორც ეს მიღებულია სამეცნიერო ნაშრომების შესრულებისას) და ყველა მათგანზე იღებს პასუხისმგებლობას.

რეზიუმე

გარემოში ატომთა ბირთვები, რომლებისგანაც შედგება მატერია, ძირითადად სტაბილურია. მაგრამ არსებობენ არამდგრადი ბირთვებიც, რომლებსაც აღენიშნებათ სიჭარბე ან ნაკლებობა იმ ნაწილაკებისა რომლისაგანაც შედგება ატომის ბირთვი (პროტონი, ნეიტრონი და ა.შ.), რაც იწვევს ბირთვის ტრანსფორმაციას (დაშლის საფუძველზე) სხვა ბირთვში (სტაბილურში ან პირიქით). ამგვარ ატომებს რადიოაქტიურს უწოდებენ, რადგან გარდასახვის დროს გამოყოფენ გამოსხივებას, რომლის ბუნება და თვისებები სხვადასხვაა (ალფა, ბეტა, გამა და სხვა გამოსხივება). რადიოაქტიურ ატომებს უწოდებენ რადიოაქტიურ იზოტოპებს, ანუ რადიონუკლიდებს.

რადიოაქტივობა არ შექმნილა ადამიანის მიერ, ის წარმოადგენს გარემოს შემადგენელ ნაწილს, როგორცაა დედამიწის ზედაპირი, ქანები, ატმოსფერო, ადამიანის სხეული, კვების პროდუქტები და ა.შ..

თანამედროვე ეკოლოგიაში ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა გარემოს რადიოაქტიური მდგომარეობის შესწავლა. ბოლო დროს მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ მოსახლეობის დასახივებაში ძირითადი წილი მოდის ბუნებრივ წყაროებზე. ისინი შეიძლება ზოგადად დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: კოსმოსური სხივები და რადიოაქტიური ელემენტები, რომელსაც შეიცავს სხვადასხვა ბუნებრივი ან ხელოვნური ობიექტი - ჰაერი, მიწა, წყალი, სამშენებლო მასალები და სხვა. დიდი ხნის განმავლობაში გამოსხივების ამ წყაროებს არასაკმარისი ყურადღება ეთმობოდა, მაგრამ ბოლო დროს მეცნიერების და საზოგადოების თვალსაზრისი შეიცვალა.

შეიძლება ჩაითვალოს, რომ საქართველოში სამუშაოს პრობლემატიკასთან დაკავშირებული სამუშაოები ჩატარებულია მცირე მასშტაბით. აღნიშნულ სამუშაოში მიღებულ შედეგებს, რადონის შემცველობის შესახებ გარემოს ერთ-ერთ ძირითად ობიექტში - სასმელ და ზედაპირულ წყლებში, ასევე ნიადაგის ჰაერში, დიდი მნიშვნელობა ექნება, როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ნაშრომში განხილულია გარემოში შედარებით გავრცელებული ბუნებრივი რადიონუკლიდების ოჯახები (რომელთა მშობლებია - Th-232, U-238 და U-235, ასევე ცალკეული რადიონუკლიდი K-40) და ბუნებრივად მიმდინარე გარდაქმნის ჯაჭვი თითოეული ოჯახის რადიონუკლიდებისათვის. ნაჩვენებია ბუნებრივი რადიაციის გამომწვევი რადიონუკლიდის - რადონის დაშლის პროდუქტების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

ჩატარდა საინფორმაციო მასალის ანალიზი ქ. თბილისის სასმელი „წყალსადენის“ წყლით მომარაგების სისტემის შესახებ, რის საფუძველზეც დადგინდა ზოგიერთი თავისებურება (კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ წყლის რესურსების წყაროები პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად - ზედაპირული და მიწისქვეშა); ჩატარდა როგორც საზღვარგარეთ, ასევე საქართველოში ჩატარებული კვლევის შედეგების ლიტერატურული მასალის ანალიზი.

ნაშრომში განხილულია ბუნებრივ ობიექტებში (წყალი, ნიადაგი და ნიადაგის ჰაერი) რადონის აქტივობის შესწავლის მეთოდოლოგია. კვლევები განხორციელდა ორი მეთოდით: ალფა-სპექტრომეტრული (დეტექტორი RAD7 გამოყენებით) და გამა-სპექტრომეტრული (გერმანიუმის დეტექტორი Canberra GC2020) მეთოდებით. დადგინდა წყალში გახსნილი რადონით დასხივების დოზური პარამეტრების გამოთვლის ტექნიკა.

სასმელი „წყალსადენის“ წყლების კვლევისათვის ქ. თბილისის ტერიტორიულ ადმინისტრაციული დაყოფის და მოსახლეობის განაწილების ანალიზის საფუძველზე 52 ისტორიულ ტერიტორიულ ერთეულზე შერჩეული იქნა 118 საკონტროლო პუნქტი. ასევე დამატებით შეირჩა 10 საკონტროლო პუნქტი თბილისის მიმდებარე დასახლებულ პუნქტებში.

ზედაპირული წყლების კვლევისათვის შერჩეული იქნა ქ. თბილისის ჩრდილოეთით და სამხრეთით მდებარე ქართლის და თბილისის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე მდებარე 44 საკონტროლო პუნქტი. აღნიშნულ არტეზიულ აუზებში ჩატარდა არა მარტო ზედაპირული წყლების, არამედ ნიადაგის ჰაერის და ნიადაგის კვლევები.

ჩატარდა ანალიზი, რომელშიც ნაჩვენებია, რომ ორი არტეზიული აუზის კვლევის დროს მიღებული შედეგები შესაძლოა დაკავშირებული იყოს აღნიშნული ტერიტორიების გეოლოგიურ თავისებურებებთან. ჩატარდა მიღებული შედეგების შედარება ლიტერატურულ მონაცემებთან.

მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიქმნა ქ. თბილისის სასმელი „წყალსადენის“ წყლის, ასევე თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიების ზოგიერთი ზედაპირული წყლის და ნიადაგური აირის რადონის რუკები.

სამუშაოს სიახლე გამოიხატება, პირველი საინფორმაციო მონაცემთა ბაზის შექმნაში, რადონის შემცველობის შესახებ სხვადასხვა ბუნებრივ ობიექტებში - ზედაპირულ წყლებში, სასმელ წყლებში, ნიადაგის ჰაერში, და ასევე დოზური პარამეტრების დადგენა და ა.შ. საქართველოს დედაქალაქის - თბილისის მიდამოებში.

Abstract

Atomic nuclei in the environment, of which matter consists, are mainly stable. But there are also unstable nuclei, which contain excess or lack of particles (proton, neutron, etc.), that causes the nucleus transformation (on the basis of decay) into the other nucleus (stable or vice versa). Such atoms are called radioactive, because during transformation they emulate radiation, the nature and the properties of which are different (alpha, beta, gamma and other types of radiation). Radioactive atoms are called radioactive isotopes, or radionuclides.

Radioactivity has not been created by humans; it represents the component of the environment, like the surface of the earth, rocks, atmosphere, human body, nutrition etc.

Therefore, one of the most actual problems in modern ecology is the study of the radioactive state of the environment. Recently scientists have concluded, that the main part of irradiation of the population is caused by the natural sources. They can generally be divided into two main groups: cosmic rays and radioactive elements contained in various natural or artificial objects - air, soil, water, building materials etc. For a long time enough attention has not been given to these sources of radiation, but in recent years the point of view of scientists and society has changed.

It could be considered, that in Georgia researches, associated with these problems, are carried out on a small scale. The results obtained in given work, on the definition of the radon content in both one of the main objects of the environment – in drinking (tap) water and in soil air, have the great importance in scientific and practical terms. In this work the families of natural relatively common radionuclides (whose parents are Th-232, U-238 and U-235, also separate radionuclide K-40) and the natural flowing chain transition for each radionuclides family are discussed in given work. It has been shown the impact of natural radiation on human health have been caused by radionuclide radon dissolving products.

Analysis of informational material has been carried out on the drinking “tap” water supply system of Tbilisi city based on which some features have been identified (namely, the sources of water resources can be conditionally divided into two groups - surface and underground); Analysis of literary material implemented as abroad as well as in Georgia has been carried out.

There is discussed the methodology of studying of radon activity concentration in natural objects. Studies have been carried out by using of two methods: alpha-spectrometric (by using detector RAD7) and gamma-spectrometric (by using Germanic detector Canberra GC2020) ones. It has been established the calculation technique of the dose parameter in the water.

For the researching of drinking “tap” water the territory of Tbilisi city there have been chosen 118 control points on 52 historical territorial units. In addition, 10 control points have been chosen in settlements of Tbilisi city.

For the researching of the surface water there have been chosen 44 control points located on the territories of Kartli and Tbilisi artesian basins situated in the

north and south of Tbilisi city. In these artesian basins, not only the surface waters, but also soil air and soil samples have been studied.

The analysis has been carried out and shown, that the results obtained at the study of the two artesian basins may be related to the geological features of the marked territories. There has been carried out comparison of our results with literary data.

On basis of the obtained results there have been created the radiation maps of Tbilisi drinking "tap" water, as well as some of the surface water and soil air samples in the territories of Tbilisi and Kartli artesian basins.

The novelty of the work is expressed by the creation of the first information database on radon content in various natural objects - surface waters, drinking water, soil air, also dose parameters, etc. in the neighborhood of the capital of Georgia – Tbilisi city.

შინაარსი

შესავალი	19
I თავი. ლიტერატურის მიმოხილვა.....	33
1.1. პრობლემის აქტუალობა.....	33
1.2. რა არის ცნობილი ამ პრობლემის შესახებ	35
II თავი. ამოცანის დასმა და კვლევის ობიექტი.....	39
2.1. ამოცანის დასმა	39
2.2. კვლევის ობიექტი	41
2.2.1. წყალსადენის (თბილისის) წყალი.....	41
2.2.2. ზედაპირული წყალი.....	43
2.2.2.1. თბილისის არტეზიული აუზი	43
2.2.2.2. ქართლის არტეზიული აუზი.....	46
2.2.3. სხვადასხვა ტიპის წყლის ნიმუშები (გამა-სპექტრომეტრული კვლევისთვის).....	47
2.2.4. ნიადაგური აირი.....	48
2.2.5. ნიადაგი	48
III თავი. გამოყენებული მეთოდოლოგია	51
3.1. წყლის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა	51
3.1.1. რადონის შემცველობის კვლევა.....	51
3.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრების დადგენა.....	58
3.2. ნიადაგის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა	60
3.2.1. გამა-სპექტრების მიღება.....	60
3.2.2. რადიონუკლიდების შემცველობის განსაზღვრა.....	61
3.2.3. რადიოლოგიური პარამეტრების დადგენა.....	62
3.3. წყლის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა (გაზომვების თავისებურებები)	64
3.4. ნიადაგური აირის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა (გაზომვების თავისებურებები)	65
IV თავი. მიღებული შედეგები და მათი განსჯა.....	66
4.1. ძირითადი კვლევები	66
4.1.1. წყალსადენის (თბილისის) წყალი.....	66
4.1.1.1. რადონის აქტივობის განაწილება.....	66
4.1.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრები	72
4.1.2. ზედაპირული წყალი	75
4.1.2.1. თბილისის არტეზიული აუზი	75
4.1.2.1.1. რადონის აქტივობის განაწილება.....	75
4.1.2.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრები	78

4.1.2.2. ქართლის არტეზიული აუზი.....	80
4.1.2.2.1. რადონის აქტივობის განაწილება.....	80
4.1.2.2.2. რადიოლოგიური პარამეტრები	83
4.2. სპეციალური კვლევები	89
4.2.1. წყლის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა.....	89
4.2.2. ნიადაგური აირის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა.....	95
4.2.3. ნიადაგის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა	100
დასკვნა.....	112
გამოყენებული ლიტერატურა.....	119

ცხრილების ნუსხა

- ცხრილი 1. რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების წყალსადენის წყლებში 33
- ცხრილი 2. სხვადასხვა ქვეყნების ზედაპირულ წყლებში რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები და წლიური ეფექტური დოზები..... 34
- ცხრილი 3. რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების ნიადაგის ჰაერში 35
- ცხრილი 4. ქ.თბილისის ისტორიული ტერიტორიული ერთეულების ჩამონათვალი 42
- ცხრილი 5. თბილისის არტეზიულ აუში გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები..... 44
- ცხრილი 6. ქართლის არტეზიულ აუში გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები..... 46
- ცხრილი 7. გამა-სპექტრომეტრით გამოკვლეული წყლის ნიმუშების ჩამონათვალი 47
- ცხრილი 8. თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი, რომლებშიც გაზომილი იყო რადონი ნიადაგურ აირში და აღებული იყო ნიადაგის ნიმუშები იანვარი - დეკემბრის პერიოდში 48
- ცხრილი 9. ნიადაგის ნიმუშების აღების საკონტროლო პუნქტების (CP) ჩამონათვალი, ნიადაგის ნიმუშების ნომრები (SN) და მათი ტიპები (ST) 49
- ცხრილი 10. სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობის საშუალო მნიშვნელობები (A) და საკონტროლო პუნქტების რაოდენობის (N_p) და მათი შეფარდების ($R, = N_p/N_t \%$; N_t - საკონტროლო პუნქტების საერთო რაოდენობა) განაწილება ტერიტორიის მიხედვით ქ. თბილისში (T_b) და მის გეოგრაფიულ არეალში (T_b-A)..... 66
- ცხრილი 11. ქ. თბილისის (T_b) და და მისი გეოგრაფიული არეალის (T_b-A) სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობის კონცენტრაციის საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობების გასაშუალებული მნიშვნელობები ($Pr_m - av, mn, mx$)..... 67
- ცხრილი 12. სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}) სიდიდეები, შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალოებული მნიშვნელობები (av, mn, mx) ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით ზედაპირული (A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყაროებიდან 68

ცხრილი 13. ქ. თბილისის (C; R - მარჯვენა სანაპირო, L - მარცხენა) ტერიტორიების (T) და ახლომდებარე დასახლებული პუნქტების (პ.პ. 14-18) სასმელი წყალში რადონის აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება 68

ცხრილი 14. ქ. თბილისსა (Tb) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (Tb-A) სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალებელი მნიშვნელობები (Prm - av, mn, mx) 72

ცხრილი 15. ქ. თბილისსა (Tb) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (Tb-A) ძირითადად მიწისზედა (A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყალმომარაგების წყაროებიდან სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალებელი მნიშვნელობები (Prm - av, mn, mx) 73

ცხრილი 16. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის და სხვ.) რადონის აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული მნიშვნელობები (RSD) და აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება 76

ცხრილი 17. თბილისის (TAB) აუზის ტერიტორიაზე ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყალში რადონის განზოგადებული ყოველთვიური აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალებელი (Prm - av, mn, mx) მნიშვნელობები..... 77

ცხრილი 18. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing}, μSv a⁻¹, D_{ing-st}, μSv a⁻¹) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები 79

ცხრილი 19. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing}, μSv a⁻¹, D_{ing-st}, μSv a⁻¹) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები..... 79

ცხრილი 20. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის და სხვ.) რადონის აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული მნიშვნელობები (RSD) და აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება 80

- ცხრილი 21. ქართლის (KAB) აუზის ტერიტორიაზე ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყალში რადონის განზოგადებული ყოველთვიური აქტივობა (A , Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალებული ($Prm - av, mn, mx$) მნიშვნელობები..... 81
- ცხრილი 22. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების ($D_{ing}, \mu Sv a^{-1}, D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები 84
- ცხრილი 23. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების ($D_{ing}, \mu Sv a^{-1}, D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები 85
- ცხრილი 24. ბუნებრივ წყლებში რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების მონაცემების მიხედვით..... 87
- ცხრილი 25. წყლის ნიმუშებში (338-TW და 719-47-WT-Vk) რადონის აქტივობის კონცენტრაცია გამა-სპექტრომეტრის ($A1$) და ალფა-სპექტრომეტრის მეთოდებით ($A2$), და მათი შეფარდება ($D = A1 / A2$) 90
- ცხრილი 26. გამოკვლეული ნიმუშების სპექტრებში იმპულსების ჩაწერის სიჩქარე K (იმპულსების რიცხვი 1000 sec – cpKs-ზე) ძირითადი პიკებისთვის (მოცემულია ენერგია – E , და კვანტური გამოსავალი – Y) 30 დღიან დაყოვნებამდე (R_{in}) და დაყოვნების შემდეგ (R_{mnth}), ასევე ფონის სპექტრში (bckgr)..... 93
- ცხრილი 27. ნუკლიდების Pb-214, Bi-214 კონცენტრაცია გამოთვლილი გამა-სპექტრებით და Rn-222 კონცენტრაცია შესაბამისი ნიმუშების დუბლიკატებისთვის გამოთვლილი ალფა-სპექტრებით..... 95
- ცხრილი 28. წყლის ნიმუშებში რადონის აქტივობის კონცენტრაცია გამა-სპექტრომეტრის ($A1$) და ალფა-სპექტრომეტრის მეთოდებით ($A2$), და მათი შეფარდება ($D = A1 / A2$)..... 95
- ცხრილი 29. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) აუზების ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ ჰაერში რადონის აქტივობის საშუალო (A_{av}) მნიშვნელობები და აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება 96
- ცხრილი 30. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) აუზების ტერიტორიაზე ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ ჰაერში რადონის განზოგადებული თვიური აქტივობა (A , Bq/ m^3), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}) და მაქსიმალური (A_{mx}) მნიშვნელობები 96

ცხრილი 31. ნიადაგური რადონის კვლევის შეჯამებული შედეგები სხვადასხვა ქვეყნების მონაცემებით	99
ცხრილი 32. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში შერჩეული ნიადაგის ნიმუშებში რადიონუკლიდების აქტივობის (A, Bq/kg) მნიშვნელობები....	102
ცხრილი 33. ნიადაგის ნიმუშებში გამოკვლეული რადიონუკლიდების ზოგიერთი ძირითადი პარამეტრები (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში) .	105
ცხრილი 34. ზოგიერთი რადიონუკლიდის გაერთიანებული შედეგები ნიადაგის ტიპების მიხედვით (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში).....	106
ცხრილი 35. ზოგიერთი პარამეტრის გაერთიანებული შედეგები ნიადაგის ტიპების მიხედვით (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში).....	106
ცხრილი 36. რადიონუკლიდების აქტივობის კონცენტრაცია (Bq/kg) და ზოგიერთი სხვა პარამეტრი სხვადასხვა ქვეყნების ნიადაგებში.....	109
ცხრილი 37. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობის (A, Bq/kg) საფუძველზე გაანგარიშებული შთანთქმული გარე გამა გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) მნიშვნელობები	111
ცხრილი 38. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობის საფუძველზე გაანგარიშებული შთანთქმული გარე გამა გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) გასაშუალებული მნიშვნელობები (Prm - av, mn, mx).....	111

ნახაზების ნუსხა

ნახ. 1. ბუნებრივად მიმდინარე გარდაქმნის ჯაჭვი.....	21
ნახ. 2. რადონის დაშლის პროდუქტების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე.....	25
ნახ. 3. ქ. თბილისის წყალმომარაგების სქემა	32
ნახ. 4. ქართლის (1) და თბილისის (2) არტეზიული აუზები აღმოსავლეთ საქართველოში.....	43
ნახ. 5. ნიადაგის ნიმუშების აღების საკონტროლო პუნქტების განაწილება თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე	49
ნახ. 6. წყლის ნიმუშის აღება	51
ნახ. 7. გაზომვის პროცესები RAD7 დეტექტორის გამოყენებით	52
ნახ. 8. RAD H ₂ O კონფიგურაციის დიაგრამა.....	54
ნახ. 9. წყლის ნიმუშიდან რადონის დეგაზაციის პროცესი	54
ნახ. 10. RAD H ₂ O კონფიგურაციის დიაგრამის სქემატური გამოსახულება ..	54
ნახ. 11. RAD7 დეტექტორით მიღებული შედეგების გრაფიკული გამოსახულება.....	55
ნახ. 12. ქ.თბილისის ტერიტორიაზე სასმელი ("წყალსადენის") წყლის რადონის რუკა	70
ნახ. 13. ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით (A-1) ზედაპირული და (A-2) მიწისქვეშა წყაროებიდან სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A, Bq/L)	71
ნახ. 14. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის წყაროს და მდინარის წყალში, რადონის აქტივობის ყოველთვიური გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L)	77
ნახ. 15. თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების წყაროების რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განაწილება	78
ნახ. 16. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში, სხვადასხვა ტიპის წყალში, რადონის აქტივობის ყოველთვიური გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L)	83
ნახ. 17. ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების წყაროების რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განაწილება	83
ნახ. 18. სასმელი "წყალსადენის" წყლის ნიმუშის (338- TW-Vk) გამა-სპექტრები (ფართობის ინტერვალით 40-400 keV მარცხნივ და 580-620 keV არემი მარჯვნივ).....	89

ნახ. 19. წყაროს წყლის ნიმუშის (2-WSp კოჯორი) სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში (სპექტრი ნიმუშის აღების დღეს)	91
ნახ. 20. წყაროს წყლის ნიმუშის (2-WSp კოჯორი) სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში.....	91
ნახ. 21. ფონური გამოსხივების სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში (სპექტრი ნიმუშის გარეშე)	91
ნახ. 22. წყლის ნიმუშის (245-3-TW) სპექტრი 40 – 400 keV ფართობის ინტერვალში 30 დღიანი დაყოვნებამდე (<i>მარცხნივ</i>) და დაყოვნების შემდეგ (<i>მარჯვნივ</i>)	92
ნახ. 23. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის გასაშუალებელი მნიშვნელობები (A, Bq/L).....	97
ნახ. 24. თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე ნიადაგური აირის რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განლაგება.....	98
ნახ. 25. ფონური გამოსხივების გამა-სპექტრი.....	100
ნახ. 26. თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე დაბა წყნეთის საკონტროლო პუნქტში T-D-Ts-2 აღებული ნიადაგის ნიმუშის (371-19) გამა-სპექტრი	101

გამოყენებული აბრევიატურების ნუსხა

A	აქტივობის კონცენტრაციის მნიშვნელობა;
A_{av}	რადონის აქტივობის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა;
AB	არტეზიული აუზი;
Ad	მისამართი;
AED	წლიური ეფექტური დოზა;
AR	აქტივობის დიაპაზონი;
A_{av}	საშუალო აქტივობა;
A_{mn}	რადონის აქტივობის კონცენტრაციის მინიმალური მნიშვნელობა;
A_{mx}	რადონის აქტივობის კონცენტრაციის მაქსიმალური მნიშვნელობა;
av	საშუალო;
bckgr	ფონი;
C	ქალაქი (რაიონი);
CP	საკონტროლო პუნქტი;
D_{ig}	წლიური ეფექტური დოზა ორგანიზმში წყლით მოხვედრილი რადონით დასხივებისას;
D_{ig-st}	ეკვივალენტური დოზა კუჭისთვის (როგორც დასხივების მიმართ ყველაზე მეტად მგრძობიარე ადამიანის ორგანო წყლის მიღებისას);
D_{ih}	წლიური ეფექტური დოზა რადონით დასხივებისას, რომელიც გამოსულია წყლიდან და გადასულია შენობის ჰაერში;
DR	დოზის სიმძლავრე;
GA	აქტივობის ჯგუფი;
GC	გეოგრაფიული კოორდინატები;
KAB	ქართლის არტეზიული აუზი;
keV	კილოელექტრონვოლტი;
L	მტკვრის მარცხენა სანაპირო;
$Lt(N)$;	გეოგრაფიული კოორდინატები (ჩრდილოეთი განედი,
$Ln(E)$	აღმოსავლეთი გრძედი);
mn	მინიმალური;
mx	მაქსიმალური;
M	ნიმუშის მასა;
Month	თვე;
N_p	საკონტროლო პუნქტების რაოდენობა;
P	ნიმუშის კუთრი წონა;
R	მტკვრის მარჯვენა სანაპირო;
R, %	N_p /საკონტროლო პუნქტების სერთო რაოდენობა;
RD	საკვლევი უბანი;
Prm	პარამეტრი;
RSD	ფარდობითი სტანდარტული გადახრა;

SD	ნიმუშის აღების ადგილის მოკლე აღწერა;
SN	ნიმუშის ნომერი;
SR	გამოკვლევული ტერიტორია;
ST	ნიმუშის ტიპი;
T	ტერიტორია;
TAB	თბილისის არტეზიული აუზი;
Tb	თბილისის ფარგლები;
Tb-A	თბილისის გეოგრაფიული არეალი;
WT	წყალსადენის წყალი;
Vk	ვაკე;
WA	არტეზიული წყალი;
WD, L/s	წყლის დებიტი, ლ/წმ;
WGr	გრუნტის წყალი;
WSp	წყაროს წყალი;
WSp-1	წყაროს წყალი, ნიმუშის აღება უშუალოდ წყაროს ადგილმდებარეობის ზონაში;
WSp -2	წყაროს წყალი, ნიმუშის აღება წყაროს ადგილმდებარეობის ზონიდან მოშორებით;
WL	ტბის წყალი;
WR	მდინარის წყალი;
WRs	წყალსატევის წყალი;
WW	ჰის წყალი;

მადლიერება

ულრმეს მადლობას ვუხდით ჩემს სამეცნიერო ხელმძღვანელებს, მეცნიერების დამსახურებულ მოღვაწეებს, პეტრე მელიქიშვილის სახ. პრემიის ლაურეატს, პროფ. ნოდარ კეკელიძეს და პროფ. გელა გოდერძიშვილს სადოქტორო პროგრამაზე და სადისერტაციო ნაშრომზე მუშაობისას გაწეული პედაგოგიური და მეცნიერული შრომისათვის.

ასევე ულრმეს მადლობას ვუხდით ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, ნივთიერებათა კვლევის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის მთელ კოლექტივს (განსაკუთრებით დოქტ. თეიმურაზ ჯახუტაშვილს, დოქტ. ერემია თულაშვილს, მანანა ჩხაიძეს, ირინა ამბოკაძეს და სხვა.) სამუშაოების შესრულების პროცესში გაწეული დახმარებისა და მხარდაჭერისთვის.

დიდ მადლობას ვუხდით ასევე შოთა რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდს დოქტორანტურის საგანმანათლებლო პროგრამის გრანტისათვის (№ PhDF2016_15) და შესრულებული სამუშაოების ფინანსური მხარდაჭერისთვის.

შესავალი

ა. გარემოს რადიოაქტივობა

თანამედროვე პერიოდში სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ფონზე, ვითარდება წარმოება და ტრანსპორტი, ინერგება ახალი ტექნოლოგიები, იზრდება მოთხოვნები ბუნებრივ რესურსებზე. ყოველივე კი იწვევს ბიოსფეროს მაჩვენებლების გაუარესებას. ამდენად ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურებისა და რადიაციული ფონის ზრდის ტენდენციების შესწავლას საერთაშორისო, გლობალური მნიშვნელობა ენიჭება.

უკანასკნელ წლებში მსოფლიოს უმეტეს ქვეყნებში, მათ შორის საქართველოში, აღინიშნება გარემო პირობების გაუარესება, ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება და რადიაციული ფონის ზრდა, რაც გარკვეულ გავლენას ახდენს მოსახლეობის ჯანმრთელობის მდგომარეობაზე.

დღეისათვის მთელს მსოფლიოში შეიმჩნევა გარემოს დამაბინძურებელი ფაქტორების მატების ტენდენცია, რაც იწვევს მოსახლეობის ავადობის დონის ზრდას. ავადობის სტრუქტურაში გამოვლენილი იქნა სიმახინჯეების განვითარება, ცალკეული ანომალიების მატება, ავთვისებიანი დაავადებების რაოდენობის ზრდა და სხვა არასასურველი შედეგები. ამიტომ დიდი ყურადღება ექცევა გარემოს მავნე ზემოქმედების შემცირებისაკენ მიმართულ ღონისძიებებს [1].

გარემოში ატომთა ბირთვები, რომლებისგანაც შედგება მატერია, ძირითადად სტაბილურია. მაგრამ არსებობენ არამდგრადი ბირთვებიც, რომლებსაც აღენიშნებათ სიჭარბე ან ნაკლებობა იმ ნაწილაკებისა რომლისაგანაც შედგება ატომის ბირთვი (პროტონი, ნეიტრონი და ა.შ.), რაც იწვევს ბირთვის ტრანსფორმაციას (დაშლის საფუძველზე) სხვა ბირთვში (სტაბილურში ან პირიქით). ამგვარ ატომებს რადიოაქტიურს უწოდებენ, რადგან გარდასახვის დროს გამოყოფენ გამოსხივებას, რომლის ბუნება და თვისებები სხვადასხვაა (ალფა, ბეტა, გამა და სხვა გამოსხივება). რადიოაქტიურ ატომებს უწოდებენ რადიოაქტიურ იზოტოპებს, ანუ რადიონუკლიდებს.

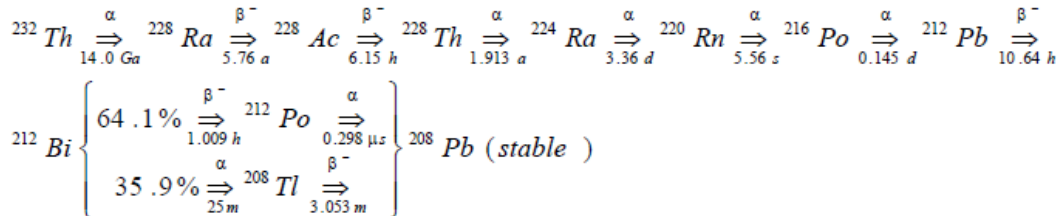
რადიოაქტივობა არ შექმნილა ადამიანის მიერ, ის წარმოადგენს გარემოს შემადგენელ ნაწილს, როგორცაა დედამიწის ზედაპირი, ქანები, ატმოსფერო, ადამიანის სხეული, კვების პროდუქტები და ა.შ. XIX საუკუნის ბოლოს ანრი ბეკერელის მიერ ბუნებრივი რადიოაქტივობის აღმოჩენის შემდეგ მისი თვისებები ფართო გამოყენებას პოულობენ ადამიანის საქმიანობის სხვადასხვა სფეროში: ინდუსტრია, სამხედრო-სამრეწველო კომპლექსი, მედიცინა, სამეცნიერო კვლევები და ა.შ. [2].

დადგენილი იქნა, რომ გარემოში შედარებით გავრცელებულ ბუნებრივ რადიონუკლიდებს წარმოადგენენ სამი ოჯახის რადიონუკლიდები, რომელთა მშობლებია - Th-232, U-238 და U-235 (ნახ. 1.), ასევე ცალკე მდგომი რადიონუკლიდი K-40. მათი ნახევარდაშლის პერიოდი დედამიწის არსებობის დროის რიგისაა, ამიტომ ისინი მცირე რაოდენობით ყოველთვის არის გარემოს ობიექტებში (მათ შორის ადამიანის ორგანიზმშიც). ძირითადი რადიონუკლიდების საერთო რაოდენობა, რომლებიც შედიან აღნიშნულ ოჯახებში, შეადგენს 39 ნუკლიდს, რომლებიც არიან ალფა-, ბეტა- და გამა-გამომსხივებლები. დადგინდა, რომ ცოცხალ ორგანიზმებზე მათი ზემოქმედების ხასიათი და მექანიზმი მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან [3].

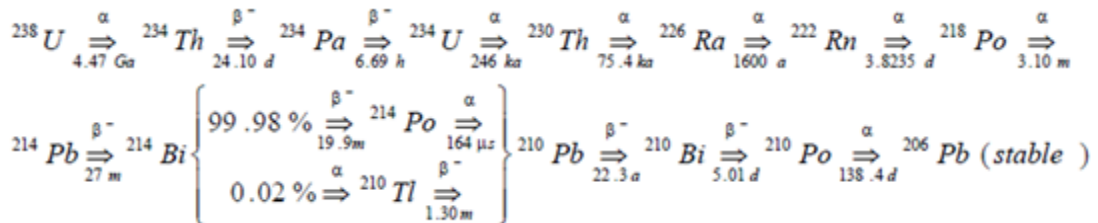
მიწის გულში მუდმივად გენერირდება დიდი რაოდენობით სხვადასხვა აირები, მათ შორის ისეთებიც, რომლებიც წარმოადგენენ რადიაქტიური ელემენტების (ურანი, თორიუმი, კალიუმი) დაშლის პროდუქტებს. ისინი დედამიწის გულიდან მუდმივად ხვდებიან ატმოსფეროში და ფორმირდებიან “მიწის გაზურ სუნთქვად”. ატარებენ მნიშვნელოვან ინფორმაციას პლანეტის გულზე, ნიადაგის ზედა ფენის მასივების შემადგენლობაზე, მოცემულ რეგიონში გეოეკოლოგიურ მდგომარეობაზე და ა.შ. რის შედეგადაც ეს გახდა მრავალრიცხოვანი კვლევის ობიექტი. ამ აირებს შორის ძირითადია - ჰელიუმი, რადონი, და არგონი (რომელთა შორის მხოლოდ რადონია რადიოაქტიური) და შეადგენენ მიწის გაზურ სუნთქვის მნიშვნელოვან ნაწილს. რადიოგენური

აირების კვლევა სხვადასხვა გარემომცველ ობიექტებში გვადლევს მნიშვნელოვან ინფორმაციას, რომელიც ავსებს ჩვენს ცოდნას გეოლოგიაში, გეოფიზიკასა და ეკოლოგიაში [4].

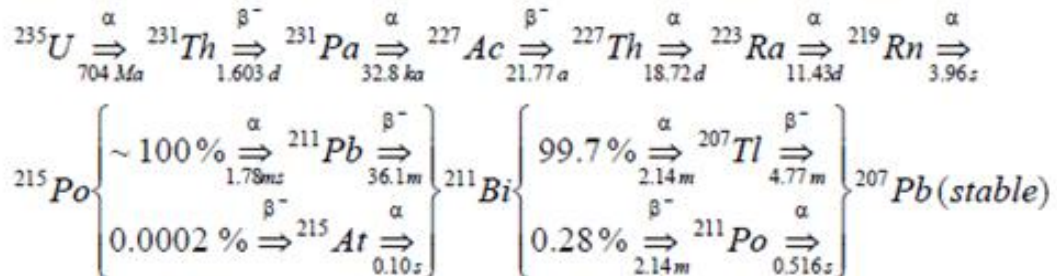
ა) გარდაქმნის ჯაჭვი რადიონუკლიდი Th-232-თვის:



ბ) გარდაქმნის ჯაჭვი რადიონუკლიდი U-238-თვის:



გ) გარდაქმნის ჯაჭვი რადიონუკლიდი U-235-თვის:



ნახ. 1. ბუნებრივად მიმდინარე გარდაქმნის ჯაჭვი

ამ ოჯახებს (ჯაჭვებს) აქვს ორი ძირითადი თავისებურება:

I - ყველა მწკრივში არსებული რადიონუკლიდები წარმოადგენენ მეტალებს, გარდა ერთი ელემენტისა - რადონი (Rn – 220, Rn – 222 და Rn – 219, თორონი, რადონი და აქტინონი, შესაბამისად), რომელიც აირადია. მას კეთილშობილ აირსაც უწოდებენ (რადგან ქიმიურად ინერტული აირია); რადონი წარმოიქმნება ქანებში და ნიადაგში რადიოაქტიური გარდაქმნის პროცესების დროს, შემდგომ კი ხდება მისი (და მისი დაშლის

პროდუქტების) მიგრაცია (გავრცელება) ნიადაგში, წყალში (ძირითადად, მიწისქვეშა) და ატმოსფეროში. რაც იწვევს ადამიანის გარე (ნიადაგის გამა-გამოსხივება) და შინაგან (ალფა-გამოსხივებით - ჰაერის ჩასუნთქვისას და წყლის მიღებისას) დასხივებას.

II - რადიონუკლიდის Rn – 222 და მისი დაშლის პროდუქტების რადიოაქტივობა შეადგენს ბუნებრივი რადიოაქტივობის 50%-ზე მეტს.

ბ. რადონის გავრცელება ბუნებრივ ობიექტებში

თანამედროვე ეკოლოგიაში ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა გარემოს რადიოაქტიური მდგომარეობის შესწავლა. ბოლო დროს მეცნიერები მივიდნენ დასკვნამდე, რომ მოსახლეობის დასხივებაში ძირითადი წილი მოდის ბუნებრივ წყაროებზე. ისინი შეიძლება ზოგადად დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: კოსმოსური სხივები და რადიოაქტიური ელემენტები, რომელსაც შეიცავს სხვადასხვა ბუნებრივი ან ხელოვნური ობიექტი - ჰაერი, მიწა, წყალი, სამშენებლო მასალები და სხვა. დიდი ხნის განმავლობაში გამოსხივების ამ წყაროებს არასაკმარისი ყურადღება ეთმობოდა, მაგრამ ბოლო დროს მეცნიერების და საზოგადოების თვალსაზრისი შეიცვალა.

რადიაციის ბუნებრივ წყაროებიდან ყველაზე მნიშვნელოვანი და ძირითადი წილი უკავია რადონს (Rn-222) - უხილავი, უსუნო, უგემო, მძიმე აირია (ჰაერზე 7.5-ჯერ მძიმე). რადონი რადიოაქტიურია და მისი დაშლის პროდუქტები გამოყოფენ ალფა- და ბეტა- ნაწილაკებს.

რადონი - ყველაზე მძიმეა კეთილშობილ აირებს შორის, რომლებსაც ადრე, ჯერ კიდევ 20-30 წლის წინ, უწოდებდნენ ინერტულ აირებს. მისი სიმკვრივე 0°C უდრის 9.81 კგ/მ³. რადონი შედარებით იშვიათი და ყველაზე მძიმე რადიოაქტიური აირია.

რადონი წარმოიქმნება დედამიწის წიაღში ურანის დაშლის შედეგად, რომელიც თუნდაც მცირე რაოდენობით მაგრამ მაინც შედის პრაქტიკულად ყველა ტიპის ქანებში. რადონი გროვდება ქანების ფორებში, ნიადაგში,

მიწისქვეშა წყლებში, და შემდეგ ამოდის მიწის ზედაპირზე, ხვდება ატმოსფეროში, ერევა ჰაერს და სწრაფად იფანტება.

გ. გავლენა ადამიანზე

წყალი ერთ-ერთ ძირითად როლს ასრულებს საცხოვრებელ ნაგებობებში რადონის მოხვედრაში. რადონი კარგად იხსნება წყალში, ამიტომ მას შეიცავს ყველა ბუნებრივი წყალი. ღრმა გრუნტის წყლებში ის მეტად შესამჩნევია ვიდრე ზედაპირულ წყლებში. წყლის შემადგენლობაში მყოფი რადონი და მისი დაშლის პროდუქტები ადამიანის ორგანიზმში შეიძლება მოხვდეს ორი გზით. ერთის მხრივ, ის წყალთან ერთად ხვდება საჭმლის მომწოდებელ სისტემაში, ხოლო მეორე მხრივ, ადამიანები ჩაისუნთქავენ წყლიდან გამოყოფილ რადონს წყლის მოხმარების დროს. საქმე იმაშია, რომ იმ დროს, როდესაც წყალი მოედინება ონკანიდან, მისგან გამოიყოფა რადონი, შედეგად რადონის კონცენტრაციამ სამზარეულოში ან სააბაზანოში შესაძლოა 30-40-ჯერ გადააჭარბოს დონეს სხვა ოთახებთან შედარებით (მაგ. მისაღებში, საძინებელში). რადონის ზემოქმედების მეორე (ინჰალაციის) ხერხი ითვლება ჯანმრთელობისათვის უფრო საშიშად. აირის სახით, სუნთქვის დროს, ის ხვდება ადამიანის ორგანიზმში და შეუძლია გამოიწვიოს ჯანმრთელობისათვის საზიანო შედეგი, პირველ რიგში - ფილტვის კიბო. ბევრი სპეციალისტი თვლის, რომ რადონი შეიძლება იყოს კიბოს მიზეზი იმ ადამიანებისათვის, ვინც ცხოვრობს გაზრდილი რადიაციული ფონის რაიონებში, მაშინაც კი თუ ისინი არ არიან სხვა მავნებელი ზემოქმედების ქვეშ. რადონის დაშლის პროდუქტები წარმოადგენენ დიდ საშიშროებას ფილტვებისათვის. ჰაერში შეტივანარებულ მტვრის მცირე ნაწილაკებზე დალექვის შემდეგ რადონის დაშლის პროდუქტები წარმოქმნიან რადიოაქტიურ აეროზოლებს, რომლებიც შესუნთქვის გზით ხვდებიან სუნთქვის ორგანოებში და იწვევენ ორგანიზმის შინაგან დასხივებას. პოტენციალური ბიოლოგიური ეფექტია ფილტვის კიბო. ე.წ. „შიგნითა“ რადონის და ფილტვის კიბოს ბოლო კვლევები, რომლებიც ჩატარდა ევროპაში, ჩრდილოეთ ამერიკაში და

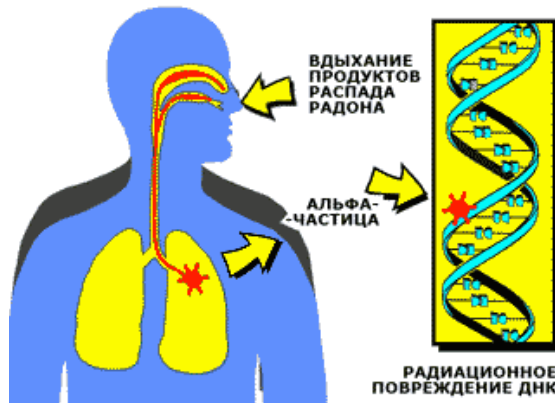
აზიაში, წარმოადგენენ მყარ მტკიცებულებას, რომ რადონი ფილტვის კიბოს მნიშვნელოვანი გამომწვევია მოსახლეობაზე. კვლევები აჩვენებენ, რომ ფილტვის კიბოს რისკი პროპორციულად იზრდება რადონის ზრდად გამოსხივებასთან ერთად [5].

სუნთქვის დროს ერთი წუთის განმავლობაში ფილტვებში ხვდება რადონის მილიონობით რადიოაქტიური ატომი, ისინი შერჩევითად გროვდება ზოგიერთ ორგანოში და ქსოვილში, განსაკუთრებით ჰიპოფიზის და თირკმელზედა ჯირკვლის ზედაპირზე. შინაგანი სეკრეციის ეს ორი უმნიშვნელოვანესი ჯირკვალი, განაპირობებს ორგანიზმის ჰორმონალურ აქტივობას და არეგულირებს ვეგეტატიური ნერვული სისტემის მოქმედებას. იგი კონცენტრირდება ასევე გულში, ღვიძლში და სხვა სასიცოცხლო ორგანოებში.

სისხლში და ლიმფაში გახსნის შემდეგ, რადონი და მისი დაშლის პროდუქტები სწრაფად ნაწილდება მთელ სხეულში, რაც იწვევს სხეულის მასიურ შინაგან დასხივებას. რადონის საფრთხე გამოწვეული ფუნქციონალური დარღვევების გარდა (ასთმური მოხუთვა, შაკიკი, თავბრუსხვევა, გულისრევა, დეპრესიული მდგომარეობა და ა.შ.) მდგომარეობს იმაშიც, რომ ფილტვის ქსოვილის შინაგანი დასხივების შედეგად შესაძლოა გამოიწვიოს ფილტვის კიბო. ეკოლოგიური კვლევების ცენტრის მთავარი სპეციალისტის ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის ა.ე.შემი-ზადეს შრომებში აღნიშნულია, რომ რადონი საცხოვრებელ სახლებში მისი კონცენტრაციის დროს 25 ბკ/მ³ იწვევს ფილტვის კიბოს ყოველ 1000 მოსახლიდან 3-4 ადამიანში (აშშ), ხოლო შენობაში მისი კონცენტრაციის 200 ბკ/მ³-მდე გაზრდისას დაავადებულთა რიცხვი იზრდება 10-ჯერ. გარემოს დაცვის ამერიკული სააგენტო აქვეყნებს რადონით დასხივებისას ფილტვის კიბოთი სიკვდილიანობის სტატისტიკურ მონაცემებს. ფილტვის კიბოთი, რომელიც გამოწვეული იყო რადონის ზეგავლენით, 1916 წელს დაიღუპა ინგლისელი ფიზიკოსი რამზაი, რომელიც იკვლევდა აღნიშნულ აირს. ფილტვის კიბო რადონით

დასახივების უმძიმეს შედეგს წარმოადგენს. რადონი განსაკუთრებით იხსნება ცხიმში და დადგინდა, რომ რადონი გროვდება ადამიანის ტვინში - რაც იწვევს სისხლის კიბოთი დაავადებას [6].

სურათზე (ნახ. 2.) მოცემულია რადონის დაშლის პროდუქტების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე [7].



ნახ. 2. რადონის დაშლის პროდუქტების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე

ამავდროულად, ბოლო დროს, გამოქვეყნდა ბევრი ნაშრომი იმის შესახებ, რომ იონიზირებული გამოსხივების მცირე რაოდენობა დადებით ეფექტს ახდენს და, უფრო მეტიც, აუცილებელია ყველა ცოცხალი ორგანიზმის ნორმალური ცხოვრების უნარიანობისათვის [8]. ზოგიერთ ნაშრომში დადგენილია, რომ “მცირე რაოდენობით რადიაცია (სხვადასხვა სიდიდით ორგანიზმის რადიომგრძნობიარობის მიხედვით) ააქტიურებს ძირითად სასიცოცხლო პროცესებს, ასტიმულირებს ორგანიზმის განვითარებას, ზრდის მის მდგრადობას გარემოს არახელსაყრელი პირობების მიმართ” [9].

დ. თემის აქტუალობა და პრაქტიკული მნიშვნელობა

ძველი თბილისის სასმელი და სამეურნეო წყლის მთავარ ბუნებრივ რეზერვუარს მტკვარი წარმოადგენდა, თუმცა ასევე გამოიყენებოდა ქალაქის ტერიტორიაზე არსებული წყაროებიც. XIX საუკუნეში, თბილისში არსებობდა ჯერ კიდევ ფეოდალური ხანიდან შემორჩენილი რამდენიმე მცირე სიმპლავრის წყაროდან გაყვანილი თიხის მილსადენები.

მაგრამ არსებული წყალგაყვანილობით სარგებლობდა მოსახლეობის მხოლოდ მცირე ნაწილი. მოქალაქეთა უმრავლესობა მოიხმარდა უმთავრესად მტკვრის და ნაწილობრივ ჭის წყალს.

1861 წელს ერთ-ერთი კერძო მესაკუთრის - ყორღანოვის მიერ თბილისში მდ. მტკვარზე შეიქმნა პირველი მცირეძალოვანი წყალსადენი, რომელიც წყლის მექანიკური მიწოდების პრინციპით მუშაობდა. 25 წლის მანძილზე ყორღანოვის წყალსადენი წყალს აწოდებდა ქალაქის მოსახლეობის მხოლოდ უმნიშვნელო ნაწილს.

1887 წელს ავჭალის წყაროების ბაზაზე აშენდა პირველი საზოგადოებრივი წყალსადენი, რომელიც იკვებებოდა 70% მტკვრისა და 30% წყაროს წყლით. ამავდროულად წარმოებდა ნატახტარის, ბულაჩაურის, წალკის წყაროების შესწავლა, მაგრამ 1933 წლამდე თბილისის წყლით მომარაგება მხოლოდ ავჭალის წყალსადენით ხდებოდა.

1933 წელს მწყობრში შევიდა არაგვის ხეობაში ნატახტარის წყალსადენი, ხოლო 1941 წ. გაიყვანეს ნატახტარის წყალსადენის მეორე რიგი. ამის შემდეგ გრუნტის წყლების ბაზაზე შეიქმნა ორთაჭალის წყალსადენი.

ომის შემდგომ წლებში (1952 წ.) მდ. არაგვის ხეობაში მდებარე წყაროებიდან გაიყვანეს ბულაჩაურის წყალსადენი, რომელიც წყლით ამარაგებდა თბილისს და რუსთავს.

ამავე პერიოდში შეიქმნა სამგორის სარწყავი სისტემის წყალსაცავი - „თბილისის ზღვა“, საიდანაც 1957 წ. ქალაქში გაყვანილ იქნა კიდევ ერთი წყალსადენი.

თბილისის წყალმომარაგების საქმეში დიდ როლს ასრულებს ჟინვალის ჰიდროკვანძი, რომელიც მწყობრში ჩადგა 1985 წელს. ჟინვალის ჰიდროკვანძისა და მდ. არაგვის ზედაპირული წყლების წყალსაცავის ბაზაზე თბილისის ზღვასთან, ღრმაღელეში შეიქმნა წყალგამწმენდი კომპლექსი. წყალგამწმენდი კომპლექსი გათვალისწინებულია მდ. არაგვის წყალუხვობის პერიოდისთვისაც [10, გვ. 233-237].

2008 წელს აშენდა უნიკალური მოცულობის წყლის რეზერვუარი ვაშლიჯვრის ტერიტორიაზე რეზერვუარი პირველ ეტაპზე საბურთალოს, ვაკის ნაწილის, ბაგების, მთაწმინდისა და კრწანისის მოსახლეობაზე გათვლილი.

წყალმომარაგება

დედაქალაქის წყალმომარაგება ოთხ ძირითად საფეხურს გადის:

- I. წყალაღება;
- II. წყლის ხარისხის სტანდარტებამდე დაყვანა;
- III. წყლის ტრანსპორტირება;
- IV. მომხმარებლებზე განაწილება.

არსებობს წყალმომარაგების ორი ტიპის წყარო: მიწისქვეშა და ზედაპირული. ნედლი წყლის ხარისხის გამო პრიორიტეტულია მიწისქვეშა წყალაღება. თბილისის წყალმომარაგების სისტემა იყენებს ორივე ტიპს.

მიწისქვეშა წყლების მიღება ხდება მდინარე არაგვის ხეობაში, ხოლო ზედაპირული წყალაღება ხორციელდება ჟინვალის წყალსაცავიდან და ნაწილობრივ თბილისის ზღვიდანაც, ღრმადელესა და სამგორის გამწმენდნაგებობათა კვანძების საშუალებით.

მდინარეები

თბილისი მდინარე არაგვის წყლით მარაგდება, რომელიც საზრდოობს მიწისქვეშა, წვიმისა და თოვლის, აგრეთვე მყინვარების დნობის შედეგად მიღებული წყლებით. მდინარის შევიწროებულ მონაკვეთებში, მიწისქვეშა წყლის ნაკადის დინება იზღუდება, რის შედეგადაც წყალი მიწის ზედაპირზე სხვადასხვა ადგილას გამოედინება წყაროების სახით, ქმნის ღელეებს და კვლავ მდინარეს უერთდება. მდინარე არაგვის წყაროების გამოსასვლელებს ადგილი აქვს ჟინვალში, ბულაჩაურში, ჭოპორტში, საგურამოსა და ნატახტარში. ამ წყაროების საერთო მინიმალური დებიტი, დაახლოებით, 8 მ³/წმ-ის ტოლია. არაგვის

ფილტრატები, 1933 წლიდან დღემდე, თბილისის წყალმომარაგების ძირითადი წყაროა.

წყლის ხარისხის სტანდარტებამდე დაყვანის შემდეგ ხდება მისი ტრანსპორტირება და დაგროვება სარეგულაციო რეზერვუარებში.

დედაქალაქის ტერიტორიაზე განთავსებულია 300 000 მ² ტევადობის რეზერვუარი და მძლავრი სატუმბო სადგურები, რომელთა საშუალებით ხდება წყალმომარაგების და წნევების რეგულირება თბილისის მასშტაბით.

დედაქალაქში შემოსული წყალი კიდევ ერთხელ იწმინდება და წყალსადენის 3600 კმ-იანი ქსელით უბნებზე ნაწილდება, სადაც მის ბინებამდე მიწოდებას 1000 ტუმბო უზრუნველყოფს [11].

რეზერვუარები და სატუმბო სადგურები

თბილისის ნორმალური წყალმომარაგებისთვის ქალაქის სხვადასხვა რაიონში და სხვადასხვა ნიშნულზე, 35 ადგილზე, განთავსებულია 84 სამარაგო რეზერვუარი (საერთო მოცულობით 300 000 მ³).

ყველა რეზერვუარი რკინაბეტონისაა, მრგვალი ან ოთხკუთხა ფორმის და მიწის ქვეშაა განთავსებული. ეტაპობრივად მიმდინარეობს რეზერვუარების ნაწილის რეაბილიტაცია. "ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერი" ექსპლუატაციას უწევს 141 წნევის გამამლიერებელ სატუმბო სადგურს, რომელშიც დამონტაჟებულია 4 კვტ-დან 75 კვტ-მდე ძრავები. ამჟამად, 65 სატუმბო სადგური მთლიანად რეაბილიტირებულია, დანარჩენის რეკონსტრუქცია კი გეგმურად მიმდინარეობს.

თბილისისა და მისი შემოგარენის მოსახლეობას, სახელმწიფო ორგანიზაციებს, სამრეწველო და კომერციულ ობიექტებს მომსახურებას უწევს კომპანია "ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერი" (GWP).

„ჯორჯიან უოთერ ენდ ფაუერს“ გააჩნია წყალმომარაგების რამდენიმე ობიექტი და წყარო, რომლის მეშვეობით მოსახლეობას უწყვეტად ამარაგებს სასმელი წყლით [11].

წყალმომარაგების წყაროები

წყალმომარაგების წყაროები და ობიექტები:

1. ჟინვალის წყალსაცავი

ჟინვალის ჰიდროკომპლექსის შემადგენელი ნაწილი მდებარეობს მდინარე არაგვზე, სოფელ ანანურსა და დაბა ჟინვალს შორის. მოწყობილია 102 მ სიმაღლის მიწის კაშხალი, რომელიც ქმნის 500 მლნ. მ³ მოცულობის წყალსაცავს. მისი დანიშნულებაა თბილისის სასმელ-სამეურნეო წყლით მომარაგება, რაც ხორციელდება 42 კმ-იანი 5,5 მ დიამეტრის მქონე გვირაბით, 12 მ³/წმ წყლის ოდენობით. სამგორის რაიონისთვის სარწყავი წყლის მიწოდება ექსპლუატაციაში გაიშვა 1985 წელს.

2. ბოდორნის საბუფერო აუზი

ჟინვალის ჰიდროკომპლექსის შემადგენელი ნაწილი მდებარეობს ჟინვალის კაშხლის ქვედა ბიეფში, მოცულობით - 1.0 მლნ მ³. აქედან წყლის გარკვეული ნაწილი მიედინება მდ. არაგვის კალაპოტში, ნაწილი კვებავს მუხრანისა და საგურამოს სარწყავ სისტემას, ხოლო ნაწილი მაგისტრალური წყალსადენით მიემართება თბილისის წყალმომარაგების უზრუნველსაყოფად.

3. ბულაჩაურის წყალსადენი

განთავსებულია მდ. არაგვის მარჯვენა და მარცხენა სანაპიროზე, 242 ჰექტარ ფართობზე. მისი დებიტი, საშუალოდ, 3000 ლ/წმ შეადგენს. აქედან 2000 ლ/წმ სიჩქარით წყალი თვითდინებით მიეწოდება თბილისს, ხოლო 1000 ლ/წმ სიჩქარით გადაიქაჩება საგურამოს წყალსადენის სამიჯნე კამერაში. წყლის ხარისხის კონტროლის მიზნით, ბულაჩაურში ფუნქციონირებს ქიმიური ლაბორატორია. წყალსადენი 1951 წელს გაიშვა ექსპლუატაციაში.

4. კოპორტ-მისაქციელის წყალსადენი

მდებარეობს მდ. არაგვის მარჯვენა და მარცხენა სანაპიროზე და მოიცავს 975 ჰექტარს. დებიტი, საშუალოდ, შეადგენს 1300 ლ/წმ და

თვითდინებით შეედინება საგურამოს წყალსადენის სამიჯნე კამერაში. წყალსადენი 1962 წელს გაიშვა ექსპლუატაციაში.

5. ნატახტარის წყალსადენი

პირველი უნიკალური სიფონური წყალსადენი, 1300 ლ/წმ დებიტით. ექსპლუატაციაში გაიშვა 1933 წელს. მდებარეობს მდ. არაგვის მარჯვენა სანაპიროზე და მოიცავს 250 ჰექტარს. აქედან წყალი თვითდინებით მიეწოდება თბილისს.

6. ნატახტარის ახალი წყალსადენი

დებიტი საშუალოდ შეადგენს 900 ლ/წმ-ს და შუალედური ტუმბოს მეშვეობით შეედინება საგურამოს სამიჯნე კამერაში. ნატახტარის ახალი წყალსადენი 1982 წელს გაიშვა ექსპლუატაციაში.

7. საგურამოს წყალსადენი

საკვანძო წყალსადენი, სადაც განლაგებულია ძირითადი წყალშემკრები კამერები და მძლავრი სატუმბო სადგურები. ფართობი - 256 ჰექტარი, დებიტი - 3000 ლ/წმ. წყლის ხარისხის კონტროლის მიზნით საგურამოში ფუნქციონირებს ქიმიური ლაბორატორია. ექსპლუატაციაში 1960-იან წლებში გაიშვა.

8. მუხრანის ველის არტეზიული წყალსადენი

მდებარეობს თბილისი-ყაზბეგის გზის მარჯვენა მხარეს და მოიცავს 151 ჰექტარს. წარმოადგენს 55 ჰაბურდილის ერთიანობას. ამჟამად მოქმედია 21 ჰაბურდილი, რომელიც იძლევა 500 ლ/წმ წყალს და შეედინება ნატახტარის სამიჯნე კამერაში. მუხრანის ველის არტეზიული წყალსადენი 1980 წელს ამოქმედდა.

9. თბილისის წყალსაცავი

მდებარეობს თბილისის ჩრდილო-აღმოსავლეთით. სიგრძე - 8.75 კმ, მაქსიმალური სიგანე - 1.85 კმ. წყალსაცავი საზრდოობდა მდ. იორის წყლით. წყლის მაქსიმალური მოცულობა 308 მლნ მ³-ია, მაქსიმალური სიღრმე 45 მ-მდე აღწევს. იგი ექსპლუატაციაში 1953 წლიდან შევიდა.

ჟინვალის წყალსაცავის ამოქმედების შემდეგ, თბილისის წყალსაცავი მდინარე არაგვის წყლითაც იკვებება.

10. სამგორის გამწმენდი ნაგებობა

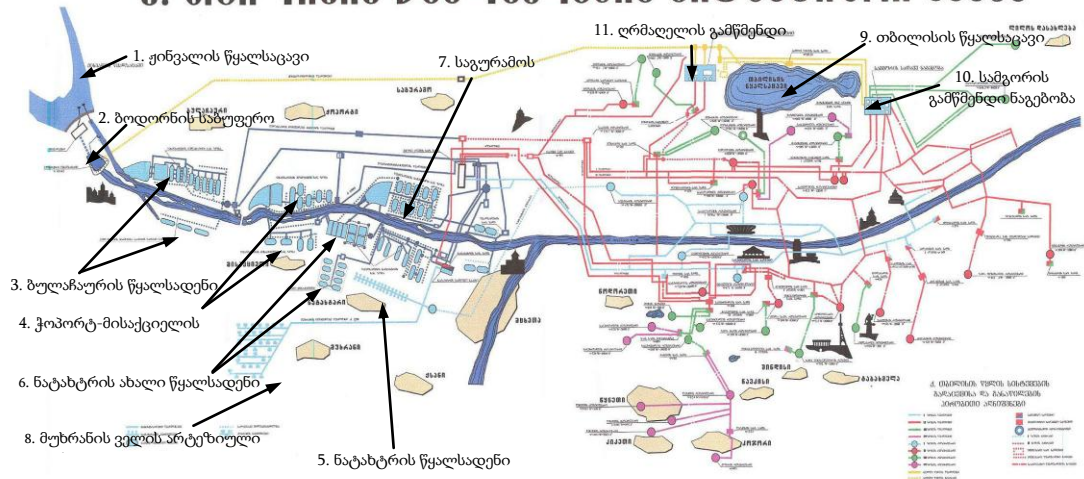
საერთო ფართი 3000 მ²-ია, წარმადობით - 5.0 მ³/წმ. ტერიტორიაზე განთავსებულია 50 ფილტრი, 6 მიწისქვეშა რეზერვუარი, სამი სატუმბო სადგური. სამგორის წყალსადენის I რიგი 500 ლ/წმ წარმადობით, ექსპლუატაციაში გაიშვა 1957 წ. ხოლო იმავე წარმადობის II რიგი - 1959 წელს. 1963 წელს საფილტრო სადგურის სიმძლავრე აყვანილ იქნა 2.0 მ³/წმ-მდე. წყლის ხარისხის კონტროლის მიზნით სამგორში ფუნქციონირებს ქიმიურ-ბაქტერიოლოგიური ლაბორატორია.

11. ღრმაღელეს გამწმენდი ნაგებობა

ჟინვალის ჰიდროკომპლექსის შემადგენელი ნაწილი, წარმადობით 5.0 მ³/წმ. სანიტარული ზონის ტერიტორიაზე განთავსებულია 4 რეზერვუარი. საფილტრე სადგურში გამართულია კოაგულირებისა და ქლორირების ხაზები. სადგური ტექნოლოგიური პროცესების, ასევე შესრულების დონის მიხედვით წარმოადგენს თანამედროვე ტიპის ნაგებობათა ერთიანობას. წარმოებს წყლის მექანიკური გაწმენდა, შემდეგ კი გაუვნებელყოფა ქლორით. დამონტაჟებულია წყლის ხარისხის მაკონტროლებელი ავტომატიზირებული ლაბორატორია, რომელიც წყალს უწყვეტ რეჟიმში, ციფრული ტექნოლოგიების გამოყენებით ამოწმებს. ღრმაღელის გამწმენდი ნაგებობა 1985 წლიდან ფუნქციონირებს. აქვე მოქმედებს ცენტრალური ქიმიურ-ბაქტერიოლოგიური ლაბორატორიები [11].

გრუნტის წყლები უმთავრესად სასმელი წყლის მიწოდებისათვის გამოიყენება, რადგანაც ისინი ბუნებრივად უფრო სუფთაა და გასაწმენდად უფრო ნაკლებ ინვესტიციას საჭიროებს. ამჟამად გრუნტის და ზედაპირული წყლების სასმელ წყლად გამოყენების თანაფარდობა თბილისში შემდეგია 60%:40%. გრუნტის წყლების ამოღება უმთავრესად მდინარე არაგვის აუზიდან ხდება, ხოლო ორი დიდი წყალსაცავი - ჟინვალი და თბილისის ზღვა, ზედაპირული წყლის ამოღებისათვის გამოიყენება [12].

ქ. თბილისის წყალსადენის სიტუაციური სქემა



მოყვანილია ნახაზზე (ნახ. 3.). XX საუკუნის პირველ ნახევარში შესაძლებელი იყო იმის განსაზღვრა, თუ თბილისის რომელ ნაწილს საიდან მოეწოდებოდა სასმელი წყალი. ამჟამად, საიდან მოგვეწოდება წყალი - ბულაჩაურიდან, ნატახტრიდან, საგურამოდან თუ ჟინვალიდან შეუძლებელია, რადგან არაგვის ხეობიდან ქალაქში ერთიანად შემოედინება სასმელი წყალი და ქსელების მეშვეობით ნაწილდება. მნიშვნელოვანია, რომ დედაქალაქის ნებისმიერი უბნისთვის მიწოდებული სასმელი წყალი მაღალი ხარისხისაა და აბსოლუტურად შეესაბამება საერთაშორისო სტანდარტებს [11].

I თავი. ლიტერატურის მიმოხილვა

1.1. პრობლემის აქტუალობა

დღეისათვის სხვადასხვა ქვეყნებში რადონით დასხივების პრობლემას დიდი ყურადღება ეთმობა. დეტალურად შეისწავლება ქვეყნების სხვადასხვა რეგიონები და იქმნება რადონის აქტივობის დონის რუკები, ვლინდება ტერიტორიები რადონის მაღალი კონცენტრაციებით სხვადასხვა ობიექტებში - ნიადაგის ჰაერში, ატმოსფეროს ჰაერში და სხვადასხვა შენობების შიგნით არსებულ ჰაერში, ასევე სხვადასხვა ტიპის წყლებში - მიწისქვეშა, წყაროს, მდინარის, ტბის და ა.შ.

ცხრილში (ცხრილი 1) მოყვანილია სხვადასხვა ქვეყნების წყალსადენის წყლებში რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები.

ცხრილი 1. რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების წყალსადენის წყლებში

#	რეგიონი, ქვეყანა	A, Bq/L		ლიტ.
		mn	mx	
1	კულაჩი, პაკისტანი	0.602	1.218	[13]
2	მაშჰადი, ირანი			[14]
3	თეირანი, ირანი			[15]
4	ლაჰორი, პაკისტანი	2.0	7.9	[16]
5	ბულგარეთის სხვადასხვა რეგიონები (ჰასკოვო, სმოლიანი, კუსტენდილი, ბლაგოევგრადი, სოფია)	1.17±0.40	185.5±10.4	[17]
6	აშშ.-ს სხვადასხვა შტატები	0	>500	[18]

ცხრილში (ცხრილი 2) მოყვანილია სხვადასხვა ტიპის წყლებში რადონის შემცველობის და სასმელ წყალში რადონით გამოწვეული რადიოლოგიური დოზის ზოგიერთი ლიტერატურული მონაცემი.

ცხრილი 2. სხვადასხვა ქვეყნების ზედაპირულ წყლებში რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები და წლიური ეფექტური დოზები

#	ქვეყანა (რეგიონი)	წყლის ტიპი	A, Bq/L			AED, $\mu\text{Sv/y}$						ლი ტ.
						მიღებისას			ინჰალაციისას			
			av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	
1	ინდოეთი (რაჯასტანი)	WUn	3.3	1.6	5.4	-	0.29	0.97	-	4.00	13.50	[19]
2	ლებანონი (ბერიუთი, მოუნტ ლებანონი, ბეჟა და ა.შ.)	WSp	29.0	9.8	49.6	-	-	-	-	-	-	[20]
		WW	7.29	0.91	19.88							
3	ირანი (მაშჰადი)	WSp	16.1	12.62	20.65	-	-	-	-	-	-	[21]
4	თურქეთი (ქ.ტოკატი)	WSp	-	0.13	1.20	-	-	-	3.0	-	-	[22]
5	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები)	WW	92	-	3800	-	-	-	-	-	-	[23]
6	ესპანეთი (ესტრემადურა)	WW, WSp	98	0.15	1200	-	0.42	3300	-	2.1	13000	[24]
7	შვეცია (სტოკჰოლმი)	WA	-	3.7	5800	-	-	-	-	-	-	[25]
8	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები)	WA	1020	-	77000	-	-	-	-	-	-	[23]
9	პაკისტანი (ქ. კულაჩი)	WW	1.218	0.670	1.455	8.89	-	-	-	-	-	[26]
10	ირანი (შანდიზი, ზოშკი და აბრდეჰი)	WR	-	0	18.578	-	-	-	-	-	-	[27]
11	ინდოეთი (ქ. მაისორე)	WA	-	0.1	643.9	-	-	0.113	-	-	1.62	[28]
12	პოლონეთი (სამხრეთ ნაწილი)	WW	207	<3	1378	-	-	289	-	-	-	[29]
13	პოლონეთი (ზელიონაია გორა)	WSp	283	264	302	-	-	-	-	-	-	
14	ინდოეთი (კერალა)	WW	0.29	0.03	1.31	1.55	0.18	6.86	0.74	0.08	3.29	[30]
15	პოლონეთი (სუდეტის მთები)	WSp	-	6	227	-	3.9	145	-	-	-	[31]

ცხრილში (ცხრილი 3) მოცემულია მონაცემები რადონის შემცველობის შესახებ ნიადაგის ჰაერში.

ცხრილი 3. რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების ნიადაგის ჰაერში

#	ქვეყანა (რეგიონი)	A, kBq/m ³			ლიტ.
		av	mn.	mx.	
1	კანადა (ოტავა)	-	6.8	74.7	[32]
2	პაკისტანი:				[33]
	• ისლამაბადი	45.08±7.54	17.34	72.52	
	• მურე	1.70±0.32	0.69	3.89	
3	ინდოეთი (ზემო სივალეკი)	-	11.5	78.47	[34]
4	ინდოეთი (პუნჯაბი, როჰარი)	-	11.6	27.4	-“-
5	კორეა (ცენტრალური ნაწილი)	-	13.5	26.1	[35]
6	იტალია (იუდინის პროვინცია)	-	6.4	406.7	[36]

1.2. რა არის ცნობილი ამ პრობლემის შესახებ

წყლის ხარისხის პრობლემას უჭირავს განსაკუთრებული, განმსაზღვრელი ადგილი ბუნებისა და მოსახლეობის ჯანმრთელობის დაცვის სისტემაში. ხარისხიან წყალს საჭიროებს მრეწველობა, სოფლის მეურნეობა და ა.შ.. წყალი მუდამ იყო შესწავლის და შემოწმების ობიექტი ძველთაძველი დროიდან.

ყოველივე აქედან გამომდინარე სასმელი წყლის ხარისხის შესწავლა, განსაკუთრებით ისეთ მსხვილ დასახლებულ რეგიონში, როგორცაა თბილისი და მისი მიდამოები, თანამედროვე მეთოდებისა და აპარატურის გამოყენებით, წარმოადგენს წყლის რესურსების ეკოლოგიური მდგომარეობის მნიშვნელოვან პრობლემას ჩვენი ქვეყნისათვის.

საქართველოში რადონის პრობლემას არ ექცევა საჭირო ყურადღება. შესრულებული კვლევები ტარდებოდა ძირითადად რადონის აღმოჩენისათვის ჰაერში. პრაქტიკულად არ არსებობს რადონის შემცველობის მონაცემები ბუნებრივ და სასმელ წყალში.

აღსანიშნავია, რომ ვერ იქნა მოძიებული მონაცემები სასმელი (წყალსადენის) წყლის როგორც ბუნებრივი ისე ანთროპოგენური ხასიათის რადიოაქტივობის შესახებ. ეს საკითხები ინტერესს წარმოადგენენ

განსაკუთრებით იმ ფაქტორის გათვალისწინებით, რომ ქ. თბილისის სხვადასხვა რაიონებში და მის მიდამოებში წყალი მიეწოდება წყალმომარაგების სხვადასხვა წყაროებიდან.

რადონის შემცველობის კვლევა, ზედაპირულ წყლებში და ნიადაგის ჰაერში, საქართველოში პრაქტიკულად არ ჩატარებულა. რადონთან დაკავშირებით გამოქვეყნებული ზოგიერთი ნაშრომი ძირითადად ეხება საქართველოში რადონისა და თორონის დაშლის პროდუქტების შემცველობას სხვადასხვა ღია ადგილებში და საცხოვრებელ შენობებში. მაგალითად, ნაშრომში [37] მოყვანილია ზოგიერთი შედეგი რადონისა და თორონის დაშლის პროდუქტების შემცველობის შესახებ საქართველოს სხვადასხვა ღია ადგილებში (მათ შორის გაგრაში, პიცუნდაში, ქუთაისში, თბილისში და სხვა ადგილებში). კერძოდ მოყვანილია ხანმოკლე დაშლის პროდუქტების შემცველობა ($0.02-0.1 \text{ pCi/l}$), თუმცა არ არის მოყვანილი განსაზღვრის მეთოდოლოგია, ამიტომ შედეგები იწვევენ გარკვეულ ეჭვს. ნაშრომში [38], საერთაშორისო მონაცემების საფუძველზე, ჩატარებულია მოსახლეობის რადონით დასხივების შეფასება. ამასთან ერთად ნაშრომში აღნიშნულია, რომ ბუნებრივი რადიაციული ფონის გავლენა ცოცხალი ორგანიზმების სასიცოცხლო პროცესებზე, აქამდე რჩება ერთ-ერთ ყველაზე ნაკლებად შესწავლილ საკითხად და თავისთავად წარმოადგენს ორგანიზმის მცირე დოზებით იონიზაციური დასხივების გავლენის პრობლემის მნიშვნელოვან ნაწილს.

პრაქტიკულად არ არსებობს მონაცემები რადონის შემცველობაზე სასმელ (წყალსადენის) წყალში.

ნაშრომში [39] ნაჩვენებია, რომ თბილისის სხვადასხვა ტიპის სასმელ წყლებში რადონის შემცველობა იცვლება დიაპაზონში 3-5 ბკ/ლ, მაშინ, როდესაც რადონის კონცენტრაციამ ჰიდროგეოლოგიური და თერმული ჭაბურღილების წყლებში შეადგინა 5-19 ბკ/ლ.

ნაშრომში [40] მოყვანილია ზოგიერთი შედეგი წყალში და ნიადაგში რადონის შემცველობის შესახებ. გამოვლინდა რამოდენიმე რაიონი

რადონის ანომალურად მაღალი ექსპლაცით, როგორც წყალში, ასევე ნიადაგში. რადონის კონცენტრაცია ნიადაგში აღმოჩნდა 13.85 კბკ/მ3-დან (სენაკი) 90 კბკ/მ3-მდე (ჩოხატაური) დიაპაზონში, წყალში კი შეადგინა 16 - 22 ბკ/ლ (ვანი, ჩოხატაური, ოზურგეთი). აღნიშნულია, რომ წყალტუბოს რეგიონის წყლებში რადონის შემცველობა აჭარბებს ამ სიდიდეს (სამწუხაროდ, ავტორებს არ მოჰყავთ კონკრეტული მნიშვნელობები).

ნაშრომში [41] პირველად არის მოყვანილი ქ. თბილისის სხვადასხვა რაიონში რადიოაქტიური აირის რადონის $Rn-222$ -ს სასმელ (წყალსადენის) წყალში შემცველობის ხანგრძლივი პერიოდული (2008 წლის ოქტომბრიდან 2009 წლის ივნისამდე) დაკვირვების შედეგები. ნაჩვენებია, რომ სასმელ წყალში რადონის შემცველობის დონის მიხედვით ქალაქის რაიონები შეიძლება ორ ჯგუფად დაიყოს: რადონის შედარებით დიდი შემცველობით ~ 1 ბკ/ლ-ზე მეტი (ვაკე, საბურთალო, ისანი, ორთაჭალა) და რადონის შედარებით მცირე შემცველობით ~ 1 ბკ/ლ-ზე ნაკლები (დილომი, ვაზისუბანი). განსხვავება ერთ რიგს აღწევს. აღნიშნულია, რომ ეს გარემოება შეიძლება დაკავშირებულია თბილისის სასმელი წყლით მომარაგების ორ ხარისხობრივად განსხვავებული წყაროს არსებობით – მიწისქვეშა (არტეზიული ქაბურღილები დასახლებულ პუნქტებთან ნატახტარი, ბულაჩაური, მუხრანი) და ზედაპირული (თბილისის წყალსაცავი, რომელიც ივსება მდინარეების არაგვის და იორის წყლებით). მითითებულ წყაროებში რადონით აერაციის და დეგაზაციის პრობები მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან, რაც იწვევს რადონის აღნიშნული განაწილების თავისებურებას.

ამგვარად, შეიძლება ჩაითვალოს, რომ საქართველოში სამუშაოს პრობლემატიკასთან დაკავშირებული სამუშაოები ჩატარებულია მცირე მასშტაბით. აღნიშნულ სამუშაოში მიღებულ შედეგებს, რადონის შემცველობის შესახებ გარემოს ერთ-ერთ ძირითად ობიექტში - სასმელ და ზედაპირულ წყლებში, ასევე ნიადაგის ჰაერში, დიდი მნიშვნელობა ექნება, როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

სამუშაოს სიახლე გამოიხატება, პირველი საინფორმაციო მონაცემთა ბაზის შექმნაში, რადონის შემცველობის შესახებ სხვადასხვა ბუნებრივ ობიექტებში - ზედაპირულ წყლებში, სასმელ წყლებში, ნიადაგის ჰაერში, და ასევე დოზური პარამეტრების დადგენა და ა.შ. საქართველოს დედაქალაქის - თბილისის მიდამოებში.

II თავი. ამოცანის დასმა და კვლევის ობიექტი

2.1. ამოცანის დასმა

როგორც ცნობილია, საქართველოს ტერიტორიაზე გრუნტის წყლები უხვად არის წარმოდგენილი. ბევრ ადგილას გავრცელებულია დაბალი მინერალიზაციის (1 გრ/ლ-მდე) ჰიდროკარბონატულ-კალციუმიან-მაგნიუმიანი შემადგენლობის გრუნტის წყლები, რომლებიც კარგი სასმელი თვისებებით ხასიათდებიან.

საქართველოს ტერიტორიის ნაწილი უკავია საქართველოს და აზერბაიჯანის ბელტების ჰიდროგეოლოგიურ ოლქს. ძირითად წყალშემცავ ჰორიზონტებს აქ წარმოადგენს ზედა იურული, ცარცული და მესამეული ასაკის ქანების კომპლექსები, რომლებითაც არის აგებული თბილისის, ქართლის, მარნეულ-გარდაბნის, იორის და სხვა არტეზიული აუზი. ამ აუზების უმეტესი ნაწილი 1944 - 1948 წლებშია გამოვლენილი. არტეზიული აუზებით იკვებება მრავალრიცხოვანი წყარო (როგორც სასმელი, ისე მინერალური წყლების) საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე. გასულ საუკუნეში დადგენილ იქნა მათი ძირითადი ფიზიკურ-ქიმიური მახასიათებლები, მაგრამ, როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, ბუნებრივი რადიაციის სისტემატური მონაცემები არ არსებობს.

რადონის ტერიტორიული გავრცელების კვლევას, როგორც ზედაპირულ წყლებში, ასევე ნიადაგის აირში, რადონის კონცენტრაციაზე სხვადასხვა გარე ფაქტორის გავლენის შესწავლას და ა.შ. აქვს დიდი მნიშვნელობა. იმის გათვალისწინებით, რომ მრავალ ადგილას წყაროს წყლებს ხშირად იყენებენ სასმელად, მათი რადიოაქტიურობის შესწავლა ასევე წარმოადგენს ფრიად აქტუალურ პრობლემას.

რადიოაქტიური გამოსხივება საკმაოდ საშიშია ადამიანის ჯანმრთელობისათვის, რადონის სხვადასხვა ბუნებრივ ობიექტებში (მათ შორის წყალში, განსაკუთრებით სასმელ) გავრცელების კვლევა არის საგანი მრავალრიცხოვანი სამეცნიერო ნაშრომებისა ბევრ ქვეყანაში. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა სასმელ წყალს, რადგან სასმელი

წყლისთვის ხშირად გამოიყენება როგორც ზედაპირულ წყლები, ასევე მიწისქვეშა წყლები, სადაც დადგენილია, რომ რადონის კონცენტრაცია ($> 1000 \text{ Bq/L}$) ბევრად აღემატება მის შემცველობას ზედაპირულ წყლებში ($0,1 - 1,0 \text{ Bq/L}$), ამიტომ ამ ამოცანის შესწავლა წარმოადგენს სერიოზულ პრობლემას ადამიანის ჯანმრთელობის დაცვის სფეროსთვის და არის მრავალი კვლევის საგანი.

საქართველოში რადონის შემცველობა სხვადასხვა ბუნებრივ ობიექტებში და გავრცელების მექანიზმი ნაკლებად არის შესწავლილი. აქედან გამომდინარე სადისერტაციო ნაშრომის ძირითად ამოცანად აღებული იყო რადონის შემცველობის კვლევა სხვადასხვა ბუნებრივ ობიექტებში, კერძოდ:

- ქ. თბილისის სხვადასხვა რაიონში - დიდი დილომი, ვაკე, საბურთალო, გლდანი, ორთაჭალა, ავჭალა, ისანი, სამგორი და.ა.შ. – სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის შემცველობის წლიური განაწილების კვლევა;
- ქ. თბილისის გეოგრაფიულ არეალში რადონის შემცველობის განაწილება სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროები, ჭები, ტბები, წყალსაცავები და ა.შ.);
- ქ. თბილისის გეოგრაფიულ არეალში თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე ნიადაგის ჰაერში რადონის შემცველობის და მიმდებარე ტერიტორიის დოზიმეტრიის სპეციალური კვლევები;
- წყლის და ნიადაგის სპეციალურად აღებულ ნიმუშებში რადიონუკლიდური შედგენილობისა და აქტივობის კონცენტრაციის კვლევები;
- რადონის და მისი დაშლის პროდუქტების ალფა- და გამა-აქტიურობის კორელაციური კავშირების კვლევა;
- სხვადასხვა ობიექტში რადონის შემცველობის განაწილების თავისებურებების და კანონზომიერებების დადგენა;

- მოსახლეობისათვის რადიაციული რისკის შეფასება.

2.2. კვლევის ობიექტი

2.2.1. წყალსადენის (თბილისის) წყალი

აღნიშნული ამოცანის შესასრულებლად შესწავლილი იყო ქ. თბილისის სასმელი წყლით უზრუნველყოფის მდგომარეობა და დადგინდა, რომ ამ მიზნებისთვის გამოიყენება როგორც ზედაპირული, ასევე მიწისქვეშა წყლები, კერძოდ (ნახ. 3):

- ზედაპირული წყაროები - 7 წყარო (ქინვალის წყალსაცავი, ბოდორნის საბუფერო აუზი, ბულაჩაურის წყალსადენი, საგურამოს წყალსადენი, თბილისის წყალსაცავი, სამგორის გამწმენდი ნაგებობა, ღრმაღელეს გამწმენდი ნაგებობა);
- მიწისქვეშა წყაროები - 4 წყარო (ჭოპორტ-მისაქციელის წყალსადენი, ნატახტარის წყალსადენი, ნატახტარის ახალი წყალსადენი, მუხრანის ველის არტეზიული წყალსადენი).

ქალაქის მთელი ტერიტორიის წყალმომარაგების სისტემა დაყოფილია 4 სპეციფიკურ ზონად (ნახ. 3), რომელთა წყალმომარაგება უზრუნველყოფილია, შესაბამისად ოთხი ზონალური წყალსადენით. ზონალური წყალსადენები, ძირითადად მდებარეობენ ერთმანეთის პარალელურად, მდ. მტკვარის მარცხენა და მარჯვენა სანაპიროზე. ზონალური წყალსადენებიდან წყლები ხვდებიან ზონალურ რეზერვუარებში, წყალსაქარ სადგურებში და შემდგომ ქალაქის წყალსადენის მაგისტრალებში, საიდანაც უშუალოდ ხვდებიან მომხმარებელთან. ყველა მაგისტრალი წარმოადგენს წყალმომარაგების ერთიან სისტემას, რაც საშუალებას იძლევა აუცილებლობის შემთხვევაში მომხმარებელს წყალი მიეწოდოს სხვადასხვა ზონალური სისტემებიდან. ამიტომ აქტუალური იყო შესწავლა, როგორც წყალში რადონის შემცველობის სიდიდისა, ასევე ქ. თბილისში მისი ტერიტორიული

განაწილება. ასეთი კვლევა საშუალებას მოგვცემდა დაგვედგინა, როგორ ნაწილდებოდა ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლები (რომლებიც როგორც ზემოთ აღინიშნა მკვეთრად განსხვავდებოდნენ რადიოაქტივობით) ქალაქის სხვადასხვა ტერიტორიულ უბნებზე.

ამ ამოცანის შესასრულებლად ქ. თბილისის ტერიტორიულ ადმინისტრაციული დაყოფის და მოსახლეობის განაწილების ანალიზის საფუძველზე შერჩეული იქნა წყლის ადების საკონტროლო პუნქტები, კერძოდ, 118, რომლებიც ძირითადად მდებარეობენ ქალაქის სხვადასხვა ისტორიულ ტერიტორიულ ერთეულებზე - სულ 52 ტერიტორიული ერთეული, მდინარე მტკვრის, როგორც მარცხენა, ასევე მარჯვენა სანაპიროზე (მაგ. პატარა დიღომი, დიღმის მასივი, დიდი დიღომი, სოფ. დიღომი, ვაშლიჯვარი და ა.შ. (ცხრილი 4). დადგენილ საკონტროლო პუნქტებში პერიოდულად ხდებოდა ნიმუშების აღება.

ცხრილი 4. ქ.თბილისის ისტორიული ტერიტორიული ერთეულების ჩამონათვალი

#	T	#	T	#	T	#	T
1	პატარა დიღომი	14	კოსტავას ქ.	27	წავკისი	40	ისანი
2	დიღმის მასივი	15	ბაგები	28	ოქროყანა	41	ვაზისუბანი
3	აგრარული უნივერსიტეტი	16	ვაკე	29	ზაჰესი	42	ვარკეთილი
4	დიდი დიღომი	17	ვერა	30	ავჭალა	43	დამბალო
5	სოფ. დიღომი	18	მთაწმინდა	31	გლდანი	44	ორხევი
6	ვაშლიჯვარი	19	სოლოლაკი	32	მუხიანი	45	დიდუბე
7	გოთუას ქ.	20	ორთაჭალა	33	თემქა	46	ქვემო ჩულურეთი
8	ვეძისი	21	ქვემო ფონიჭალა	34	სანზონა	47	ავლაბარი
9	ნუცუბიდის მიკრორაიონები	22	ზემო ფონიჭალა	35	ნაძალადევი	48	ნავთლული
10	ვაჟა ფშაველას კვარტლები	23	სოფ. ფონიჭალა	36	ზემო ჩულურეთი	49	სამგორი
11	ყაზბეგის გამზ.	24	წყნეთი	37	სვანეთის უბანი	50	ალექსეევკა
12	საბურთალოს ქუჩა	25	კოჯორი	38	ელია	51	აეროპორტის დასახლება
13	ბახტრიონი	26	ტაბახმელა	39	ზემო ავლაბარი	52	ლილო

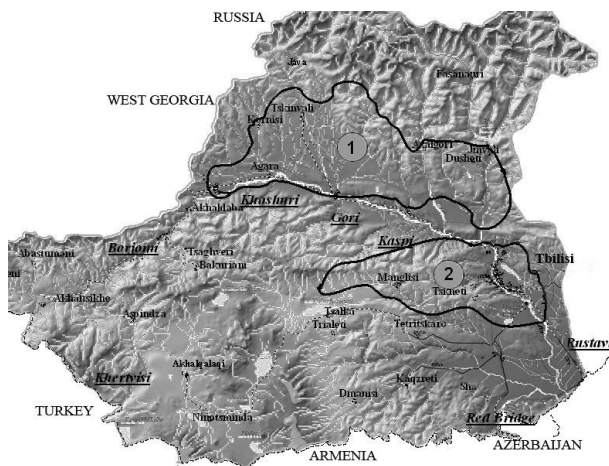
შედარებისათვის ასევე შერჩეული იქნა ზოგიერთი ახლომდებარე დასახლებული პუნქტი ქ. თბილისის ფარგლებს გარეთ - სულ 10 საკონტროლო პუნქტი: ქ. რუსთავი, გარდაბანი, მცხეთა (3 საკონტროლო

პუნქტი), ნატახტარი (2 საკონტროლო პუნქტი), წეროვანი, დუშეთი, ბულაჩაური. ზემოთ მითითებულ საკონტროლო პუნქტებში წყალში რადონის შემცველობის დასადგენად პერიოდულად (ზოგიერთ პუნქტში ყოველთვიურად) ხდებოდა სასმელი (წყალსადენის) წყლის საკონტროლო ნიმუშების აღება.

2.2.2. ზედაპირული წყალი

2.2.2.1. თბილისის არტეზიული აუზი

აღმოსავლეთ საქართველოში რამდენიმე არტეზიული აუზი



მდებარეობს [42], რომლებიც კვებავენ აღნიშნულ ტერიტორიაზე არსებულ ბუნებრივ წყაროებს. მათი ბუნებრივი რადიოაქტივობის კვლევა მნიშვნელოვანია, როგორც სამეცნიერო, ასევე პრაქტიკული თვალსაზრისით.

ნახ. 4. ქართლის (1) და თბილისის (2) არტეზიული აუზები აღმოსავლეთ საქართველოში

პირველ რიგში მნიშვნელოვანია ქართლისა და

თბილისის არტეზიული აუზების წყლები, რომლებიც მდებარეობენ ქ.თბილისის ჩრდილოეთით და სამხრეთით (იხ.ნახ. 4.).

ამ ზონაში, მაგ. თბილისის მიდამოებში დასახლებულ პუნქტებში, როგორცაა წყნეთი, კოჯორი, ოქროყანა, შინდისი და ა.შ. მდებარეობენ წყაროები, რომლებიც მოსახლეობის მიერ გამოიყენება სასმელად.

წყაროს წყლებში კვლევების საწყისი შედეგები მოყვანილია ნაშრომში [43]. ზედაპირული წყლების (წყაროს, არტეზიული, მდინარი და ა.შ.) კვლევის ფარგლებში ქართლისა და თბილისის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე შერჩეული იქნა საკონტროლო პუნქტები. ამავე ადგილებში

ხდებოდა ნიადაგურ ჰაერში რადონის გაზომვები, ასევე გროვებოდა ნიადაგის ნიმუშები ლაბორატორიული ანალიზისათვის.

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასახლებული პუნქტების ზედაპირული წყლები, რომლებიც მდებარეობენ თბილისის (21 საკონტროლო პუნქტი) არტეზიულ აუზში. საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 5). დადგენილ საკონტროლო პუნქტებში პერიოდულად ხდებოდა ნიმუშების აღება (ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სეზონური დამოკიდებულების კვლევისათვის ნიმუშების აღება ხდებოდა ყოველთვიურად).

ცხრილი 5. თბილისის არტეზიულ აუზში გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები

#	CP	ST	WD, L/s	Ad	GC
1	T-D-Bt-1	WSp-1	0.02	ბეთანია	41°40'05" N, 44°39'03" E
2	T-D-Kj-1	-"	0.57	კოჯორი	41°39'41" N, 44°42'12" E
3	T-D-Okr-2	-"	-	ოქროყანა, ხიდის ქვეშ	41°41'12" N, 44°45'47" E
4	T-DzT-Sl-1(a)	-"	0.06	სოლოლაკი, მარო მაყაშვილის აღმართი	41°41'18" N, 44°47'25" E
5	T-DzT-Sl-1(b)	-"	0.09	-"	-"
6	T-DzT-Sl-1(c)	-"	0.07	-"	-"
7	T-GN-Av-1	WSp-2	1.41	სკოლის ქ.20	41°49'10" N, 44°47'09" E
8	T-D-Ts-1	-"	0.28	წყნეთი	41°40'50" N, 44°41'34" E
9	T-D-Kj-3	-"	0.19	-"	41°39'24" N, 44°42'11" E
10	T-D-Tkh-1	-"	-	ტაბახმელა	41°39'16" N, 44°44'54" E
11	T-D-Tkh-2	-"	-	-"	41°39'19" N, 44°45'04" E
12	T-D-Sh-1	-"	0.46	შინდისი	41°39'51" N, 44°46'16" E
13	T-D-Okr-1	-"	0.02	ოქროყანა, ბესიკის ქ. 6-თან ახლოს	41°41'20" N, 44°46'35" E
14	T-D-Okr-3	-"	-	ოქროყანა, ბესიკის ქ.6	41°41'20" N, 44°46'35" E
15	T-D-Okr-4	-"	1.33	ოქროყანა, სკოლა	41°41'17" N, 44°46'34" E
16	T-IS-DL-1	-"	-	სოფ. დიდი ლილო, ეკლესია	41°44'29" N, 44°57'49" E
17	T-IS-DL-2	-"	-	სოფ. დიდი ლილო	41°44'29" N, 44°57'49" E
18	T-D-Bt-3	WR	-	ბეთანია	41°40'05" N, 44°39'03" E
19	T-DzT-Sl-2	-"	-	სოლოლაკი, მარო მაყაშვილის აღმართი	41°41'18" N, 44°47'25" E
20	T-DzT-Ort-7	-"	-	ორთაჭალა, აბანოს ქუჩა, მდ. წავკისისწყალი	41°41'12" N, 44°48'37" E
21	T-VS-Ls-1	WL	-	ლისის ტბა	41°44'26" N, 44°44'16" E

შენიშვნა:

1. ერთი ტიპის ზედაპირული წყლების საკონტროლო პუნქტები განლაგებულია გეოგრაფიული ნიშნით – ჩრდილოეთ-დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით.

2. საკონტროლო პუნქტების თავისებურებანი:

T-D-Bt-1 - მილი (ონკანის გარეშე), დაკავშირებული ბეტონის ავზთან – წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი ავზში გროვდება უშუალოდ მიწისქვეშიდან;

T-D-Kj-1 - მილი (ონკანის გარეშე) გამოდის მიწიდან - წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი მიეწოდება უშუალოდ მიწისქვეშიდან;

T-D-Ok-2 - მილი (ონკანის გარეშე) გამოდის მიწიდან - წყალი მოედინება უწყვეტად (მილი განლაგებულია საავტომობილო ხიდის ქვეშ, სავარაუდოდ წყაროს ზონაში);

T-DzT-Sl-1(a), T-DzT-Sl-1(b), T-DzT-Sl-1(c) – მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში (გვერდზე – ჩანჩქერი) - წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი მიეწოდება უშუალოდ მიწისქვეშიდან;

T-GN-Av-1 – მილი (ონკანის გარეშე) ორი გამოსასველით, დამაგრებული ბეტონის კედელში; წყალი მიეწოდება წყაროდან მილით; წყარო განლაგებულია დაახლოებით 4-5 კმ-ით მთაზე;

T-D-Ts-1 – მილი (ონკანით), დამაგრებული ბეტონის კედელში; წყალი მიეწოდება წყაროდან დაახლოებით 1 კმ სიგრძის მილით);

T-D-Kj-3 – მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში - წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი მიეწოდება სავარაუდოდ წყაროდან რომელიც განლაგებულია რამოდენიმე ათეული მეტრის მოშორებით;

T-D-Tkh-1– მილი (ონკანით), დადგმული საცხოვრებელი სახლის ეზოში (წყალი მიეწოდება მილით დაახლოებით 1 კმ სიგრძის);

T-D-Tkh-2 - მილი (ონკანით), დამაგრებული ბეტონის კედელში (ზაფხულობით წყალი წყდება დაშრომის შედეგად, ხოლო ზამთარში მილის გაყინვის გამო); წყალი მიეწოდება წყაროდან, რომელიც განლაგებულია სავარაუდოდ რამოდენიმე ასეული მეტრის მოშორებით);

T-D-Sh-1 – მილი (ონკანით) შეერთებული ბეტონის ავზთან; წყალი მიეწოდება მილით წყაროდან, რომელიც განლაგებულია 2-3 კმ-ის მოშორებით მთაზე);

T-D-Ok-1 – მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში; წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი მიეწოდება ავზიდან, რომელშიც გროვდება წყაროდან, რომელიც განლაგებულია სავარაუდოდ რამოდენიმე ათეული მეტრის მოშორებით;

T-D-Ok-3 - მილი (ონკანის გარეშე), დაყენებული აგარაკის ეზოში - წყალი მოედინება უწყვეტად, მიეწოდება ავზიდან, რომელიც განლაგებულია სახლის ქვეშ დაახლოებით 20 მ-ის მოშორებით;

T-D-Ok-4 - მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში - წყალი მოედინება უწყვეტად; წყალი მიეწოდება ავზიდან, რომელიც განლაგებულია დაახლოებით 50 მეტრის მოშორებით;

T-IS-DL-1 – მილი (ონკანით), დაყენებული ეკლესიის ეზოში (მარიამ ღვთისმშობლის მიძინების ეკლესია); წყალი მიეწოდება ავზიდან, რომელიც იკვებება ნასაგურის წყაროდან თიხის მილებით დაახლოებით 2-3 კმ-დან;

T-IS-DL-2 – წყალსადენის წყალი; წყალი მიეწოდება ავზიდან, რომელიც იკვებება წყაროდან (მეფე ერეკლეს წყარო) მილებით დაახლოებით 2-3 კმ-დან;

T-D-Bt-3 – პატარა მდინარე;

T-DzT-Sl-2 – მდინარე წავკისის წყალი აბანოთუბანში;

T-DzT-Ort-7 – ჩანჩქერი;

T-VS-Ls-1 – ტბა (ზომები 800 მ X 550 მ).

2.2.2.2. ქართლის არტეზიული აუზი

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა დასახლებული პუნქტების ზედაპირული წყლები, რომლებიც მდებარეობენ ქართლის (23 საკონტროლო პუნქტი) არტეზიულ აუზში. საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 6). დადგენილ საკონტროლო პუნქტებში პერიოდულად ხდებოდა ნიმუშების აღება (ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სეზონური დამოკიდებულების კვლევისათვის ნიმუშების აღება ხდებოდა ყოველთვიურად).

ცხრილი 6. ქართლის არტეზიულ აუზში გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები

#	CP	ST	WD, L/s	Ad	GC
1	K-BI-3	WSp-1	0.10	ბულაჩაური	42°00'34" N, 44°45'34" E
2	K-BI-5	"-	0.42	"-	42°00'34" N, 44°45'34" E
3	K-BI-6	"-	-	"-	42°00'34" N, 44°45'34" E
4	K-Bd-1	"-	0.48	ბოდორნა	42°03'19" N, 44°44'38" E
5	K-Mts-1	WSp-2	0.26	მცხეთა, აღმაშენებლის ქ. 124	41°50'33" N, 44°43'01" E
6	K-BI-2	"-	0.22	ბულაჩაური	42°00'34" N, 44°45'30" E
7	K-A-1	"-	-	ალი	42°05'10" N, 43°38'55" E
8	K-Mts-2	WW	-	მცხეთა, სვეტიცხოველი	41°50'32" N, 44°43'15" E
9	K-Ms-1	"-	-	მისაქციელი	41°55'39" N, 44°43'39" E
10	K-Ms-3	"-	-	"-	41°55'56" N, 44°43'55" E
11	K-Tsv-1	"-	-	წვერი	42°04'18" N, 43°53'08" E
12	K-Kv-1	"-	-	ქვენატკოცა	42°02'41" N, 43°49'03" E
13	K-Ms-2	WA	-	მისაქციელი	41°56'10" N, 44°44'06" E
14	K-Ms-4	"-	-	"-	41°56'40" N, 44°44'21" E
15	K-Ms-6	"-	-	"-	41°55'60" N, 44°43'55" E
16	K-Ms-7	"-	-	"-	41°57'15" N, 44°44'34" E
17	K-Sh-1	"-	-	შინდისი	42°07'47" N, 44°00'33" E
18	K-Sh-2	"-	-	"-	42°07'45" N, 44°00'00" E
19	K-Sh-3	"-	-	"-	42°07'56" N, 44°00'34" E
20	K-Sh-4	"-	-	"-	42°07'53" N, 43°59'17" E
21	K-Ts-1	WR	-	წითელსოფელი	41°58'10" N, 44°44'49" E
22	K-BI-1	"-	-	ბულაჩაური	42°00'33" N, 44°45'31" E
23	K-BI-4	WRs	-	"-	42°00'33" N, 44°45'32" E

შენიშვნა:

- ერთი ტიპის ზედაპირული წყლების საკონტროლო პუნქტები განლაგებულია გეოგრაფიული ნიშნით – სამხრეთ-აღმოსავლეთიდან ჩრდილოეთ-დასავლეთის მიმართულებით;
- საკონტროლო პუნქტების თავისებურებანი:
K-BI-3, K-BI-5, K-BI-6 – მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში ბულაჩაურის რესტორნის ეზოში, წყალი მიეწოდება მილში დრენაჟის გზით უშუალოდ წყაროს ადგილმდებარეობის ზონაში;

- K-Bd-1 – ბეტონის ნაგებობა ორი ღარით, რომლებზეც ჩამოიდინება წყალი უშუალოდ მიწისქვემიდან დაგროვების გარეშე;
- K-Mts-1 - მილი (ონკანის გარეშე), დაყენებული კერძო საცხოვრებელი სახლის ეზოში; წყალი მიეწოდება წყაროდან დაახლოებით 600 მ სიგრძის მილით;
- K-BI-2 – მილი (ონკანის გარეშე), დამაგრებული ბეტონის კედელში მდინარე არაგვის პირას; წყალი სავარაუდოდ მიეწოდება წყაროდან, რომელიც განლაგებულია რამოდენიმე ათეული მეტრის მოშორებით;
- K-A-1 – მილი (ონკანის გარეშე), რომელშიც წყალი მიეწოდება აუზიდან დაახლოებით 2 კმ სიგრძის მილით; წყალი აუზში გროვდება დრენაჟის გზით;
- K-Mts-2 – ჭა სვეტიცხოვლის ტაძარში;
- K-Ms-1 – ჭა 24 მ სიღრმის;
- K-Ms-3 – ჭა 34 მ სიღრმის;
- K-Tsv-1 – ჭა 9 მ სიღრმის;
- K-Kv-1 – ჭა 15 მ სიღრმის;
- K-Ms-2 – ჭაბურღილი ონკანით კერძო საცხოვრებელი სახლის ეზოში (ნიმუში აღებულია დაგროვილ ჭურჭლიდან);
- K-Ms-4 - ჭაბურღილი ონკანით კერძო საცხოვრებელი სახლის ეზოში (სიღრმე-52 მ);
- K-Ms-6 - ჭაბურღილი ონკანით კერძო საცხოვრებელი სახლის ეზოში (სიღრმე-60 მ);
- K-Ms-7 - ჭაბურღილი ონკანით კერძო საცხოვრებელი სახლის ეზოში (სიღრმე-60 მ);
- K-Sh-1 - ჭაბურღილი ონკანით ნაკვეთში (სიღრმე - 60 მ);
- K-Sh-2 - ჭაბურღილი ონკანით სახლის ეზოში (სიღრმე - 60 მ);
- K-Sh-3 - ჭაბურღილი ონკანით ქარხნის ეზოში (სიღრმე - 60 მ);
- K-Sh-4 - ჭაბურღილი ონკანით რკინიგზის სადგურთან (სიღრმე - 60 მ);
- K-Ts-1 - პატარა მდინარე;
- K-BI-1 - მდ. არაგვი;
- K-BI-4 - ბულაჩაურის წყალსაცავი.

2.2.3. სხვადასხვა ტიპის წყლის ნიმუშები (გამა-სპექტრომეტრული კვლევისთვის)

ცხრილი 7. გამა-სპექტრომეტრით გამოკვლეული წყლის ნიმუშების ჩამონათვალი

#	CP	ST	Ad	წყლის ტიპი
1	WSp-Tb (M)	WSp-1	კოჯორი	წყაროს წყალი
2	WT-Tb (M)	WT	ნატახტარი	წყალსადენის წყალი
3	Rust-WD (M)	WT	რუსთავი	სასმელი წყალი
4	WSp-Tb (M)	WSp-1	კოჯორი	წყაროს წყალი
5	WSp-Tb (M)	WSp-2	წყნეთი	წყაროს წყალი
6	WT-Vk	WT	ვაკე	წყალსადენის წყალი
7	WSp-5644-Sl-1(c)	WSp-1	სოლოლაკი	წყაროს წყალი

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა სხვადასხვა ტიპის სასმელი (წყალსადენის, წყაროს) წყლები, რომლებიც მდებარეობენ როგორც თბილისის, ასევე ქართლის არტეზიულ აუზებში. საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 7).

2.2.4. ნიადაგური აირი

კვლევის ობიექტებს წარმოადგენდა თბილისის (7 პუნქტი) და ქართლის (3 პუნქტი) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე არსებული ზედაპირული წყლების მიმდებარე ნიადაგი. საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 8).

ცხრილი 8. თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი, რომლებშიც გაზომილი იყო რადონი ნიადაგურ აირში და აღებული იყო ნიადაგის ნიმუშები იანვარი - დეკემბრის პერიოდში

#	CP	Ad	GC
1	T-D-Kj-2	დაბა კოჯორი	41°39'41" N, 44°42'12" E
2	T-D-Bt-4	დაბა ბეთანია	41°40'05" N, 44°39'03" E
3	T-D-Bt-2	"-	41°40'05" N, 44°39'06" E
4	T-D-Ts-2	დაბა წყნეთი	41°40'50" N, 44°41'34" E
5	T-DzT-Sl-3	სოლოლაკი, მარო მაცაშვილის აღმართი	41°41'18" N, 44°47'25" E
6	T-DzT-Sl-4	"-	41°41'18" N, 44°47'26" E
7	T-VS-Ls-3	ლისის ტბა	41°44'24" N, 44°44'28" E
8	K-Ms-5	მცხეთის რაიონი, სოფ. მისაქციელი	41°55'44" N, 44°43'52" E
9	K-Bl-7	დუშეთის რაიონი, სოფ. ბულაჩაური	42°00'33" N, 44°45'34" E
10	K-Bd-2	დუშეთის რაიონი, სოფ. ბოდორნა	42°03'19" N, 44°44'38" E

შენიშვნა:

1. საკონტროლო პუნქტები განლაგებულია გეოგრაფიული ნიშნით – სამხრეთიდან ჩრდილოეთის მიმართულებით.

2. საკონტროლო პუნქტების თავისებურებანი:

T-D-Kj-2 – საკონტროლო პუნქტის T-D-Kj-1 ახლოს;

T-D-Bt-2 – საკონტროლო პუნქტის T-D-Bt-1 ახლოს;

T-D-Bt-4 – საკონტროლო პუნქტის T-D-Bt-3 ახლოს;

T-D-Ts-2 – საკონტროლო პუნქტის T-D-Ts-1 ახლოს;

T-DzT-Sl-3 – საკონტროლო პუნქტების T-DzT-Sl-1(a), T-DzT-Sl-1(b), T-DzT-Sl-1(c) ახლოს;

T-DzT-Sl-4 – საკონტროლო პუნქტის T-DzT-Sl-2 ახლოს;

K-Ms-5 – საკონტროლო პუნქტის K-Ms-1 ახლოს;

K-Bl-7 – საკონტროლო პუნქტების K-Bl-3, K-Bl-5, K-Bl-6 ახლოს;

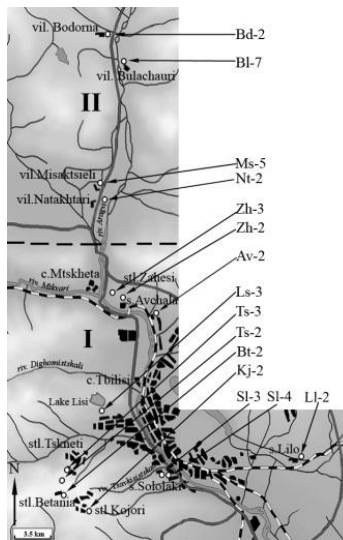
K-Bd-2 – საკონტროლო პუნქტის K-Bd-1 ახლოს.

2.2.5. ნიადაგი

თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე დასახლებულ საკონტროლო პუნქტებში (11 საკონტროლო პუნქტი) - დაბა წყნეთი (Ts), დაბა კოჯორი (Kj), ლილოს დასახლება (Ll), ზაჰესის დასახლება (Zh), ავჭალა (Av), დაბა ბეთანია (Bt), ლისის ტბა (Ls), სოლოლაკი (Sl) - სულ

აღებული იყო ნიადაგის 26 ნიმუში; ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე დასახლებულ საკონტროლო პუნქტებში (4 საკონტროლო პუნქტი) - სულ აღებული იყო ნიადაგის 9 ნიმუში (ნახ. 5., ცხრილი 9), კერძოდ:

- თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე:
 - ალუვიური კარბონატული (Al-Cr) - 6 ნიმუში;
 - ყავისფერი კარბონატული (Cn-Cr) - 9 ნიმუში;
 - ყავისფერი (Cn) - 8 ნიმუში;
 - რუხი-ყავისფერი (GC) - 3 ნიმუში;
- ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე:
 - ალუვიური კარბონატული (Al-Cr) - 9 ნიმუში.



ნახ. 5. ნიადაგის ნიმუშების აღების საკონტროლო პუნქტების განაწილება თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე

ცხრილი 9. ნიადაგის ნიმუშების აღების საკონტროლო პუნქტების (CP) ჩამონათვალი, ნიადაგის ნიმუშების ნომრები (SN) და მათი ტიპები (ST)

#	RD	CP	SD	Lt(N); Ln(E)	ST
თბილისის არტეზიული აუზი					
1	ქ. თბილისი, დაბა წყნეთი	Ts-1	წყნეთიდან გასასვლელ გზაზე (ავტობუსების ბოლო გაჩერებიდან დაახლოებით 100 მეტრში)	41.68028; 44.69153	Cn-Cr
2	"	Ts-2	ავტობუსების ბოლო გაჩერებასთან, წყაროდან დაახლოებით 20-30 მეტრში	41.68052; 44.69327	Cn-Cr

			ქვემოთ		
3	ქ. თბილისი, დაბა კოჯორი	Kj-1	გ. ტაბიძის 1-ლი ჩიხი, წყაროსთან, ბავშვთა ინტერნატის მიმდებარე ტერიტორიაზე	41.66133; 44.70335	Cn
4	ქ. თბილისი, ლილოს დასახლება	Ll-1	კახეთის გზატკეცილიდან დაახლოებით 300 მეტრში, ა. მგელაძის ქუჩის მიმდებარე ტერიტორია	41.69241; 44.98823	GC
5	ქ. თბილისი, ზაჰესის დასახლება	Zh-1	ავჭალის ქ., 62-ის მოპირდაპირე მხარეს, სკვერში	41.82641; 44.75507	Al-Cr
6	"-	Zh-2	დასახლებიდან გასასვლელ გზაზე, დაახლოებით 1კმ-ის მანძილზე	41.82860; 44.74047	Al-Cr
7	ქ. თბილისი, ავჭალა	Av-1	სკოლის ქ., წყაროსთან	41.81945; 44.78584	Al-Cr
8	ქ. თბილისი, დაბა ბეთანია	Bt-1	ავალიშვილის ქ., წყაროსთან	41.66809; 44.65187	Cn
9	ქ. თბილისი, ლისის ტბა	Ls-1	ტბასთან მიმდებარე ტერიტორია	41.73970; 44.74306	Cn-Cr
10	ქ. თბილისი, სოლოლაკი	Sl-1	მარო მაყაშვილის ქ., წყაროსთან	41.68830; 44.79018	Cn-Cr
11	"-	Sl-2	საკონტროლო პუნქტ Sl-1-ისახლოს, საავტომობილო გზის მეორე მხარეს	41.68834; 44.79035	Cn-Cr
ქართლის არტეზიული აუზი					
1	მცხეთის მუნიციპალიტეტი, სოფ. ნატახტარი	Nt-1	საავტომობილო გზიდან დაახლოებით 300 მ მდ. არაგვის მიმართულებით, სასოფლო სამეურნეო ნაკვეთი	42.92344; 44.73327	Al-Cr
2	მცხეთის მუნიციპალიტეტი, სოფ. მისაქციელი	Ms-1	საავტომობილო გზიდან დაახლოებით 100 მ, სასოფლო სამეურნეო ნაკვეთი	41.94054; 44.73627	Al-Cr
3	დუშეთის მუნიციპალიტეტი, სოფ. ბულაჩაური	Bl-1	რესტორან „ბულაჩაურთან“ ახლოს	42.00925; 44.75929	Al-Cr
4	დუშეთის მუნიციპალიტეტი, სოფ. ბოდორნა	Bd-1	საავტომობილო გზასთან ახლოს, წყაროსთან	42.05653; 44.74404	Al-Cr

შენიშვნა:

ნიადაგის ტიპები - Cn - ყავისფერი; Cn-Cr - ყავისფერი კარბონატული;

Al-Cr - ალუვიური კარბონატული; GC - რუხი-ყავისფერი.

III თავი. გამოყენებული მეთოდოლოგია

3.1. წყლის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა

3.1.1. რადონის შემცველობის კვლევა

ა. ნიმუშების აღება



ნახ. 6. წყლის ნიმუშის აღება

წყლის ნიმუშების აღება (ნახ. 6) ხდება სპეციალურ მინის კონტეინერებში მოცულობით 250 მლ. ნიმუშის აღების დროს კონტეინერები ბოლომდე ივსებოდა წყლით და მჭიდროდ იხურებოდა თავსახურით. შემდგომ ხდება წყლის აღებული ნიმუშების ტრანსპორტირება ლაბორატორიაში ანალიზისათვის.

ბ. სამუშაო ადგილის მომზადება

ლაბორატორიულ პირობებში გაზომვების დაწყებამდე ხდება დეტექტორის სამუშაო პარამეტრების შემოწმება (ხდება შემოწმება ფუნქციონირების, შემაერთებელი მილების და საზომ კამერაში ფარდობითი ტენიანობის სიდიდის, რომელიც არ უნდა აჭარბებდეს 6%-ს). აწონვის მეთოდით მოწმდებოდა ასევე დესიკანტის ეფექტურობა დიდ საშრობ მილში. საჭიროების შემთხვევაში მილში იცვლებოდა დესიკანტი ახალ (გამომწვარ) დესიკანტზე.

გამოყენებული დესიკანტის აღდგენისათვის, მისი შემდგომი გამოყენების მიზნით დამუშავებული იქნა სტანდარტული ოპერაციული პროცედურა (SOP). SOP-ის შესაბამისად აღდგენა მიმდინარეობს შემდეგი ძირითადი პროცედურების შესრულების გზით: აწონვა, ღუმელში გამოშრობა 200°C-ზე 2 საათის განმავლობაში. აღდგენილი დესიკანტი თავსდება კონტეინერში და ჰერმეტიკულად იხურება ცხელ მდგომარეობაში, შემდგომ ხდება აწონვა.

გ. გაზომვები

ზემოთ აღნიშნული რადონის სამი იზოტოპიდან კვლევის საგანს წარმოადგენს Rn-222, რადგან Rn-220 და Rn-219-ის ნახევარდაშლის პერიოდი ბევრად ნაკლებია და ისინი სანამ ნიადაგში და ქანებში მიგრირებენ იშლებიან და მათი რაოდენობა ჰაერში უმნიშვნელოა.

წყალში რადონის გაზომვებისათვის გამოიყენებოდა დეტექტორი RAD7 (ნახ. 7.). მოწყობილობაში RAD7 გამოიყენება რადონის დაშლის პროდუქტების, კერძოდ Po-218, Po-214 და Po-210 ალფა-ნაწილაკების (რომლებიც წარმოიქმნება დაშლის შედეგად) რეგისტრაციის მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია მყარტანიანი ნახევარგამტარული სენსორის გამოყენებაზე. წყალში რადონის შემცველობის გასაზომად გამოიყენება პროტოკოლი Wat-250.



ნახ. 7. გაზომვის პროცესები RAD7 დეტექტორის გამოყენებით

რადონის გაზომვის პროცესი მიმდინარეობს შემდეგნაირად:

წყლის ნიმუშიანი მინის კონტეინერი უყენდება ჩაკეტილ საჰაერო მილებიან წრეში (ნახ. 8.). წრეში ასევე ჩართულია დესიკანტის პატარა მილი, რომლის დანიშნულებაც პროცესის დროს ჩაკეტილ წრეში არსებული ჰაერის გამრობა. გაზომვის პროცესის ხანგრძლივობა პროტოკოლით გათვალისწინებულია 30 წუთის განმავლობაში და იყოფა 6 ხუთწუთიან ციკლებად:

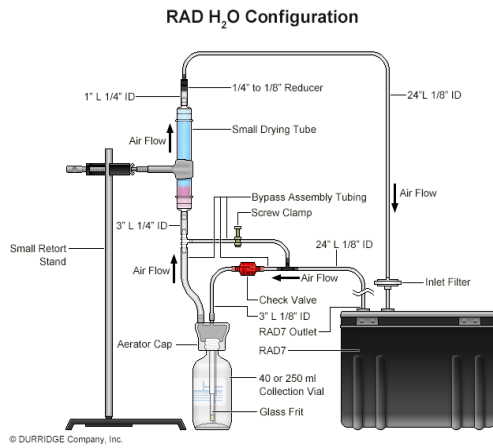
- პირველი 5 წუთიანი ციკლის დროს ჩართულია სპეციალური ტუმბო, რომლის მეშვეობითაც ხდება წყლიდან რადონის იძულებითი დეგაზაცია (ნახ. 9) (პრაქტიკულად 95-100%-ით) და რადონი თითქმის

მთლიანად გადადის გამზომ კამერაში (ნახ. 10). 5 წუთიანი აერაციის პროცესის შემდეგ ტუმბო ითიშება;

- მეორე ხუთწუთიანი ციკლის განმავლობაში მიმდინარეობს "ლოდინის" რეჟიმი. გამზომ კამერაში რადონი თანდათანობით იშლება და წარმოიქმნება Po-218-ის ატომები. ამ 5 წუთის განმავლობაში მყარდება წონასწორობა რადონსა და Po-218-ს შორის (რადგან Po-218-ის ნახევარდაშლის პერიოდი ბევრად უფრო მცირეა, ვიდრე რადონის). რადონის დაშლის შედეგად წარმოიქმნება ალფა-ნაწილაკი ენერგიით 5.5 MeV;
- მესამე ხუთწუთიან ციკლში იწყება და მთავრდება რადონის შემცველობის I გაზომვა (პირველი წერტილი, ნახ. 11.). ამ პროცესის დროს წარმოქმნილი დამუხტული ალფა-ნაწილაკები მოძრაობენ გამზომ კამერაში ელექტრულ ველში და თანდათან ილექებიან მყარტანიანი სილიციუმის დეტექტორის ზედაპირზე (ნახ. 10). ამ დროს ელექტრულ გამზომ სისტემაში გამოიმუშავება დენის იმპულსი და წარმოებს ამ იმპულსების თვლა;
- მეოთხე, მეხუთე და მეექვსე ხუთწუთიან ციკლებში იწყება და მთავრდება რადონის შემცველობის II, III და IV გაზომვები შესაბამისად (მეორე, მესამე და მეოთხე წერტილი ნახაზზე).

მეთოდის გაზომვის ცდომილება არ აღემატება $\pm 5\%$. ხელსაწყო საშუალებას იძლევა გაიზომოს წყალში რადონის აქტივობა 0.2 Bq/L-დან $3.7 \cdot 10^3$ Bq/L-მეტი [44].

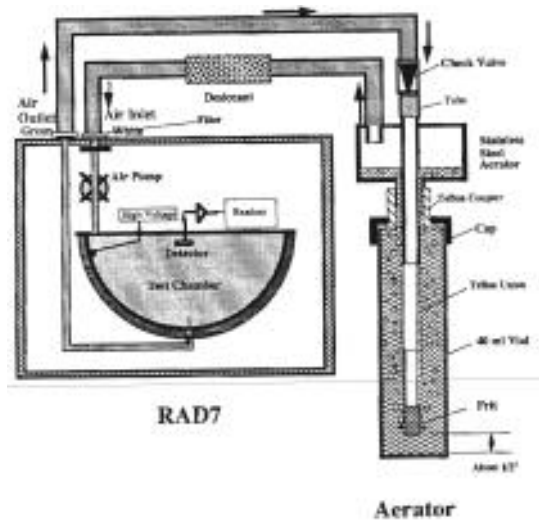
რადიაციის ფონის შეფასებისათვის ჩატარდა სპეციალური მრავალჯერადი გაზომვები, რომელშიც ნიმუშის სახით გამოიყენებოდა გამოხდილი წყალი. ორ სხვადასხვა ხელსაწყოზე მიღებულმა შედეგებმა აჩვენეს რომ ფონური აქტივობა იცვლებოდა 0.03 – 0.22 Bq/L (საშუალო მნიშვნელობით 0.09 Bq/L) ინტერვალში.



ნახ. 8. RAD H₂O კონფიგურაციის დიაგრამა



ნახ. 9. წყლის ნიმუშიდან რადონის დეგაზაციის პროცესი



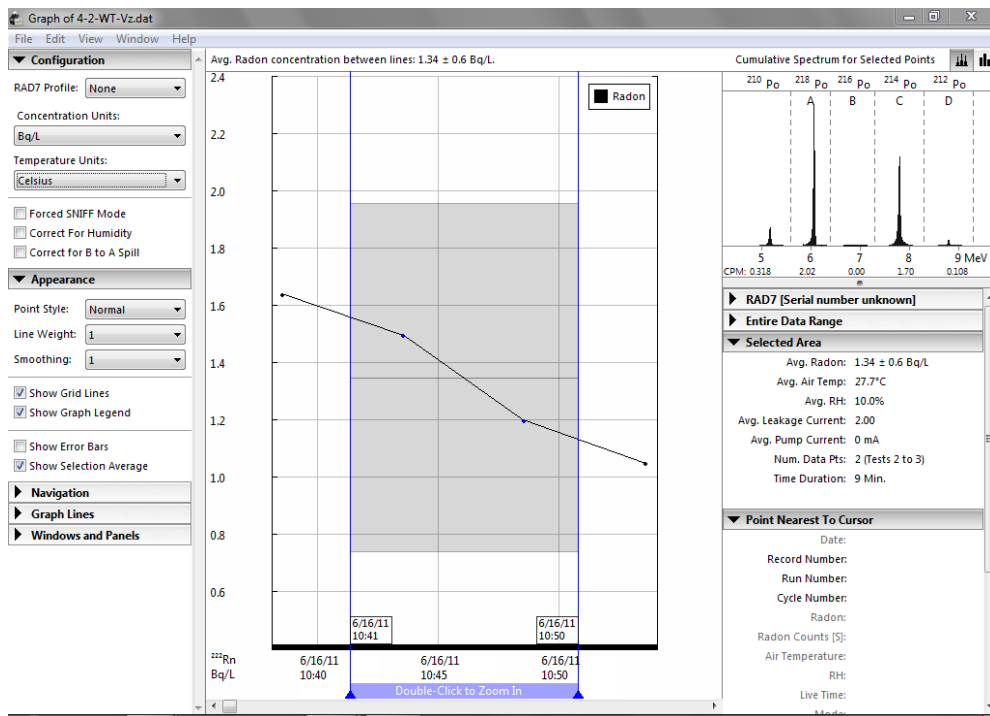
ნახ. 10. RAD H₂O კონფიგურაციის დიაგრამის სქემატური გამოსახულება

დ. პროგრამული უზრუნველყოფის CAPTURE v. 4.4.10 გამოყენება

რადონის კონცენტრაციის გაზომვის მონაცემების გადატანა RAD7-ის დანადგარიდან კომპიუტერში ხდება Capture პროგრამის გამოყენებით. პროგრამული უზრუნველყოფა CAPTURE v. 4.4.10. წარმოადგენს სპეციალიზირებულ პროგრამას, რომელიც შემუშავებულია RAD7 დეტექტორის მწარმოებელი ფირმის მიერ. CAPTURE შექმნილია RAD7 დეტექტორის მიერ რეგისტრირებული მონაცემების ანალიზისათვის.

მასთან მუშაობის ძირითადი პროცედურებია:

- მონაცემთა ფაილების ჩატვირთვა და შედეგების გამოსახულება გრაფიკულ ფორმატში პროგრამის მთავარ ფანჯარაში (მაგ. ნახ. 11.);
- მონაცემთა ანალიზის პარამეტრების დაყენება (აქტივობის ერთეული, აბსცისთა და ორდინატთა ღერძების მასშტაბების დაყენება, ამსახველი ინფორმაციის ტიპი - აქტივობის კონცენტრაცია, ფარდობითი ტენიანობა, ტემპერატურა და ა.შ.);
- გრაფიკული გამოსახულებების გადატანა ტექსტურ რედაქტორებში (კერძოდ, Word-ში).



ნახ. 11. RAD7 დეტექტორით მიღებული შედეგების გრაფიკული გამოსახულება

ნახაზზე (ნახ. 11.) მოცემულია წყლის ნიმუშის გაზომვის და ანალიზის შედეგად მიღებული შედეგის ტიპური სურათი.

სურათის ცენტრალურ ნაწილში ნაჩვენებია ანალიზის დროს რადონის კონცენტრაციის სიდიდის გაზომვის 4 შედეგი (აღნიშნულია წერტილებით), რომლებიც იზომება ზემოთ ახსნილი ოთხ ხუთწუთიანი ციკლის ბოლოს. ამ შედეგების საფუძველზე დგინდება მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური მნიშვნელობები და ასევე ფარდობით სტანდარტულ გადახრას (RSD).

სურათის მარჯვენა ზედა ნაწილში გამოსახულია ალფა გამოსხივების სპექტრი. ქვედა ღერძზე მოცემულია ალფა ენერჯის არხების სკალა - 5-9 MeV (მეგა ელექტრონვოლტი), ქვემოთ შესაბამისი იმპულსების თვლის სიდიდეები (CPM). მე-5 არხი შეესაბამება Po-210 (მე-6 არხი შეესაბამება Po-218, მე-7 არხი შეესაბამება Po-216, მე-8 არხი შეესაბამება Po-214 და მე-9 არხი შეესაბამება Po-212).

რადონის შემცველობა წყლის გაზომვის დროს დგინდება Po-218-ის ალფა გამოსხივების საფუძველზე. სურათიდან (ნახ. 11.) ჩანს, რომ გაზომვის პროცესში Po-218-ის ალფა გამოსხივების იმპულსების თვლა უდრის 2.02 CPM, ასევე ჩანს, რომ იმპულსები მაგ. Po-210, Po-216, Po-214 და Po-212 მნიშვნელოვნად ნაკლებია.

RAD7 დეტექტორი ზომავს რადონის დაშლის პროდუქტებს, კერძოდ ^{218}Po , რომლის გამოსხივება დაახლოებით უდრის 6 MeV.

CPM აღნიშნავს იმპულსების რიცხვს წუთში.

რადონის დაშლის პროდუქტები ^{218}Po და ^{214}Po არიან ინტენსიური ალფა გამომსხივებლები.

ე. შედეგების დამუშავება

გამოსაკვლევი პუნქტებისთვის აშშ-ს გარემოს დაცვის მართვის რეკომენდაციის საკონტროლო დონის 11 Bq/L [45] და მიღებული შედეგების გათვალისწინებით, დადგენილი იქნა წყალში რადონის აქტივობის დონის 7 პირობითი ჯგუფი, კერძოდ:

- I ჯგუფი მოიცავს საკონტროლო პუნქტებს, რომლებშიც რადონის კონცენტრაციის მნიშვნელობები ძალიან დაბალია (არ აღემატებოდა 0.3 ბკ/ლ (თითქმის ახლოსაა ფონურ მნიშვნელობებთან));
- II ჯგუფი - რადონის დაბალი მნიშვნელობით (0.3-1.0) ბკ/ლ;
- III ჯგუფი - ტიპური მნიშვნელობით (ინტერვალში 1.0-3.0 ბკ/ლ);
- IV ჯგუფი - ტიპურზე მაღალი მნიშვნელობით (ინტერვალში 3.0-10.0 ბკ/ლ);
- V ჯგუფი - მაღალი მნიშვნელობით (ინტერვალში 10-30 ბკ/ლ);

- VI ჯგუფი - ძალიან მაღალი მნიშვნელობით (ინტერვალში 30 – 100 ბკ/ლ);
- VII ჯგუფი - ზემადალი მნიშვნელობით (100 ბკ/ლ-ზე მეტი).

დროზე დამოკიდებულების თავისებურებების შესაფასებლად თითოეული საკონტროლო პუნქტისთვის ფორმულირებული იყო შედეგების ცხრილები. გაზომვის დროზე დამოკიდებულების და მიღებული შედეგების საფუძველზე ისაზღვრებოდა მათი საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები, აგრეთვე ფარდობითი სტანდარტული გადახრა.

ყველა გაზომვის შედეგებიდან მიღებული საშუალო მნიშვნელობები ითვლებოდა ამ პუნქტის მახასიათებლად და წარმოადგენდა საფუძველს მისი (ასევე მისი მიმდებარე ტერიტორიის) ამა თუ იმ აქტივობის ჯგუფისთვის მიკუთვნებისა.

მიღებული შედეგების საფუძველზე საკონტროლო პუნქტებში აქტივობის ცვლილებების დინამიკის დახასიათებისათვის შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის საფუძველზე, ფორმულირებული იყო საკონტროლო პუნქტების ორი ჯგუფი - საკონტროლო პუნქტები წყლის აქტივობის სტაბილური მნიშვნელობებით, და პუნქტები წყლის აქტივობის არასტაბილური მნიშვნელობებით.

შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის მნიშვნელობებისთვის შესაბამისი საშუალო მნიშვნელობის არაუმეტეს 50% მიიღებოდა, როგორც სტაბილური (მუდმივი) აქტივობის კონცენტრაციის მნიშვნელობა (და შესაბამისად აქტივობის ჯგუფის) შესაბამისი საკონტროლო პუნქტისთვის (და აღნიშნული პუნქტი ირიცხებოდა სტაბილური პუნქტების ჯგუფში). თუ შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის მნიშვნელობა აღემატებოდა ამ სიდიდეს, მაშინ მოცემული საკონტროლო პუნქტი ირიცხებოდა არასტაბილური პუნქტების ჯგუფში.

აღნიშნული მიდგომის საფუძველზე ისაზღვრებოდა პუნქტები, რომლებშიც წყალმომარაგების ხარისხი (რადონის შემცველობის მიხედვით) იყო საკმაოდ სტაბილური, და პუნქტები, რომლებშიც წყალმომარაგების ხარისხი ითვლებოდა არასტაბილურად (მაგ. დამოკიდებული იყო წყალმომარაგების სპეციფიკურ პირობებთან).

3.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრების დადგენა

მიღებული რადონის შემცველობის შედეგების საფუძველზე ხდებოდა სასმელი წყლის შინაგანად მიღებისას რადონით დასხივების რადიოლოგიური პარამეტრების გამოთვლა, კერძოდ:

- სასმელი წყლის შინაგანად მიღებისას რადონით დასხივების წლიური ეფექტური დოზა - D_{ing} ;
- წლიური ეფექტური დოზა კუჭისთვის (როგორც წყლის შინაგანად მიღებისას რადიაციისადმი შედარებით მგრძობიარე ადამიანის ორგანო) - D_{ing-st} ;
- წყლის საყოფაცხოვრებო მოხმარების დროს რადონის ინჰალაციით დასხივებით გამოწვეული წლიური ეფექტური დოზა - D_{inh} .

ზემოთხსენებული დოზები გამოითვლება შემდეგი ფორმულების გამოყენებით:

$$1. D_{ing} = A \times WC \times k_1$$

სადაც D_{ing} - სასმელი წყლის შინაგანად მიღებისას რადონით დასხივების წლიური ეფექტური დოზა, Sv/yr; A - წყალში რადონის აქტივობის კონცენტრაცია, Bq/L; WC - სასმელი წყლის წლიური მოხმარება, L/yr; k_1 - დოზური კოეფიციენტი, Sv/Bq.

სასმელი წყლის წლიური მოთხოვნილება შეფასებული იყო UNSCEAR-ის 1993 წლის ანგარიშში, და მისი სიდიდე მიღებული იყო 100, 75 და 50 ლ/წმ-ის ტოლად შესაბამისად ახალშობილებისათვის, ბავშვებისათვის და მოზრდილებისათვის. მოსახლეობის ამ ჯგუფების პროპორციების დაშვებით, რომელიც უტოლდება 0.05, 0.3 და 0.65, სასმელი

წყლის წლიური მოხმარების რაოდენობა უდრის $WC = 60$ ლ/წმ-ს. დოზური კოეფიციენტის სიდიდე k_1 ანგარიშში UNSCEAR 2000 მიღებულია 3.5 nSv/Bq-ის ტოლად.

$$2. D_{ing-st} = A \times WC \times k_2$$

სადაც D_{ing-st} – წლიური ეფექტური დოზა კუჭისთვის, Sv/yr; k_2 – დოზური კოეფიციენტი, Sv/Bq, რომელიც მიღებულია 1×10^{-7} Sv/Bq-ის ტოლად.

$$3. D_{inh} = A \times R \times t_{oc} \times EF \times k_3$$

სადაც D_{inh} – არის წლიური ეფექტური დოზა რადონით დასხივებისას, რომელიც წელიდან გამოიყოფა ოთახის ჰაერში, წყლის საყოფაცხოვრებო მოხმარების დროს, Sv/yr; A – წყალში რადონის აქტივობის კონცენტრაცია Bq/L; R – შენობების შიგნით ჰაერში და წყალში რადონის კონცენტრაციების შეფარდება, რომელიც მიღებულია 10^{-4} -ის ტოლად; t_{oc} – ადამიანის შენობაში ყოფნის დრო ერთი წლის განმავლობაში, რომელიც მიღებულია 7000 საათის ტოლად; EF – რადონის და მისი დაშლის პროდუქტების წონასწორობის კოეფიციენტი, რომელიც მიღებულია 0.4-ის ტოლად; k_3 – დოზური კოეფიციენტი, Sv/Bq, რომლის სიდიდეც UNSCEAR 2000 მოხსენებაში მიღებულია 9 nSv (Bq h m⁻³)⁻¹ ტოლად.

ზემოთმოყვანილი ფორმულები იყო გამოყენებული, მოსახლეობის სასმელ წყალში გახსნილი რადონით დასხივების, რადიოლოგიური დოზების გაანგარიშების მიზნით.

სასმელ წყალში რადონის აქტივობის კონცენტრაციის ანალოგიურად, დადგენილი იქნა რადონით დასხივების დოზების 7 ჯგუფი, კერძოდ:

- I - მნიშვნელობები თითქმის ახლოსაა ფონურთან:
 - D_{ing} არ აღემატებოდა 0.063 μ Sv/yr;
 - D_{ing-st} "-----" 1.8 μ Sv/yr;
 - D_{inh} "-----" 0.76 μ Sv/yr;
- II - მნიშვნელობები შეიძლება ჩაითვალოს როგორც დაბალი:
 - D_{ing} – ინტერვალში 0.063 – 0.21 μ Sv/yr;
 - D_{ing-st} – "-----" 1.8 – 6.0 μ Sv/yr;

- D_{inh} – "-----" 0.76 – 2.5 $\mu\text{Sv/yr}$;
- III - ტიპური მნიშვნელობები - ინტერვალში:
 - D_{ing} – ინტერვალში 0.21 – 0.63 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{ing-st} – "-----" 6.0 – 18.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{inh} – "-----" 2.5 – 7.6 $\mu\text{Sv/yr}$;
- IV - ტიპურზე მაღალი მნიშვნელობები - ინტერვალში:
 - D_{ing} – ინტერვალში 0.63 – 2.1 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{ing-st} – "-----" 18.0 – 60.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{inh} – "-----" 7.6 – 25.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
- V - მაღალი მნიშვნელობები - ინტერვალში:
 - D_{ing} – ინტერვალში 2.1 – 6.3 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{ing-st} – "-----" 60.0 – 180 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{inh} – "-----" 25.0 – 76.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
- VI - ძალიან მაღალი მნიშვნელობები - ინტერვალში:
 - D_{ing} – ინტერვალში 6.3 – 21.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{ing-st} – "-----" 180 – 600 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{inh} – "-----" 76.0 – 250 $\mu\text{Sv/yr}$;
- VII - ზემადალი მნიშვნელობები - ინტერვალში:
 - D_{ing} მეტი 21.0 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{ing-st} "-----" 600 $\mu\text{Sv/yr}$;
 - D_{inh} "-----" 250 $\mu\text{Sv/yr}$.

3.2. ნიადაგის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

3.2.1. გამა-სპექტრების მიღება

ნიმუშების აღება - ნიმუშების აღება ხდებოდა პოლიეთილენის კონტეინერებში (მოცულობით 2 ლ). ლაბორატორიაში ოთახის ტემპერატურაზე გამოშრობის შემდეგ ჰომოგენიზაციის მიზნით ხდებოდა ნიმუშების გაცრა. ტარდებოდა ნიმუშების აწონვა და დგინდებოდა მათი ხვედრითი წონა. აღნიშნული მნიშვნელობები გამოიყენებოდა ნიმუშების

გეომეტრიის დასახასიათებლად. შემდგომ ნიმუშები თავსდებოდა ე.წ. მარინელის ჭურჭელში (1.2 ლ მოცულობით), იხურებოდა ჰერმეტიკულად და ინახებოდა 1 თვის განმავლობაში გაზომვამდე.

ბუნებრივ პირობებში, ერთ ოჯახში მყოფი რადიონუკლიდები (ნახ. 1) იმყოფებიან გარკვეული რაოდენობითი შეფარდებებით (წონასწორულ მდგომარეობაში), რომელიც დამოკიდებულია მათი ნახევარდაშლის პერიოდზე. რაც უფრო ნაკლებია რადიონუკლიდის ნახევარდაშლის პერიოდი, მით უფრო მცირეა მისი შემცველობა დედამიწის ქერქში. 30 დღიანი დაყოვნება საჭიროა იმისათვის რომ, ნიმუშში აღდგეს წონასწორობა Ra-226 და Rn-222 შორის, რომელიც დაირღვა ნიმუშის აღების დროს. კერძოდ რადგან რადონი აირია ნიმუშის აღებისას ხდება მისი დეგაზაცია და შესაბამისად ირღვევა წონასწორობაც.

გამა-გამოსხივების აქტივობის გაზომვა - გაზომვის პროცესები ტარდებოდა ნახევარგამტარულ გამა-სპექტრომეტრზე Canberra GC2020 პროგრამული უზრუნველყოფით Genie-2000. მიმღების სახით გამოიყენებოდა გამაცივებელი ნახევარგამტარული გერმანიუმის დეტექტორი ფარდობითი ეფექტურობით 24%. რეგისტრირებული გამა კვანტების ენერჯის დიაპაზონია 40 – 3000 keV [46]. გამა სპექტრების შეგროვება გრძელდებოდა 72 საათის განმავლობაში.

3.2.2. რადიონუკლიდების შემცველობის განსაზღვრა

რადიონუკლიდების იდენტიფიკაციისათვის გამოიყენებოდა სპეციალური ბიბლიოთეკა, რომელიც მოიცავს 38 რადიონუკლიდის ხაზს და სხვა სპეციფიკურ წყაროს (სულ 464 ხაზი) [47]. აქტივობის (A) გამოთვლის დროს აკლდებოდა «ფუძემრის» ფონური გამოსხივება. რადიონუკლიდების აქტივობის სიდიდეების მიხედვით ითვლებოდა შესაბამისი ოჯახების რადიონუკლიდების აქტივობის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობა (A_m) (გამომდინარე ვარაუდიდან, რომ ისინი იმყოფებიან ე.წ. „საუკუნო“ წონასწორობაში). ამასთან გამოთვლების დროს

გამოიყენებოდა სამი ოჯახების რადიონუკლიდების აქტივობის კონცენტრაციის მნიშვნელობები, რომელთა აქტივობის განსაზღვრის ცდომილება იყო საკმაოდ დაბალი, კერძოდ Th-232 ოჯახისთვის გამოიყენებოდა Ac-228, Ra-224, Pb-212, Bi-212 მონაცემები; U-238 ოჯახისთვის - Th-234, Pb-214, Bi-214, ხოლო U-235 ოჯახისთვის გამოიყენებოდა სხვა დანარჩენი იდენტიფიცირებული რადიონუკლიდების მნიშვნელობები.

3.2.3. რადიოლოგიური პარამეტრების დადგენა

შთანთქმული გამა გამოსხივების შთანთქმის სიმძლავრის D_{ext} (nGy/h) გამოთვლა ხდებოდა შემდეგი ტოლობის მიხედვით:

$$D_{ext} = k_U A_U + k_{Th} A_{Th} + k_K A_K$$

სადაც A_U , A_{Th} , და A_K - U-238 აქტივობის კონცენტრაციაა (Bq/kg) (ხშირად U-238 მაგივრად მითითებულია Ra-226 - კონცენტრაცია A_{Ra}), Th-232 და K-40, შესაბამისად, k_U , k_{Th} , k_K - ე.წ. დოზური კოეფიციენტები (*Dose coefficient*), რომლებიც შესაბამისად უდრის 0.462, 0.604 და 0.042 nGy/h (Bq/kg)⁻¹ [48].

რადიუმის მიხედვით ეკვივალენტური აქტივობის A_{eq} (Bq kg⁻¹) გამოთვლა ხდებოდა შემდეგი ფორმულის მიხედვით [49]:

$$A_{eq} = A_{Ra} + n_1 A_{Th} + n_2 A_K$$

$$\text{სადაც } n_1 - A_{Ra-N}/A_{Th-N} = 1.43,$$

$$n_2 - A_{Ra-N}/A_{K-N} = 0.07.$$

A_{eq} განსაზღვრის დროს ივარაუდება, რომ Ra-226 ნომინალური აქტივობით $A_{Ra-N} = 370$ Bq kg⁻¹, Th-232 ნომინალური აქტივობით $A_{Th-N} = 259$ Bq kg⁻¹ და K-40 ნომინალური აქტივობით $A_{K-N} = 4810$ Bq kg⁻¹ ემნიან გამა გამოსხივების ერთსა და იმავე სიმძლავრეს. A_{eq} პარამეტრის შეყვანა ხდება რათა წარმოდგენილი იქნას Ra-226, Th-232 და K-40 ხვედრითი აქტივობა ერთი რიცხვით.

წლიური გარეგანი ეფექტური დოზა $D_{outdoor}$ (μSv y⁻¹) გამოითვლება შთანთქმული გამა გამოსხივების სიმძლავრით (შესაბამისი კოეფიციენტის გამოყენებით):

$$D_{outdoor} = D_{ext} \times N_h \times k_1 \times k_2$$

სადაც D_{ext} ($nGy h^{-1}$) - არის შთანთქმული შინაგანი გამა გამოსხივების სიმძლავრე, M_h - წელიწადში საათების რაოდენობა ($= 8760 h$), k_1 - კონვერსიული კოეფიციენტი ჰაერში მოზრდილებისათვის შინაგანი გამა გამოსხივების ეფექტური დოზისა, $0.7 \times 10^6 \mu Sv Gy^{-1}$, k_2 - გარემოში ყოფნის დროის წილი, რომელიც ტოლია 0.2 [50].

წლიური გონოდალური დოზა (D_{agd} , $\mu Sv y^{-1}$) როგორც შენობებში, ისე გარემოში გამოითვლება შემდეგი ტოლობის საფუძველზე [51]:

$$D_{agd} = m_{Ra} A_{Ra} + m_{Th} A_{Th} + m_K A_K$$

სადაც m_{Ra} , m_{Th} და m_K , უდრის შესაბამისად, 3.09, 4.18 და 0.314, წარმოადგენენ კონვერსიის კოეფიციენტებს, რომლებიც გამოთვლილია რადიონუკლიდების Ra-226, Th-232 და K-40 შესაბამისი აქტივობების საფუძველზე.

შენიშვნა: გონადები, აქტიური ძვლის ტვინი და ძვლის ზედაპირის უჯრედები, წარმოადგენენ ადამიანის ორგანოებს, რომლებიც ითვლება სპეციალური კვლევის საგნად [52]).

საფრთხის შინაგანი ინდექსი H_{ex} გამოითვლება შემდეგი განტოლების მიხედვით [49]:

$$H_{ex} = A_{Ra}/A_{Ra-N} + A_{Th}/A_{Th-N} + A_K/A_{K-N}$$

შენიშვნა: საფრთხის შინაგანი ინდექსი წარმოადგენს სასარგებლო სიდიდეს, რათა გათვალისწინებული იქნას მოსახლეობის რადიაციული დაცვის უსაფრთხოების მოთხოვნები. თუ ამ ინდექსის მნიშვნელობა ერთზე ნაკლებია, მაშინ რადიაციული საფრთხე ითვლება უმნიშვნელოდ (ეს ნიშნავს, რომ ეკვივალენტური აქტივობა რადიუმის მიხედვით და წლიური დოზა დასაშვებ ზღვრებშია, შესაბამისად $370 Bq kg^{-1}$ და $1 mSv$) [52].

კიბოს დამატებითი სასიცოცხლო რისკი გარემოში ($R_{outdoor}$) გამოითვლება შემდეგი ტოლობის გამოყენებით [53]:

$$R_{outdoor} = D_{outdoor} \times PC \times DL$$

სადაც $D_{outdoor}$ - წლიური გარეგანი ეფექტური დოზა ($\mu Sv y^{-1}$), PC - ალბათობის ნომინალური კოეფიციენტი კიბოს რისკის

გასათვალისწინებლად, რომელიც უტოლდება $5.5 \times 10^4 \mu\text{Sv}^{-1}$ [54], DL - სიცოცხლის ხანგრძლივობა (70 წელი).

3.3. წყლის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

ნიმუშების აღება - ნიმუშების აღება ხდებოდა პირდაპირ მარინელის ჭურჭელში (მოცულობით 1.2 ლიტრი). ნიმუშის აღების შემდეგ ჭურჭელი ჰერმეტიკულად იხურებოდა და იმავე დღისით ხდებოდა ანალიზი. გაზომილი ნიმუშები ინახებოდა 1 თვის განმავლობაში და შემდგომ ისევ ხდებოდა მათი გამა-სპექტრომეტრული ანალიზი. მიღებული სპექტრი გამოიყენებოდა ფონის სახით გამა-აქტივობის განსაზღვრის დროს.

გამა-გამოსხივების აქტივობის გაზომვა - გაზომვის პროცესები ტარდებოდა ნახევარგამტარულ გამა-სპექტრომეტრზე Canberra GC2020 პროგრამული უზრუნველყოფით Genie-2000. მიმღების სახით გამოიყენებოდა გამაცივებელი ნახევარგამტარული გერმანიუმის დეტექტორი ფარდობითი ეფექტურობით 24%. რეგისტრირებული გამა კვანტების ენერჯის დიაპაზონია 40 – 3000 keV [55]. გამა სპექტრების შეგროვება გრძელდებოდა 72 საათის განმავლობაში. ნუკლიდების იდენტიფიკაციისათვის და აქტივობის გამოთვლისათვის გამოიყენებოდა ბიბლიოთეკა, რომელიც მოიცავდა 66 რადიონუკლიდს და გამოსხივების სხვა წყაროს (სულ 479 ხაზი). Rn-222-ის დაშლის პროდუქტების (Pb-214 და Bi-214 ნუკლიდები) ნახევარდაშლის პერიოდი დადგინდა Rn-222-ის ნახევარდაშლის პერიოდის ტოლად (3.8 დღე). რადგანაც გაზომვის დრო უტოლდებოდა ნახევარდაშლის პერიოდს, ამიტომ გაზომვის პროცესის დროს ადგილი ჰქონდა რადონის კონცენტრაციის (და შესაბამისად მისი დაშლის პროდუქტების) მნიშვნელოვან ცვლილებას, რაც გათვალისწინებული იყო პროგრამის მიერ აქტივობის გამოთვლის დროს (რომელიც შეესაბამებოდა მის მნიშვნელობას ნიმუშის აღების მომენტში).

3.4. ნიადაგური აირის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა

დანადგარის მოთავსება საკონტროლო პუნქტში - ნიადაგურ აირში რადონის განსაზღვრის მიზნით ირჩეოდა სათანადო ადგილი ზონდისა და დეტექტორის მოსათავსებლად, და ამ ადგილას კეთდებოდა ხვრელი სპეციალური ხელის ბურღის გამოყენებით. ამ ხვრელში იდებოდა ზონდი, რომელიც სილიკონის მილების საშუალებით უერთდებოდა დეტექტორს. გაზომვის პროცესი ტარდებოდა წინასწარ შემუშავებული სტანდარტული ოპერაციული პროცედურის (SOP) შესაბამისად. გაზომვების ხანგრძლივობა შეადგენდა 20 წუთიდან 2 დღე-ღამემდე (კორელაციური გაზომვების შემთხვევაში).

შედეგების დამუშავება - ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის რაოდენობრივი დახასიათების მიზნით ჩატარდა საკონტროლო პუნქტების კლასიფიკაცია აქტივობის ჯგუფების მიხედვით. ლიტერატურული მონაცემების და მიღებული შედეგების გათვალისწინებით გამოვლენილი იქნა 3 ჯგუფი:

- I ჯგუფი - საკონტროლო პუნქტები, რომლებშიც რადონის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობები A_{av} საკმაოდ დაბალია - არ აღემატებოდა $3\ 000\ \text{Bq/m}^3$;
- II ჯგუფი - საკონტროლო პუნქტები, რომლებშიც რადონის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობები A_{av} შეიძლება ჩაითვალოს ტიპურად - იმყოფება $3\ 000 - 10\ 000\ \text{Bq/m}^3$ ინტერვალში;
- III ჯგუფი - საკონტროლო პუნქტები, რომლებშიც რადონის კონცენტრაციის საშუალო მნიშვნელობები A_{av} შეიძლება ჩაითვალოს მაღალი - იმყოფება $10\ 000 - 30\ 000\ \text{Bq/m}^3$ ინტერვალში.

IV თავი. მიღებული შედეგები და მათი განსჯა

4.1. ძირითადი კვლევები

4.1.1. წყალსადენის (თბილისის) წყალი

4.1.1.1. რადონის აქტივობის განაწილება

სულ აღებული იყო სასმელი წყლის 900-ზე მეტი ნიმუში, რომლებშიც ჩატარდა რადონის აქტივობის გაზომვები, კერძოდ:

- სასმელი „წყალსადენის“ წყლის 677 ნიმუშში, რომლებიც აღებული იყო 118 საკონტროლო პუნქტში (52 ტერიტორიაზე - პატარა ლილო, დიდი ლილო და ა.შ.) ქ. თბილისში;
- სასმელი „წყალსადენის“ წყლის 56 ნიმუშში, რომლებიც აღებული იყო ქ.თბილისის მიმდებარე დასახლებულ პუნქტებში;
- 168 ტესტურ ნიმუშში, რომლებიც აღებული იყო მეთოდოლოგიური საკითხების დასამუშავებლად, და ასევე სპეციალური კვლევების ჩატარების მიზნით.

ცხრილი 10. სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობის საშუალო მნიშვნელობები (A) და საკონტროლო პუნქტების რაოდენობის (N_p) და მათი შეფარდების ($R, = N_p/N_t$ %; N_t - საკონტროლო პუნქტების საერთო რაოდენობა) განაწილება ტერიტორიის მიხედვით ქ. თბილისში (Tb) და მის გეოგრაფიულ არეალში (Tb-A)

#	T	GA	A, Bq/L	Jan-Dec		
				A_{av} , Bq/L	N_p	R, %
1	Tb	I	≤ 0.3	0.1	36	30.5
2	"---"	II	0.3-1	0.6	23	19.5
3	"---"	III	1-3	1.8	56	47.5
4	"---"	IV	3-10	3.9	3	2.5
5	Tb-A	II	0.3-1	0.3	1	10.0
6	"---"	III	1-3	2.9	2	20.0
7	"---"	IV	3-10	4.2	7	70.0

შენიშვნა:

I – ძალიან დაბალი ($A_{av} \leq 0.3$ Bq/L);

II – დაბალი ($A_{av} = 0.3-1$ Bq/L);

III – ტიპური ($A_{av} = 1-3$ Bq/L)

IV – ტიპურზე მაღალი ($A_{av} = 3-10$ Bq/L)

კონცენტრაციის საშუალო სიდიდეები (A) სასმელ (წყალსადენის) წყლებში და საკონტროლო პუნქტების რაოდენობის (N_p) განაწილება,

რაიონების მიხედვით და მათი შეფარდება ($R = N_p/N_t \%$; N_t საკონტროლო პუნქტების საერთო რაოდენობა) ქ. თბილისში (T_b) და მიმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (T_b-A) მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 10).

რადონის კონცენტრაციის (A , Bq/L) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალოებული მნიშვნელობები ($Prm - av, mn, mx$) სასმელ „წყალსადენის“ წყლებში ქ. თბილისში (T_b) და მის ახლომდებარე დასახლებულ პუნქტებში ($T_b - A$) იანვარი-დეკემბრის პერიოდისთვის მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 11).

ცხრილი 11. ქ. თბილისის (T_b) და მისი გეოგრაფიული არეალის (T_b-A) სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობის კონცენტრაციის საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობების გასაშუალოებული მნიშვნელობები ($Prm - av, mn, mx$)

#	Prm	A, Bq/L (T_b),	A, Bq/L (T_b-A),
1	av	1.1	3.6
2	mn	0.03	0.3
3	mx	4.6	7.8

წყალსადენის (თბილისის) წყალში რადონის აქტივობის განაწილება მდებარეობის მიხედვით

მიღებული შედეგების საფუძველზე ქ. თბილისის ტერიტორიები დაყოფილი იყო 2 დიდ ჯგუფად (ცხრილი 12):

- ტერიტორიები (A-1), რომლებშიც რადონის აქტივობა დაბალია ($0.3 - 1.0$ Bq/L) ან ძალიან დაბალია (<0.3 Bq/L) საშუალო მნიშვნელობით 0.3 Bq/L;
- ტერიტორიები (A-2), სადაც რადონის აქტივობა ტიპურია ($1.0 - 3.0$ Bq/L) ან ტიპურზე მაღალია ($3.0 - 10.0$ Bq/L) საშუალო მნიშვნელობით 1.8 Bq/L;

სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A , Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალოებული მნიშვნელობები (av, mn, mx) ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით ზედაპირული

(A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყაროებიდან, მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 12).

ცხრილი 12. სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}) სიდიდეები, შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალოებული მნიშვნელობები (av, mn, mx) ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით ზედაპირული (A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყაროებიდან

#	C	AR	Prm	A, Bq/L												A_{av} Bq/L	A_{mn} Bq/L	A_{mx} Bq/L	RSD, %	
				Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.					
1	Tb	A-1	$\leq 0.3 \div I$	av	0.4	0.6	0.5	0.5	0.6	0.5	0.2	0.2	0.8	0.5	0.3	0.3	0.44	0.2	0.8	40
2				mn	0.02	0.01	0.06	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.12	0.04	0.08	0.04	0.01	0.1	67
3				mx	1.3	2.4	1.6	3.2	2.2	2.0	0.8	0.8	2.7	1.9	1.2	1.6	1.80	0.8	3.2	41
4		A-2	$I \div 10$	av	2.0	2.1	1.8	2.2	2.0	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6	1.8	1.7	1.82	1.6	2.2	10
5				mn	0.5	0.8	0.3	0.1	0.4	0.2	0.4	0.6	0.2	0.3	0.1	0.4	0.34	0.1	0.8	57
6				mx	4.4	3.9	4.6	6.1	6.5	6.1	5.2	3.3	4.3	4.7	4.9	5.8	5.00	3.3	6.5	20
7	Tb-A	A-1	$\leq 0.3 \div I$	av			X	0.6	0.5	0.0	0.3	0.2	0.3	0.2	0.5	0.4	0.33	0.05	0.6	53
8		A-2	$I \div 10$	mn	6.0	4.8	4.9	2.0	4.0	4.7	5.5	4.3	5.7	3.6	8.9	6.2	5.1	2.0	8.9	33
9				mx	4.4	1.4	3.4	0.7	0.9	3.0	3.1	3.5	4.5	2.9	6.1	4.8	3.2	0.7	6.1	51
10				mx	9.1	13.1	7.1	3.5	7.8	7.3	8.6	5.3	8.1	4.5	11.7	9.0	7.9	3.5	13.1	35





ქ. თბილისის (C; R - მარჯვენა სანაპირო, L - მარცხენა) ისტორიული ტერიტორიების (T) და ახლომდებარე დასახლებული პუნქტების (პ.პ. 14-18) სასმელი წყალში რადონის აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 13), ხოლო გრაფიკული სახით ნაჩვენებია ფიგურაზე (ნახ. 12.).

ცხრილი 13. ქ. თბილისის (C; R - მარჯვენა სანაპირო, L - მარცხენა) ტერიტორიების (T) და ახლომდებარე დასახლებული პუნქტების (პ.პ. 14-18) სასმელი წყალში რადონის აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება

#	C	T	GA			
			I	II	III	IV
1	თბილისი, R	პატარა დილომი				
2		დიდმის მასივი				
3		აგრარული უნივერსიტეტი, დიდი დილომი, სოფ. დილომი, ვაშლიჯვარი, გოთუა, ვეძისი, ნუცუბიძის მიკრორაიონები, ვაჟა-ფშაველას კვარტლები, ყაზბეგი, საბურთალოს ქუჩა, ბახტრიონი, კოსტავა, ბაგები, ვაკე, ვერა, მთაწმინდა, სოლოლაკი, ორთაჭალა				
4		ქვემო ფონიჭალა				
5		ზემო ფონიჭალა, სოფ. ფონიჭალა				
6		წყნეთი, კოჯორი, ტაბახმელა, წავკისი, ოქროყანა				
7	თბილისი, L	ზაჰესი				
8		ავჭალა, გლდანი				
9		მუხიანი, თემქა, სანზონა, ნამალადევი				
10		ზემო ჩულურეთი, სვანეთის უბანი, ელია, ზემო ავლაზარი, ისანი,				

		ვაზისუბანი, ვარკეთილი, დამპალო, ორხევი			
11		დიდუბე, ქვემო ჩუღურეთი			
12		ავლაბარი, ნავთლუდი, სამგორი, ალექსეევკა, აეროპორტის დასახლება			
13		ლილო			
14	რუსთავი, გარდაბანი, მცხეთა	რუსთავი, სოფ. მთისძირი, მცხეთა			
15		მცხეთა			
16		ნატახტარი, წეროვანი			
17	დუმეთი	წითელსოფელი			
18		ბულაჩაური			

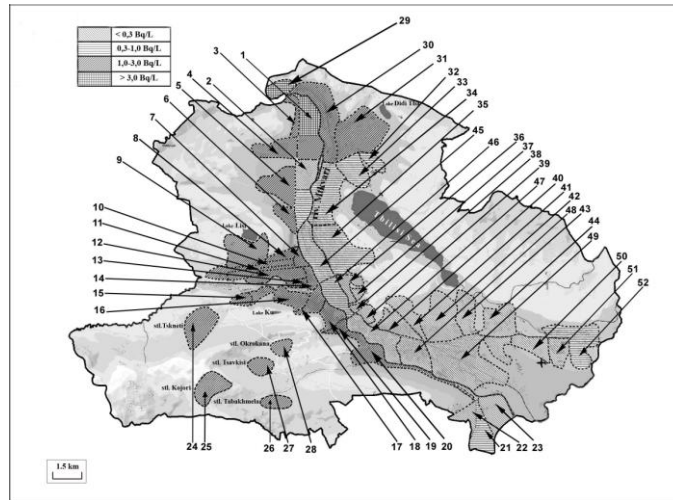
შენიშვნა:

- I  $A_{av} \leq 0.3 \text{ Bq/L}$ – ძალიან დაბალი
- II  $A_{av} = 0.3 - 1 \text{ Bq/L}$ – დაბალი
- III  $A_{av} = 1-3 \text{ Bq/L}$ – ტიპიური
- IV  $A_{av} = 3-10 \text{ Bq/L}$ – ტიპიურზე მაღალი

ცხრილიდან შეიძლება აღინიშნოს, რომ:

- ქ. თბილისის ისტორიული ტერიტორიები რომლებიც მდებარეობენ მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპიროზე სასმელი (წყალსადენის) წყლებში რადონის შემცველობის მიხედვით მიეკუთვნებიან ძირითადად III და IV ჯგუფებს;
- ტერიტორიები რომლებიც მდებარეობენ მდ. მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე სასმელი (წყალსადენის) წყლებში რადონის შემცველობის მიხედვით მიეკუთვნებიან ძირითადად I და II ჯგუფებს.

ეს გარემოება შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მდ. მტკვრის მარჯვენა სანაპიროს უბნებს წყალი ძირითადად მიეწოდება მიწისქვეშა წყალმომარაგების წყაროებიდან (მაგ. ნატახტარის წყალსადენი, მუხრანის ველის არტეზიული წყალსადენი და სხვა), ხოლო მარცხენა სანაპიროს უბნებს ზედაპირული წყალმომარაგების წყაროებიდან (მაგ. თბილისის წყალსაცავი, ჟინვალის წყალსაცავი და სხვა).

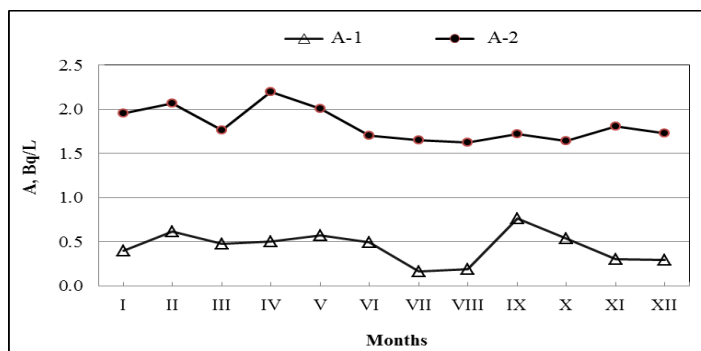


ნახ. 12. ქ.თბილისის ტერიტორიაზე სასმელი (“წყალსადენის”) წყლის რადონის რუკა

#	T	#	T	#	T	#	T
1	პატარა დიღომი	14	კოსტავა	27	წავკისი	40	ისანი
2	დიღმის მასივი	15	ბაგები	28	ოქროყანა	41	ვაზისუბანი
3	აგრარული უნივერსიტეტი	16	ვაკე	29	ზაჰესი	42	ვარკეთილი
4	დიდი დიღომი	17	ვერა	30	ავჭალა	43	დამპალო
5	სოფ. დიღომი	18	მთაწმინდა	31	გლდანი	44	ორხევი
6	ვამლიჯვარი	19	სოლოლაკი	32	მუხიანი	45	დიღუბე
7	გოთუა	20	ორთაჭალა	33	თემქა	46	ქვემო ჩულურეთი
8	ვეძისი	21	ქვემო ფონიჭალა	34	სანჯონა	47	ავლაბარი
9	ნუცუბიძის მიკრორაიონები	22	ზემო ფონიჭალა	35	ნამალადევი	48	ნავთლული
10	ვაჟა ფშაველას კვარტლები	23	სოფ. ფონიჭალა	36	ზემო ჩულურეთი	49	სამგორი
11	ყაზბეგის გამზ.	24	წყნეთი	37	სვანეთის უბანი	50	ალექსეევკა
12	საბურთალოს ქუჩა	25	კოჯორი	38	ელია	51	აეროპორტის დასახლება
13	ბახტრიონი	26	ტაბახმელა	39	ზემო ავლაბარი	52	ლილო

დროზე დამოკიდებულება

ნახაზზე (ნახ. 13.) მოყვანილია იანვარი–დეკემბრის პერიოდში ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით (A-1) ზედაპირული და (A-2) მიწისქვეშა წყაროებიდან სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A, Bq/L).



ნახ. 13. ქ. თბილისის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტში, უმეტესწილად, წყალმომარაგებით (A-1) ზედაპირული და (A-2) მიწისქვეშა წყაროებიდან სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონის აქტივობა (A, Bq/L)

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი თავისებურებები:

- წყალში რადონის საშუალო აქტივობა თბილისის ტერიტორიაზე იცვლებოდა საკმაოდ დიდ დიაპაზონში - ფონური და მასთან ახლოს მდგომი მნიშვნელობიდან (0.01 – 0.3 Bq/L) 3 Bq/L-მდე და მეტი (მაქსიმალური მნიშვნელობა 6.5 Bq/L);
- წყალში რადონის აქტივობის ცვლილების დიაპაზონი ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში რამდენადმე განსხვავდება - 0.33 Bq/L - დან (დასახლებულ პუნქტში ბულაჩაური) 7.8 Bq/L-მდე (მაქსიმალური მნიშვნელობით 13.1 Bq/L);
- ქ. თბილისის ტერიტორიები შესაძლოა დავეყოთ 2 დიდ ჯგუფად - ტერიტორიები, რომლებშიც რადონის აქტივობა დაბალია (0.3 – 1.0 Bq/L) ან ძალიან დაბალია (<0.3 Bq/L) საშუალო მნიშვნელობით 0.3 Bq/L, და ტერიტორიები, სადაც რადონის აქტივობა ტიპურია (1.0 – 3.0 Bq/L) ან ტიპურზე მაღალია (3.0. – 10.0 Bq/L) საშუალო მნიშვნელობით 1.8 Bq/L; უნდა აღინიშნოს, რომ საკონტროლო პუნქტების უმრავლესობა (47%) ხასიათდებიან აქტივობის ტიპური მნიშვნელობებით; ხოლო ახლოსმდებარე დასახლებული პუნქტების უმრავლესობა (70%) ტიპურზე მაღალი აქტივობით, რაც ალბათ გამოწვეულია ორი ტიპის წყალმომარაგების წყაროების (ზედაპირული - დაბალი აქტივობის და მიწისქვეშა - მაღალი აქტივობის) არსებობით;

- სეზონურ დამოკიდებულებაში შესაძლოა აღინიშნოს გარკვეული ტენდენცია, კერძოდ აქტივობის კონცენტრაციის შემცირება ზაფხულის პერიოდში;
- სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში აქტივობის სტაბილურობა იცვლება ასევე ფართო ზღვრებში. ამავდროულად იგი რამდენადმე დაბალია პირველ ჯგუფში 16 დან 150%-მდე, მეორე ჯგუფთან შედარებით 7 დან 87 %-მდე (და ცალკეულ საკონტროლო პუნქტებში ზოგიერთ თვეებში აქტივობის მნიშვნელობები შეესაბამებოდნენ შედარებით მაღალ ან დაბალ აქტივობის ჯგუფს).

4.1.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრები

სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალოებული მნიშვნელობები ($P_{rm} - av, mn, mx$) ქ. თბილისში (T_b) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (T_b-A) იანვარი-დეკემბრის პერიოდისთვის მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 14).

ცხრილი 14. ქ. თბილისსა (T_b) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (T_b-A) სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალოებული მნიშვნელობები ($P_{rm} - av, mn, mx$)

#	Prm	Tb			Tb-A		
		$D_{ing}, \mu Sv a^{-1}$	$D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$	$D_{inh}, \mu Sv a^{-1}$	$D_{ing}, \mu Sv a^{-1}$	$D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$	$D_{inh}, \mu Sv a^{-1}$
1	av	0.23	6.6	2.8	0.75	21.5	9.0
2	mn	0.12	3.3	1.4	0.38	10.7	4.5
3	mx	0.36	10.2	4.3	1.1	31.1	13.1

სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალოებული მნიშვნელობები ($P_{rm} - av, mn, mx$) ქ. თბილისში (T_b) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (T_b-A) ძირითადად მიწისზედა (A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყალმომარაგების

წყაროებიდან იანვარი-დეკემბრის პერიოდისთვის მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 15).

ცხრილი 15. ქ. თბილისსა (Tb) და ახლოსმდებარე დასახლებულ პუნქტებში (Tb-A) ძირითადად მიწისზედა (A-1) და მიწისქვეშა (A-2) წყალმომარაგების წყაროებიდან სასმელ (წყალსადენის) წყალში რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური სიდიდეების გასაშუალებელი მნიშვნელობები (Prm - av, mn, mx)

#	T	AR, Bq/L	Prm	D _{ing} , μSv a ⁻¹			D _{ing-st} , μSv a ⁻¹			D _{inh} , μSv a ⁻¹		
				av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx
1	Tb	$\leq 0.3 \div 1$ (A-1)	av	0.07	0.04	0.14	2.0	1.01	3.9	0.84	0.43	1.7
2			mn	0.01	0.00	0.01	0.2	0.06	0.2	0.09	0.03	0.09
3			mx	0.49	0.18	1.7	14	5.0	48	5.9	2.1	20
4		$1 \div 10$ (A-2)	av	0.38	0.20	0.58	11	5.6	17	4.6	2.3	7.0
5			mn	0.21	0.02	0.21	5.9	0.60	5.9	2.5	0.25	2.5
6			mx	0.96	0.67	1.4	27	19	39	12	8.0	16
7	Tb-A	$\leq 0.3 \div 1$ (A-1)	av	0.1	0.0	0.1	2.0	0.3	3.7	0.8	0.1	1.6
8			$1 \div 10$ (A-2)	av	0.83	0.42	1.2	24	12	34	10	5.0
9		mn		0.60	0.14	0.60	17	4.0	17	7.2	1.7	7.2
10		mx		1.6	0.67	2.8	47	19	79	20	8.1	33

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს ქ. თბილისის სასმელ (წყალსადენის) წყლებში დაიმზირება რადონის აქტივობის ცვლილების დიდი დიაპაზონი. რადონის კონცენტრაცია ძირითადად იმყოფება 0.1-დან < 6.5 Bq/L-მდე დიაპაზონში. თბილისის მიმდებარე საკონტროლო პუნქტებში ცვლილების დიაპაზონი რამდენადმე განსხვავებულია 0.33-დან 13.1 Bq/L-მდე.

ქ.თბილისის ტერიტორიაზე დამზერილი რადონის აქტივობის ცვლილების დიდი დიაპაზონი შეიძლება ჩაითვალოს, რომ დაკავშირებულია დიდი რაოდენობით განსხვავებული მახასიათებლების ბუნებრივი წყლის რესურსების წყაროებით. როგორც ზემოთ აღინიშნა, ქ.თბილისის წყალმომარაგება უზრუნველყოფილია ბუნებრივი წყაროების ორი ტიპით - ზრდაპირული (ძირითადად მდინარის წყლით) და მიწისქვეშა (ძირითადად არტეზიული წყლებით). შეიძლება ჩაითვალოს, რომ წყლების პირველი ტიპისთვის დამახასიათებელია რადონის დაბალი მნიშვნელობები, ხოლო მეორესთვის - შედარებით მაღალი. ეს დასტურდება

შედეგებით, რომლებიც მიღებული იქნა სასმელი წყლით უზრუნველყოფის სისტემებთან ახლოს მყოფი დასახლებული პუნქტებისთვის. ასე მაგალითად, დასახლებულ პუნქტში ბულაჩაური (რომელიც მდებარეობს სასმელი წყლით ზედაპირული წყალმომარაგების წყაროსთან, ბულაჩაურის წყალსადენთან, ახლოს) აქტივობის მნიშვნელობები წყალსადენის წყლებში იცვლებოდა დიაპაზონში 0.05 - 0.6 Bq/L (საშუალო მნიშვნელობით 0.33 Bq/L), ხოლო დასახლებულ პუნქტში ნატახტარი (რომელიც მდებარეობს სასმელი წყლით არტეზიული წყალმომარაგების წყაროსთან, ნატახტარის წყალსადენთან, ახლოს) აქტივობის მნიშვნელობები წყალსადენის წყლებში იცვლებოდა დიაპაზონში 1.1 - 6.3 Bq/L (საშუალო მნიშვნელობით 4.0 Bq/L).

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მაგალითად ზაჰესში (ცხრილი 13 და ნახ. 12.), რომელიც ქალაქის სხვა ტერიტორიებთან შედარებით ახლოს მდებარეობს ნატახტარის წყალსადენთან (თითქმის იგივე დაშორებით, როგორც დასახლებული პუნქტი ნატახტარი), რადონის აქტივობის მნიშვნელობები წყალსადენის წყლებში იყო მაღალი სხვა ტერიტორიებთან შედარებით 1,6 - 6.5 Bq/L (საშუალო მნიშვნელობით 4.7 Bq/L) ამასთან ერთად აქტივობა იყო საკმაოდ სტაბილური (RSD იყო 30 -39%-ის ფარგლებში). ეს საფუძველს იძლევა ჩავთვალოთ, რომ ეს ტერიტორია (ასევე ზოგიერთი სხვა ტერიტორიები, რომლებშიც დაიმზიერება სასმელ წყალში რადონის აქტივობის ტიპური და ტიპურზე მაღალი მნიშვნელობები - 1.0 Bq/L-ზე მეტი) მარაგდებიან მიწისქვეშა წყაროების წყლებით (მაგალითად ნატახტარის წყალსადენი).

მეორეს მხრივ, წყალსადენის წყლებში რადონის აქტივობის მნიშვნელობები იმ ტერიტორიებისთვის, რომლებიც საკმაოდ მოშორებულები არიან წყალმომარაგების წყაროებიდან (მაგ. №№ 36 - 52, ნახ. 12.) შეესაბამებიან დაბალი ან ძალიან დაბალი შემცველობის ჯგუფებს (1.0 Bq/l-ზე ნაკლები). უნდა აღინიშნოს, რომ აღნიშნული ტერიტორიები მდებარეობენ მდ. მტკვრის მარცხენა სანაპიროზე და წარმოადგენენ ახალი მშენებლობის რაიონებს. მათი სასმელი წყლით უზრუნველყოფისთვის

საკმარისი არ იყო არტეზიული წყაროების რესურსები (რომლებიც ათვისებული იყო წყლით უზრუნველყოფის თანამედროვე სისტემის შექმნის საწყის პერიოდში, და ძირითადად უზრუნველყოფდნენ მტკვრის მარჯვენა სანაპიროს ისტორიულად შედარებით "ძველ" ტერიტორიებს) და იქმნებოდა დამატებითი წყლის რესურსები ზედაპირული წყაროების საფუძველზე.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ Digomi housing unit (№ 2, ნახ. 12.) მდებარეობს მარჯვენა სანაპიროზე, მაგრამ ხასიათდება აქტივობის დაბალი მნიშვნელობებით. ეს ალბათ დაკავშირებულია იმასთან, რომ ამ ადგილას მდებარეობს ახალი მშენებლობის ერთ-ერთი პირველი რაიონი, და შესაძლოა ამ ტერიტორიიდან დაიწყო ზედაპირული წყლების გამოყენება სასმელი წყლით უზრუნველყოფისათვის.

4.1.2. ზედაპირული წყალი

კვლევის პერიოდში აღებული იყო სხვადასხვა ტიპის ზედაპირული წყლების რამოდენიმე ასეული ნიმუში, რომლებშიც ჩატარდა რადონის აქტივობის გაზომვები, კერძოდ:

- თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე 21 საკონტროლო პუნქტში აღებული იყო ზედაპირული წყლის 127 ნიმუში;
- ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე 23 საკონტროლო პუნქტში აღებული იყო ზედაპირული წყლის 115 ნიმუში;
- სპეციალური კვლევების ჩასატარებლად და მეთოდოლოგიური საკითხების დასამუშავებლად აღებული იყო 247 ტესტური ნიმუში.

4.1.2.1. თბილისის არტეზიული აუზი

4.1.2.1.1. რადონის აქტივობის განაწილება

ა. განაწილება მდებარეობის მიხედვით

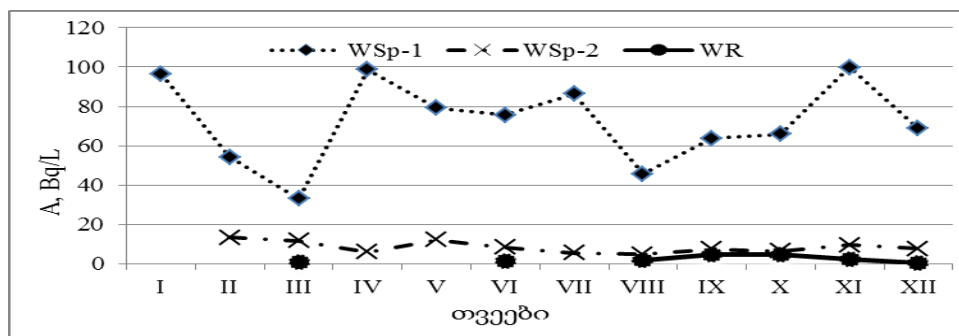
სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, არტეზიული და ა.შ.) რადონის აქტივობის (A) გაზომვის შედეგები, მათი საშუალო (A_{av})

არტეზიული აუზის სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში იანვარი-დეკემბრის პერიოდისათვის.

ნახაზზე (ნახ. 14.) იანვარი – დეკემბრის თვეებში თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის წყაროს წყალში, რადონის აქტივობის ყოველთვიური გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L).

ცხრილი 17. თბილისის (TAB) აუზის ტერიტორიაზე ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყალში რადონის განზოგადებული ყოველთვიური აქტივობა (A, Bq/L), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}), მაქსიმალური (A_{mx}), შეფარდებითი სტანდარტული გადახრის (RSD) და აგრეთვე, მათი გასაშუალებული (Prm - av, mn, mx) მნიშვნელობები

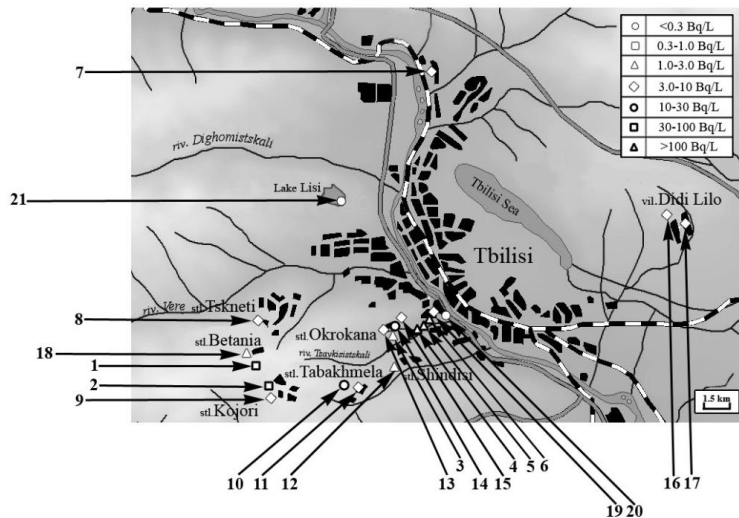
#	ST	Prm	A, Bq/L												A_{av} Bq/L	A_{mn} Bq/L	A_{mx} Bq/L	RSD %
			Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.				
1	WSp-1	av	96.3	54.1	33.1	98.8	79.2	75.5	86.3	45.7	63.7	65.9	99.9	68.8	72.3	33.1	99.9	29
2		mn		16.7	2.7	49.8	29.8	18.1	19.0	21.9	27.6	9.2	17.2	16.1	20.7	2.7	49.8	59
3		mx		110	73	148	129	144	139	91	134	108	163	123	124	72.9	163	21
4	WSp-2	av		13.4	11.7	6.0	12.0	8.3	5.4	4.8	7.3	6.5	9.6	7.5	8.4	4.8	13.4	34
5		mn		4.0	3.3	0.1	1.1	1.9	0.9	0.3	0.4	0.3	2.9	1.1	1.5	0.1	4.0	92
6		mx		27	36	10	21	20	7	8	13	11	13	12	16.2	7.3	35.8	55
7	WR	av			0.6			1.3		1.7	4.6	4.7	2.1	0.4	2.2	0.4	4.7	81
8		mn										2.4	0.1	0.3	0.9	0.1	2.4	140
9		mx										7.0	5.1	0.5	4.2	0.5	7.0	80
10	WL	av							0.2					0.2				



ნახ. 14. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის წყაროს და მდინარის წყალში, რადონის აქტივობის ყოველთვიური გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L)

ბ. რადონის რუკა

გამოკვლევული საკონტროლო პუნქტების რადონის რუკა ნაჩვენებია ნახაზზე (ნახ. 15.).



ნახ. 15. თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების წყაროების რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განაწილება

#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST
1	T-D-Bt-1	WSp-1	6	T-DzT-Sl-1(c)	-"	11	T-D-Tkh-2	-"	16	T-IS-DL-1	-"	21	T-VS-Ls-1	WL
2	T-D-Kj-1	-"	7	T-GN-Av-1	WSp-2	12	T-D-Sh-1	-"	17	T-IS-DL-2	-"			
3	T-D-Okr-2	-"	8	T-D-Ts-1	-"	13	T-D-Okr-1	-"	18	T-D-Bt-3	WR			
4	T-DzT-Sl-1(a)	-"	9	T-D-Kj-3	-"	14	T-D-Okr-3	-"	19	T-DzT-Sl-2	-"			
5	T-DzT-Sl-1(b)	-"	10	T-D-Tkh-1	-"	15	T-D-Okr-4	-"	20	T-DzT-Ort-7	-"			

შენიშვნა: საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 5).

4.1.2.1.2. რადიოლოგიური პარამეტრები

სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, არტეზიული) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu Sv a^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu Sv a^{-1}$, D_{inh} , $\mu Sv a^{-1}$) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე იანვარი - დეკემბრის პერიოდისათვის მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 18).

იანვარი - დეკემბრის პერიოდში თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu Sv a^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu Sv a^{-1}$, D_{inh} , $\mu Sv a^{-1}$)

საშუალო (*av*), მინიმალური (*mn*) და მაქსიმალური (*mx*) მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 19).

ცხრილი 18. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების ($D_{ing}, \mu Sv a^{-1}$, $D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$) საშუალო (*av*), მინიმალური (*mn*) და მაქსიმალური (*mx*) მნიშვნელობები

#	ST	CP	$D_{ing}, \mu Sv a^{-1}$			$D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$		
			av	mn	mx	av	mn	mx
1	WSp-1	T-D-Bt-1	3.9	1.9	6.2	111	55	178
2	"---	T-D-Kj-1	6.5	3.9	12	185	111	344
3	"---	T-D-Okr-2	0.6	0.6	0.6	16	16	16
4	"---	T-DzT-Sl-1(a)	25	15	31	715	437	887
5	"---	T-DzT-Sl-1(b)	23	15	34	672	417	979
6	"---	T-DzT-Sl-1(c)	25	17	32	706	493	900
7	WSp-2	T-GN-Av-1	2.1	1.3	2.8	59	37	79
8	"---	T-D-Ts-1	1.4	0.6	4.2	39	18	121
9	"---	T-D-Kj-3	1.8	1.5	2.3	51	42	65
10	"---	T-D-Tkh-1	3.9	2.1	5.7	112	60	164
11	"---	T-D-Tkh-2	1.5	0.0	4.4	43	1	126
12	"---	T-D-Sh-1	0.5	0.1	2.0	15	2	56
13	"---	T-D-Okr-1	2.0	1.0	2.7	57	30	78
14	"---	T-D-Okr-3	4.6	1.9	7.5	131	53	215
15	"---	T-D-Okr-4	1.4	0.5	1.9	40	16	56
16	"---	T-IS-DL-1	0.7	0.7	0.7	20	20	20
17	"---	T-IS-DL-2	1.5	1.1	1.8	42	31	52

შენიშვნა - დოზების მნიშვნელობების გაანგარიშება შესრულებულია წყლის იმ ტიპებისთვის, რომლებიც გამოიყენება სასმელად (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის).

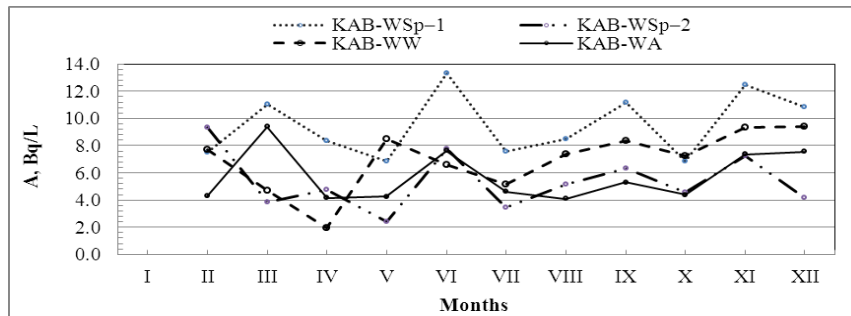
ცხრილი 19. თბილისის (TAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების ($D_{ing}, \mu Sv a^{-1}$, $D_{ing-st}, \mu Sv a^{-1}$) საშუალო (*av*), მინიმალური (*mn*) და მაქსიმალური (*mx*) მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები

#	AB	ST	Prm	$D_{ig}, \mu Sv a^{-1}$			$D_{ig-st}, \mu Sv a^{-1}$		
				av	mn	mx	mn	av	mx
1	TAB	WSp-1	av	14.0	8.9	19.3	401	255	551
2			mn	0.56	0.56	0.56	16.1	16.1	16.1
3			mx	25.0	17.3	34.3	715	493	979
4		WSp-2	av	1.9	1.0	3.3	55.3	28.1	93.8
5			mn	0.52	0.03	0.71	14.8	0.8	20.2
6			mx	4.6	2.1	7.5	131	60	215

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, შეიძლება აღინიშნოს შემდეგი თავისებურებები:

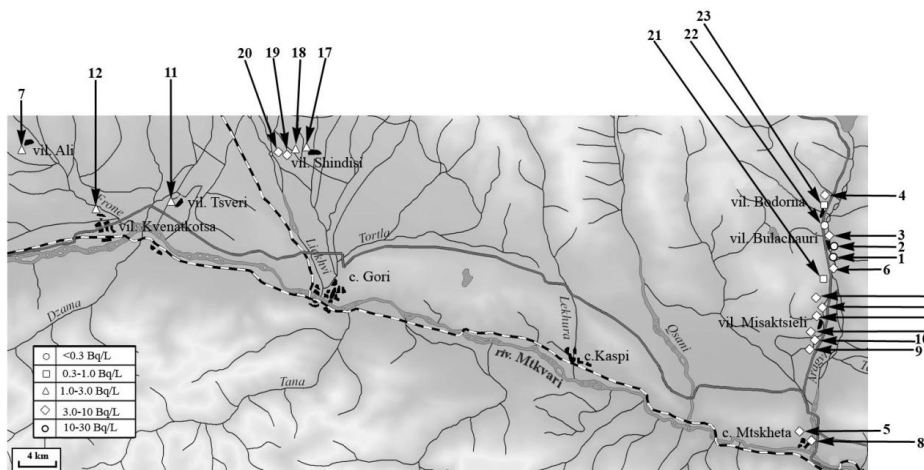
- შედარებით მაღალი აქტივობა დაიმზირება წყაროს წყალში (განსაკუთრებით WSp-1 ტიპის წყლებში), შედარებით დაბალი (ფონურთან ახლოს) რეზერვუარის, ტბის და მდინარის წყლებში (გამონაკლისს წარმოადგენს თბილისის არტეზიულ აუზში მდებარე მდინარის წყლის ორი საკონტროლო პუნქტი, რომლებიც მდებარეობენ წყაროების მახლობლად);
- თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე წყაროს წყალში რადონის აქტივობის საშუალო მნიშვნელობა მნიშვნელოვნად მაღალია (ზოგიერთ წყაროში იმყოფება ზემოდალი მნიშვნელობების ჯგუფში - მეტი 100 Bq/L), ვიდრე ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე (დაახლოებით 7-ჯერ WSp-1 ტიპის წყაროებისთვის და 2-ჯერ WSp-2 ტიპის წყაროებისთვის);
- საშუალო აქტივობის მნიშვნელობები ჭის (6.9 Bq/L) და არტეზიულ (5.7 Bq/L) წყლებში ქართლის არტეზიულ აუზში საკმაოდ ახლოსაა ერთმანეთთან; მათი ცვლილების დიაპაზონი იმყოფება აქტივობის მნიშვნელობების ტიპური და ტიპიურზე მაღალი შემცველობის ჯგუფებში. აქტივობის მნიშვნელობები ჭის წყლებში მონოტონურად იზრდება ჭის სიღრმის ზრდასთან ერთად;
- აქტივობის მნიშვნელობები ერთსა და იმავე საკონტროლო პუნქტში გაზომვის პერიოდზე დამოკიდებულებით რიგ შემთხვევებში (ძირითადად წყაროს წყალში) არის საკმაოდ არასტაბილური (8 საკონტროლო პუნქტში). რაიმე კანონზომიერება სეზონურ განაწილებაში არ დაიმზირება;
- აქტივობების მნიშვნელობები წყლებში, რომლებიც აღებული იქნა ერთსა და იმავე დრენაჟული სისტემიდან, მაგრამ სხვადასხვა ახლოსმდებარე (დაახლოებით 1 მ მანძილის დაშორებით) წყალსადენებიდან

(საკონტროლო პუნქტებში T-DzT-Sl-1(a), T-DzT-Sl-1(b), T-DzT-Sl-1(c) და K-BI-3, K-BI-5 და K-BI-6) საკმაოდ ახლოსაა ერთმანეთთან.



ნახ. 16. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე, ზოგიერთ საკონტროლო პუნქტში, სხვადასხვა ტიპის წყალში, რადონის აქტივობის ყოველთვიური გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L)

ბ. რადონის რუკა



ნახ. 17. ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირული წყლების წყაროების რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განაწილება

#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST	#	CP	ST
1	K-BI-3	WSp-1	6	K-BI-2	-"	11	K-Tsv-1	-"	16	K-Ms-7	-"	21	K-Ts-1	WR
2	K-BI-5	-"	7	K-A-1	-"	12	K-Kv-1	-"	17	K-Sh-1	-"	22	K-BI-1	-"
3	K-BI-6	-"	8	K-Mts-2	WW	13	K-Ms-2	WA	18	K-Sh-2	-"	23	K-BI-4	WRs
4	K-Bd-1	-"	9	K-Ms-1	-"	14	K-Ms-4	-"	19	K-Sh-3	-"			
5	K-Mts-1	WSp-2	10	K-Ms-3	-"	15	K-Ms-6	-"	20	K-Sh-4	-"			

შენიშვნა: საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 6).

4.1.2.2.2. რადიოლოგიური პარამეტრები

სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, არტეზიული) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$, D_{inh} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$) საშუალო (*av*), მინიმალური (*mn*) და მაქსიმალური (*mx*)

მნიშვნელობები სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე იანვარი - დეკემბრის პერიოდისათვის მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 22).

იანვარი - დეკემბრის პერიოდში ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$, D_{inh} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 23).

ცხრილი 22. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$) საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები

#	ST	CP	D_{ing} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$			D_{ing-st} , $\mu\text{Sv a}^{-1}$		
			av	mn	mx	av	mn	mx
1	WSp-1	K-BI-3	2.4	0.8	3.5	68	22	100
2	"---"	K-BI-5	2.3	1.1	3.2	65	30	92
3	"---"	K-BI-6	1.8	1.3	2.4	51	38	68
4	"---"	K-Bd-1	1.5	0.7	2.0	43	20	59
5	WSp-2	K-Mts-1	1.6	0.8	2.2	46	22	62
6	"---"	K-BI-2	0.6	0.3	1.1	18	10	31
7	"---"	K-A-1	0.2	0.1	0.4	6.4	2.8	10.1
8	WW	K-Mts-2	0.8	0.8	0.8	0.2	0.2	0.2
9	"---"	K-Ms-1	1.5	0.6	2.4	42	18	68
10	"---"	K-Ms-3	1.9	1.5	2.2	54	42	63
11	"---"	K-Tsv-1	0.2	0.2	0.2	6.5	6.5	6.5
12	"---"	K-Kv-1	0.6	0.6	0.6	17	17	17
13	WA	K-Ms-2	0.8	0.8	0.8	22	22	22
14	"---"	K-Ms-4	1.3	1.3	1.3	38	38	38
15	"---"	K-Ms-6	0.9	0.5	1.6	26	14	46
16	"---"	K-Ms-7	1.8	1.0	2.6	51	29	73
17	"---"	K-Sh-1	0.3	0.2	0.5	10	6	13
18	"---"	K-Sh-2	0.5	0.3	0.7	14	9	19
19	"---"	K-Sh-3	1.2	1.1	1.3	33	31	36
20	"---"	K-Sh-4	0.7	0.6	0.9	21	16	26

შენიშვნა: დოზების მნიშვნელობების გაანგარიშება შესრულებულია წყლის იმ ტიპებისთვის, რომლებიც გამოიყენება სასმელად (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის);

ცხრილი 23. ქართლის (KAB) არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე საკონტროლო პუნქტების სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში (წყაროს, ჭის, ჭაბურღილის) რადონით დასხივების რადიოლოგიური დოზების (D_{ing} , $\mu Sv a^{-1}$, D_{ing-st} , $\mu Sv a^{-1}$) საშუალო (*av*), მინიმალური (*mn*) და მაქსიმალური (*mx*)

მნიშვნელობების განზოგადებული მნიშვნელობები

#	ST	Prm	D_{ig} , $\mu Sv a^{-1}$			D_{ig-st} , $\mu Sv a^{-1}$		
			av	mn	mx	min	av	mx
1	WSp-1	aver	2.0	1.0	2.8	57	28	80
2		min	1.5	0.7	2.0	43	20	59
3		max	2.4	1.3	3.5	68	38	100
4	WSp-2	aver	0.82	0.41	1.2	23	12	34
5		min	0.23	0.10	0.35	6.4	2.8	10.1
6		max	1.6	0.8	2.2	46	22	62
7	WW	aver	1.0	0.7	1.2	24	17	31
8		min	0.23	0.23	0.23	0.17	0.17	0.17
9		max	1.9	1.5	2.4	54	42	68
20	WA	aver	0.94	0.73	1.2	27	21	34
11		min	0.34	0.22	0.46	9.7	6.3	13.2
12		max	1.8	1.3	2.6	51	38	73

ანალიზი

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, ქ. თბილისის გეოგრაფიულ არეალში თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, სხვადასხვა ტიპის ზედაპირულ წყლებში დაიმზირება რადონის აქტივობის ცვლილების საკმაოდ ფართო დიაპაზონი, ძალიან დაბალი მნიშვნელობებიდან ($< 0.3 Bq/L$) ზემაღალ მნიშვნელობამდე ($>100 Bq/L$).

თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე წყაროს წყლებში დამზერილი რადონის აქტივობის ცვლილების ფართო დიაპაზონი (განსაკუთრებით უშუალოდ წყაროსთან ადებულ წყლის ნიმუშებში), დაკავშირებულია აღნიშნული აუზების განსხვავებულ გეოლოგიურ სტრუქტურასთან.

ქ.თბილისის გეოგრაფიული არეალის ტერიტორია მდებარეობს ძლიერ დატოტილ მთათა სისტემებს შორის [56]. ერთი მხრიდან (ჩრდილოეთით) - კავკასიის მთავარი ქედი, მეორე მხრიდან (სამხრეთით) - შედარებით ნაკლებად დასერილი აჭარა-თრიალეთის ნაოჭების ზოლი. თბილისის მიდამოებში გავრცელებულია სხვადასხვა ასაკის ქანების ფენები - მეზოზოურის დასასრულის, პალეოგენის დასასრულის, მიოცენის

რამოდენიმე ეპოქის და ა.შ., რომლებიც ბევრ ადგილას გამოდიან ზედაპირზე. აღნიშნული ქანები ატარებენ თავის დროზე (მილიონობით წლის წინ) მოქმედი ვულკანების კვალს, მაგალითად ტუფბრექჩიები და ა.შ.. თბილისის ტერიტორიაზე უამრავი თერმული წყაროა (ზოგ შემთხვევებში გამოიყენება პრაქტიკული მიზნებისათვის - აბანოებში, გათბობისათვის და ა.შ.), რაც ასევე ადასტურებს რეგიონის რთულ გეოლოგიურ სტრუქტურას.

ქართლის არტეზიული აუზი, ძირითადად გადაჭიმულია სწორ ტერიტორიაზე ორი მთის სისტემებს შორის - კავკასიის მთავარი და აჭარა-თრიალეთის ქედები (რომლებიც კვებავენ მიწისქვეშა წყლის რესურსებს).

აღნიშნული აუზების გეოლოგიური სტრუქტურის ამ თავისებურებებმა შესაძლოა გამოიწვიონ განსხვავება ქანებში რადიოაქტიური დაშლის დროს გამოყოფილი რადონით მიწისქვეშა წყლების გაჯერების ხარისხში, რადონის მიგრაციაში, ატმოსფეროში გამოსვლის სიჩქარეში და ა.შ.. სავარაუდოდ, ეს თვისებები იწვევენ წყაროს, ჭის და არტეზიული წყლების რადიოაქტივობის დაბალ მნიშვნელობებს ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე.

მეორე ტიპის წყაროს წყლებისთვის (ნიმუშის ალება წყაროს ადგილმდებარეობის ზონიდან მოშორებით) დამზერილი შესამჩნევად დაბალი მნიშვნელობები, პირველი ტიპის წყაროს წყლებთან შედარებით (ნიმუშის ალება წყაროს ადგილმდებარეობის ზონაში), დაკავშირებულია წყალსადენის მილებში (ასევე შემგროვებელ რეზერვუარებში) რადონის ინტენსიური დეგაზაციის პროცესებთან. უნდა აღინიშნოს, რომ ქართლის არტეზიულ აუზში მდებარე წყაროს, ჭის და არტეზიულ წყლებში რადონის აქტივობის შესამჩნევი განსხვავება არ დაიმზირება. ეს გარემოება გამოწვეულია ქართლის არტეზიულ აუზის ზონაში გეოლოგიური სტრუქტურის ჰომოგენურობის მაღალ ხარისხთან, რაც იწვევს მიწისქვეშა წყლებიდან რადონის თანაბარ აერაციას. როგორც ჩანს ამ გარემოებასთან არის დაკავშირებული წყლის ნიმუშების ალების პერიოდზე დამოკიდებულებით ქართლის არტეზიულ აუზში წყაროს წყლების

(პირველი ტიპის) აქტივობის შედარებით მაღალი სტაბილურობა თბილისის არტეზიულ აუზში არსებულ წყაროს წყლებთან შედარებით.

ჭაბურღილის სიღრმის ზრდასთან ერთად ჭის წყლის რადიოაქტივობის ზრდა შესაძლოა გამოწვეულია ორი ძირითადი ფაქტორით: სიღრმის ზრდასთან ერთად შესაძლოა გაზრდილია ნიადაგური რადონის აქტივობა, რაც იწვევს რადონით წყლის აერაციის ხარისხის გაზრდას; მეორე მხრივ ჭა წარმოადგენს სუსტად ვენტილირებულ სისტემას და იმის გათვალისწინებით, რომ რადონი ბევრად მძიმეა ჰაერზე, იგი შეიძლება დაგროვდეს ჭაში არსებული წყლის ზედაპირზე რაც იწვევს ასევე დეგაზაციის შემცირებას სიღრმის ზრდასთან ერთად.

მდინარის წყალში ზოგიერთ შემთხვევებში დამზერილი აქტივობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები, შესაძლოა დაკავშირებული იყოს მდინარის წყლის შერევით ახლომდებარე მიწისქვეშა წყლებთან. წყაროდან მოშორებით (რამოდენიმე კილომეტრით) მდინარის წყალში რადონის აქტივობა ახლოსაა ფონურ მნიშვნელობასთან.

ცხრილში (ცხრილი 24) მოცემულია მიღებული შედეგების შედარება ზოგიერთ ლიტერატურულ მონაცემებთან.

ცხრილი 24. ბუნებრივ წყლებში რადონის კონცენტრაციის (A) საშუალო, მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები სხვადასხვა ქვეყნების მონაცემების მიხედვით

#	ქვეყანა (რეგიონი)	წყლის ტიპი	A, Bq/L			ლიტერატურა
			av	mn	mx	
1	ლებანონი (ბეირუთი, მთიანი ლებანონი, ბექა და ა.შ.)	WSp-1	29.0	9.8	49.6	[57]
2	ინდოეთი (ბუდჰაკედარი): • ზაფხული • ზამთარი		510	8	3047	[58] "-"
			433	26	2311	"-"
3	ინდოეთი (ბადშაჰი თაული): • წვიმიანი • ზამთარი		-	-	9.2	[59] "-"
			2.1	-	-	"-"
4	თურქეთი (ტოკათი)		-	0.13	1.2	[60]
5	ირანი (შანდიზი, ზომკი და აბრდეჰი)		-	0.327	31.88	[61]
6	ირანი (მაშჰადი)		-	12.62	20.65	[62]
7	ირანი (რამსარი)		25.323	-	-	[63]
8	ლუქსენბურგი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები*)		17	2	60	[64]

9	ესპანეთი (ექსტრემადურა)		98	0.15	1200	[65]
10	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • თბილისის არტეზიული აუზი • ქართლის არტეზიული აუზი	WSp-2	72.3	2.7	163	მოცემული სამუშაო "-"
			9.5	3.3	16.6	"-
11	ლუბანონი (ბეირუთი, მთიანი ლუბანონი, ბექა და ა.შ.)	WSp-2	4.7	0.46	9.4	[57]
12	პოლონეთი: • ზელიონაია გორა • ვოლბრიჩი	WSp-2	283	264	302	[66]
			131	8	427	
13	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • თბილისის არტეზიული აუზი • ქართლის არტეზიული აუზი	WSp-2	8.4	0.1	35.8	მოცემული სამუშაო "-"
			5.4	0.5	10.3	"-
14	პოლონეთი: • ზელიონაია გორა • ვოლბრიჩი	WW	207	<3	1378	[66]
			174	16	466	"-
15	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები*)	WW	50	38	63	[67]
16	ბრაზილია (კურითუბა)	WW	-	1.57	215.16	[68]
17	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები*)	WW	92	-	3800	[69]
18	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • ქართლის არტეზიული აუზი	WW	6.9	1.1	11.4	მოცემული სამუშაო
19	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები*)	WA	460	340	580	[67]
20	შვეცია (სტოკჰოლმი)	WA	-	3.7	5800	[70]
21	მექსიკა (ტბა ქუითზეო)	WA	-	0.8	3.66	[71]
22	ფინეთი (სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტები*)	WA	1020	-	77000	[67]
23	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • ქართლის არტეზიული აუზი	WA	5.7	1.1	12.2	მოცემული სამუშაო
24	ირანი (შანდიზი, ზოშკი და აბრდეჰი)	WR	-	0	18.578	[61]
25	ირანი (რამსარი)	WR	1.450	0	4.117	[63]
26	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • თბილისის არტეზიული აუზი • ქართლის არტეზიული აუზი	WRs	2.2	0.1	7.0	მოცემული სამუშაო "-"
			0.2	0.03	0.5	"-
27	ირანი (მაშჰადი)	WRs	2.15	-	-	[72]
28	საქართველო (თბილისის გეოგრაფიული არეალი): • ქართლის არტეზიული აუზი	WRs	0.4	-	-	მოცემული სამუშაო

შენიშვნა:

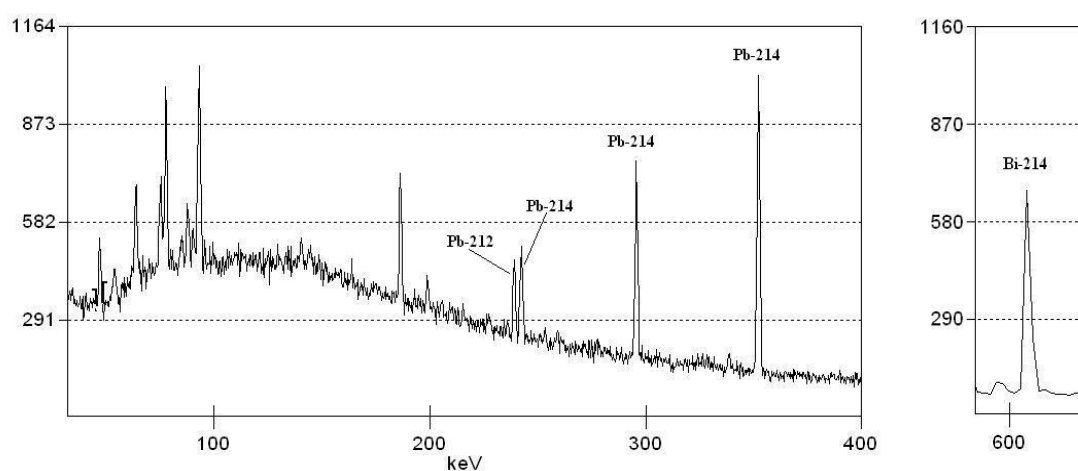
1) * - საკონტროლო პუნქტები მდებარეობენ ქვეყნის მთელ ტერიტორიაზე (არ არის აღნიშნული კონკრეტული მდებარეობა);

4.2. სპეციალური კვლევები

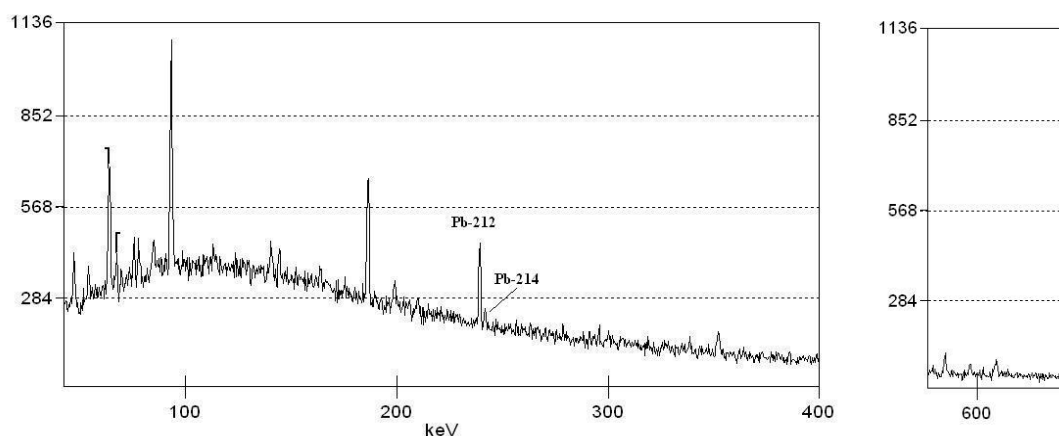
4.2.1. წყლის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

ა. შედეგები

ჩატარდა ასევე ზოგიერთი ნიმუშის გამა-სპექტრომეტრული კვლევები. მაგალითის სახით მოყვანილია ვაკის სასმელი "წყალსადენის" წყლის (ნიმუში 338- TW) გამა-სპექტრი - წყლის ნიმუშის ალების დღეს და ალებიდან 30 დღის შემდეგ (ნახ. 18.).



ა)



ბ)

ნახ. 18. სასმელი "წყალსადენის" წყლის ნიმუშის (338- TW-Vk) გამა-სპექტრები (ფართობის ინტერვალით 40-400 keV მარცხნივ და 580-620 keV არემი მარჯვნივ)

ა) სპექტრის ჩაწერა დაიწყო ნიმუშის ალების დღეს;

ბ) სპექტრის ჩაწერა დაიწყო ნიმუშის ალებიდან 30 დღის შემდეგ

როგორც ნახაზიდან (ნახ. 18., ა) ჩანს ამ შემთხვევაში დაიმზირება რადონის დაშლის პროდუქტების Pb-214 და Bi-214 საკმაოდ ინტენსიური

გამოსხივების პიკები - 242, 295, 351 და 609 keV არეში. შესაბამისად გაანგარიშებული მათი აქტივობის კონცენტრაცია მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 25). ამავე ცხრილში ნაჩვენებია რადონის აქტივობის კონცენტრაციის შედეგი ნიმუშში (719-47-TW-Vk), რომელიც აღებული იყო ნიმუშში 338-TW-Vk -თან ერთად და გაიზომა დეტექტორ RAD-7-ზე (ალფა-სპექტრომეტრული მეთოდით).

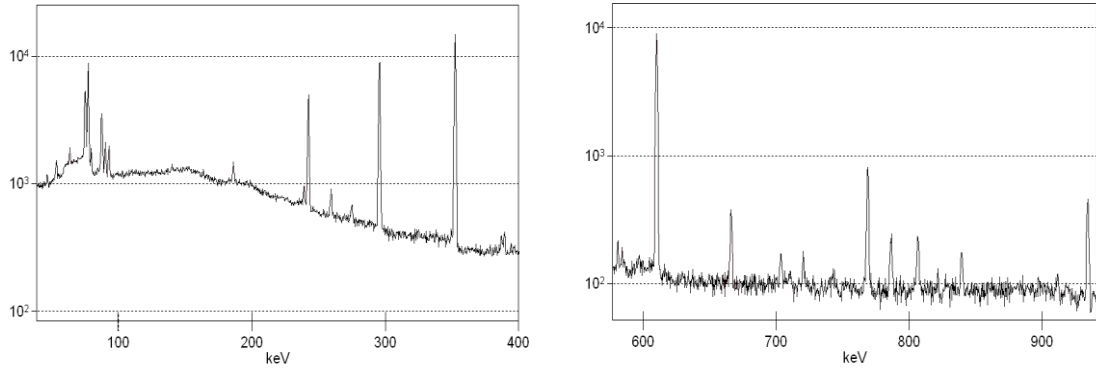
30 დღის შემდეგ აღნიშნული პიკების ინტენსივობა შემცირებულია ან საერთოდ გამქრალია (ნახ. 18., ბ). ეს გარემოება გამოწვეულია შემდეგით - რადონის ნახევარდაშლის პერიოდი არის 3.8 დღე. 30 დღეში რადონის კონცენტრაცია შემცირდება ~ დაახლოებით 256 - ჯერ, შესაბამისად მცირდება ასევე რადონის დაშლის შედეგად მიღებული რადიონუკლიდების Pb-214 და Bi-214 გამოსხივება.

შენიშვნა: სხვა პიკები გამოწვეულია აპარატურის ფონით და ამიტომ 30 დღის შემდეგ გადაღებულ სპექტრში დარჩა უცვლელი.

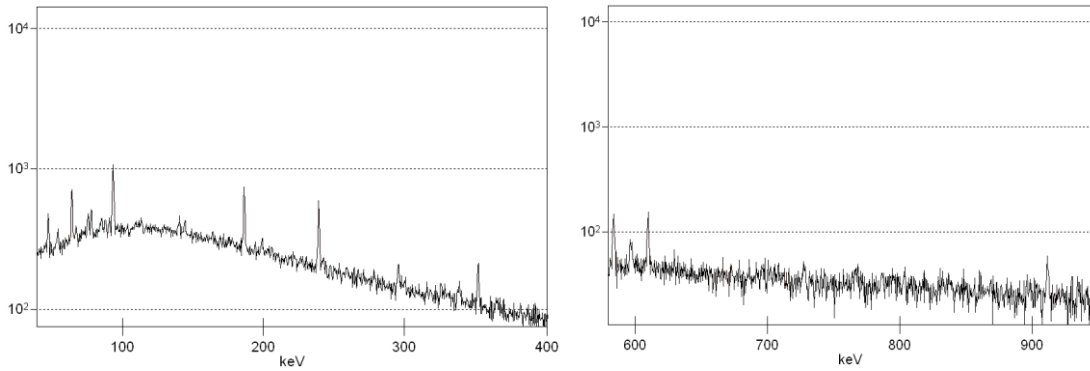
ცხრილი 25. წყლის ნიმუშებში (338-TW და 719-47-WT-Vk) რადონის აქტივობის კონცენტრაცია გამა-სპექტრომეტრის (A1) და ალფა-სპექტრომეტრის მეთოდებით (A2), და მათი შეფარდება ($D = A1 / A2$)

#	ნიმუშის #	A1, Bq/L		A2, Bq/L	D
		Pb-214	Bi-214		
1	338- TW	2.51	2.36	-	-
2	719-47-WT-Vk	-	-	3.02	0.81

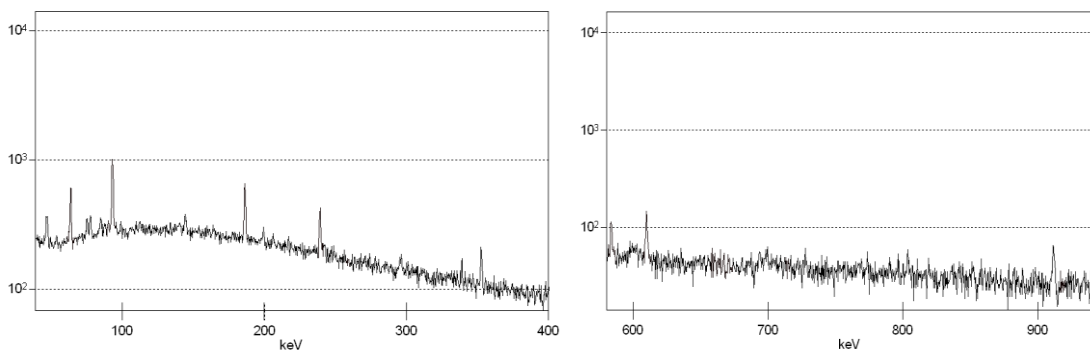
ერთ-ერთი ნიმუშის (წყაროს წყლის 2-WSp) გამა სპექტრი, რომელიც აღებული იყო საკონტროლო პუნქტში T-D-Kj-1 (რადონის კონცენტრაციამ შეადგინა 49.8 Bq/L) 40 – 400 keV (სადაც ჩვეულებრივ დაიმზირება Pb-214-ის ძირითადი პიკი) და 600 – 950 keV (სადაც დაიმზირება Bi-214-ის ზოგიერთი ძირითადი პიკი) ფართობის ინტერვალში მოცემულია ნახაზზე (ნახ. 19). ამავე ნიმუშის სპექტრი 30 დღიანი დაყოვნების შემდეგ იგივე ფართობის ინტერვალში მოცემულია ნახაზზე (ნახ. 20.). შედარებისათვის მოცემულია აგრეთვე ფონური გამოსხივების სპექტრი, რომელიც ჩაწერილი იყო ნიმუშის გარეშე (ნახ. 21).



ნახ. 19. წყაროს წყლის ნიმუშის (2-WSp კოჯორი) სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში (სპექტრი ნიმუშის ალების დღეს)



ნახ. 20. წყაროს წყლის ნიმუშის (2-WSp კოჯორი) სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში (სპექტრი ნიმუშის ალებიდან 30 დღის შემდეგ)

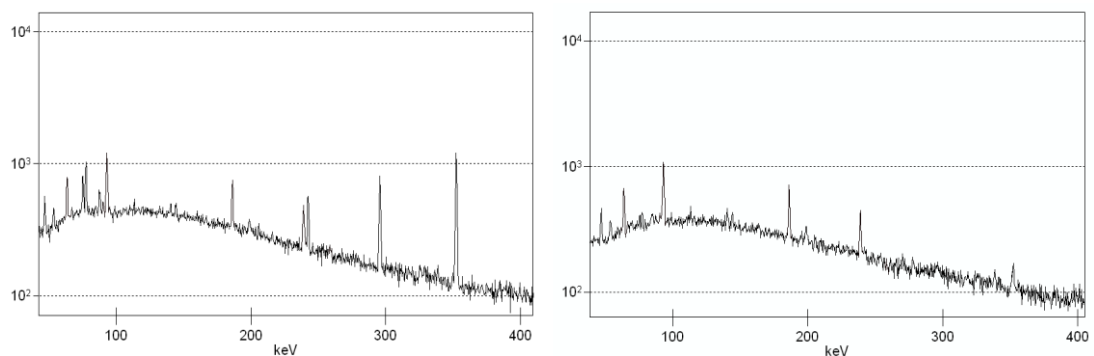


ნახ. 21. ფონური გამოსხივების სპექტრი 40 – 400 keV (მარცხნივ) და 600 – 950 keV (მარჯვნივ) ფართობის ინტერვალში (სპექტრი ნიმუშის გარეშე)

როგორც მონაცემებიდან ჩანს სპექტრების ხასიათი და სტრუქტურა მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისაგან. ფუძემდის ფონური

გამოსხივების ინტენსივობა, ასევე ზოგიერთი პიკის ინტენსივობა და მათი რაოდენობა ნიმუშის 30 დღიანი დაყოვნების შემდგომ სპექტრში მნიშვნელოვნად მცირდება და ემსგავსება ფონური გამოსხივების სპექტრს (რომელიც ჩაიწერება ნიმუშის გარეშე). ასე მაგალითად, ერთი რიგით და მეტად მცირდება პიკების 74, 77, 87, 89, 242, 295, 351 keV და 609, 1120, 1238, 1764 keV დათვლის სიჩქარე (ცხრილი 26). პრაქტიკულად ქრებიან საკმაოდ ინტენსიური პიკები 79, 2204 და 2447 keV ფართობში, ასევე სხვა პიკებიც. უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგიერთი პიკების დათვლის სიჩქარე პრაქტიკულად არ იცვლება (მაგ. 63, 1461 keV ფართობში), ან ადგილი აქვს უმნიშვნელო ცვლილების ტენდენციას შემცირებისაკენ (მაგ. 46, 93, 186, 511 keV ფართობში). კონკრეტულ შემთხვევებში ადგილი აქვს დათვლის სიჩქარის ზრდას (მაგ. 238, 583, 2614 keV ფართობში).

საკონტროლო პუნქტში Nt-1 (ნახ. 22 მარცხნივ) აღებული წყალსადენის წყლის ნიმუშის (3-WT) სპექტრში, რადონის კონცენტრაცია იყო ერთი რიგით ნაკლები, ვიდრე ნიმუშში 2-WSp (4.0 Bq/L). პიკების 74, 77, 87, 89, 242, 295 და 351 keV დათვლის სიჩქარე ასევე შესამჩნევად დაბალია (ცხრილი 26). თუმცა 30 დღიანი დაყოვნების შემდეგ მათი შემცირების ეფექტი რჩება საკმაოდ შესამჩნევი (ნახ. 22 მარჯვნივ). ანალოგიური დინამიკა შეინიშნება Bi-214-თან დაკავშირებულ პიკებთან.



ნახ. 22. წყლის ნიმუშის (245-3-TW) სპექტრი 40 – 400 keV ფართობის ინტერვალში 30 დღიანი დაყოვნებამდე (მარცხნივ) და დაყოვნების შემდეგ (მარჯვნივ)

ცხრილი 26. გამოკვლეული ნიმუშების სპექტრებში იმპულსების ჩაწერის სიჩქარე K (იმპულსების რიცხვი 1000 sec – cpKs-ზე) ძირითადი პიკებისთვის (მოცემულია ენერგია – E, და კვანტური გამოსავალი – Y) 30 დღიან დაყოვნებამდე (R_{in}) და დაყოვნების შემდეგ (R_{mnth}), ასევე ფონის სპექტრში (bckgr)

Nuclide	E, keV	Y, %	2-SpW		3-TW		4-SpW		5-SpW		bckgr
			R_{in}	R_{mnth}	R_{in}	R_{mnth}	R_{in}	R_{mnth}	R_{in}	R_{mnth}	
Pb-210	46.54	4.25	3.0	2.3	3.1	2.5	3.0	2.1	2.7	2.5	2.4
Th-234	63.29	3.70	4.6	4.6	4.3	4.0	4.6	4.5	5.5	4.7	4.0
Pb-212	74.82	10.28	47.5	1.7	4.3	0.5	1.1	0.7	7.9	1.1	1.0
Pb-214	74.82	5.80									
Pb-214	77.11	9.70	81.8	2.0	6.9	0.9	66.7	1.3	11.9	1.5	1.5
Bi-214	79.29	0.68	6.9	-	0.5	-	6.5	-	1.2	-	0.0
Pb-212	87.17	6.04	32.6	1.0	2.8	0.7	24.5	0.5	4.9	0.4	0.8
Pb-214	87.17	3.41									
Bi-214	89.80	0.31	13.1	1.0	1.2	0.8	9.5	0.4	2.2	0.5	0.8
Pb-212	89.78	1.46									
Th-234	92.59	4.25	11.2	9.8	10.6	10.0	10.0	9.7	10.0	10.0	10.1
U-235	163.33	5.08	1.0	0.6	-	-	-	0.7	-	0.7	0.0
U-235	185.72	57.20	5.4	5.0	5.6	4.5	2.7	5.4	5.6	5.3	4.5
Ra-226	186.21	3.59									
Pb-212	238.63	43.60	3.0	4.7	3.9	3.4	3.4	3.1	3.0	3.4	2.9
Pb-214	242.00	7.25	54.0	0.3	4.7	0.6	43.6	0.5	7.8	0.2	0.5
Pb-214	295.22	18.42	114.2	0.9	9.0	-	91.0	1.1	14.7	0.8	0.7
Pb-214	351.93	35.60	189.4	1.5	14.4	1.1	151.6	1.8	24.7	1.1	1.5
AR	511.00	-	10.8	10.0	9.3	8.5	6.9	8.4	9.0	8.6	10.1
Tl-208	583.19	84.50	0.9	1.8	1.0	1.2	1.0	0.9	0.9	1.6	1.2
Bi-214	609.31	46.10	139.7	1.7	10.7	0.9	111.1	1.3	18.1	1.2	1.4
Bi-212	727.33	6.58	0.2	0.3	-	-	0.3	-	-	-	-
Bi-214	1120.29	15.10	27.4	0.5	2.2	0.3	22.5	0.3	3.4	-	0.4
Bi-214	1238.11	5.79	10.1	0.2	0.9	-	7.9	-	1.4	-	0.0
Bi-214	1377.67	4.00	6.8	0.3	0.5	-	5.9	-	1.1	-	0.0
K-40	1461.00	10.67	2.5	2.5	2.7	2.7	2.4	3.0	3.0	3.0	3.2
Bi-214	1764.49	15.40	21.4	0.5	2.0	0.4	17.2	0.6	0.0	0.4	0.4
Bi-214	2204.21	5.08	5.4	-	0.5	0.1	4.4	-	0.7	-	0.0
Bi-214	2447.86	1.57	1.7	-	0.1	-	1.1		0.2	-	0.0
Tl-208	2614.53	99.16	1.1	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.2

შენიშვნა: R – ანიხილაციური გამოსხივება.

ბ. ანალიზი

დამზერული გამა-სპექტრების სტრუქტურის ცვლილების დინამიკის თავისებურებები, როგორც წყალსადენის ასევე წყაროს წყლებისთვის შენახვის დროის მიხედვით, აიხსნება წყალში გახსნილი არაწონასწორული რადონის დაშლის პროცესებით. საწყის მომენტში, მისი დაშლის პროდუქტების (გამა გამომსხივებლები Pb-214 და Bi-214) კონცენტრაცია საკმაოდ მაღალია წონასწორულზე, რაც განაპირობებს შესაბამისი პიკების

თვლის დიდ სიჩქარეებს. შედეგად, ამ ნუკლიდებთან დაკავშირებული პიკების თვლის სიჩქარე მცირდება.

რადონის კონცენტრაციის მნიშვნელობების საკმაოდ კარგი შეფარდება, რომელიც მიღებული იყო ორი მეთოდით (ცხრილი 27, ცხრილი 28), მოწმობს მოქმედი ფაქტორების უმნიშვნელო გავლენაზე. გამა-სპექტროსკოპიით მიღებული კონცენტრაციების შედარებით დაბალი მნიშვნელობები, შესაძლოა დაკავშირებული იყოს ნიმუშის ალების სპეციფიკასთან, რადგან ამ ორი მეთოდის დროს გამოიყენება სხვადასხვა ფორმის და მასალისაგან დამზადებული ჭურჭელი. გამა-სპექტრომეტრის დროს გამოყენებული მარინელის ჭურჭლის (1,2 ლ მოცულობის) შესავსებად მეტი დროა საჭირო. ჭურჭელში ნიმუში ღია მდგომარეობაში შედარებით მეტხანსაა, ამიტომ ჭურჭლის ჰერმეტიულად დახურვამდე ადგილი აქვს რადონის აერაციას.

დამზერილი შემთხვევები ნიმუშის ერთთვიანი გაჩერების შემდეგ ზოგიერთი ნუკლიდის პიკისთვის, რომლებიც არ წარმოადგენენ არაწონასწორული რადონის დაშლის პროდუქტებს, თვლის სიჩქარის უმნიშვნელო ცვლილება შესაძლოა გამოწვეული იყოს, როგორც ფონით [73], ასევე ნიმუშის თავისებურებებით (მათი შესაძლო მიზეზების დასაზუსტებლად საჭიროა დამატებითი კვლევების ჩატარება).

ნიმუშებში გამა-სპექტრომეტრული კვლევებით მიღებული რადიონუკლიდების Pb-214, Bi-214 აქტივობის კონცენტრაცია მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 27). ამავე ცხრილში მოცემულია შესაბამისი ნიმუშების დუბლიკატების ალფა-სპექტრომეტრული მეთოდით რადონის კონცენტრაციის კვლევის მონაცემები. აღნიშნული შედეგები საკმაოდ ახლოსაა ერთმანეთთან, თუმცა ამასთანავე ყველა შემთხვევაში შედეგები მიღებული გამა სპექტრომეტრული მეთოდით შედარებით ნაკლებია.

ცხრილი 27. ნუკლიდების Pb-214, Bi-214 კონცენტრაცია გამოთვლილი გამა-სპექტრებით და Rn-222 კონცენტრაცია შესაბამისი ნიმუშების დუბლიკატებისთვის გამოთვლილი ალფა-სპექტრებით

ნიმუში	2- WSp	3- WT	4- WSp	5- WSp
Bi-214	39.6	3.6	29.0	4.5
Pb-214	38.8	3.7	29.0	4.9
ნიმუში	29- WSp	33- WT	58- WSp	66- WSp
Rn-222	49.8	4.0	33.9	5.4

ცხრილი 28. წყლის ნიმუშებში რადონის აქტივობის კონცენტრაცია გამა-სპექტრომეტრიის (A1) და ალფა-სპექტრომეტრიის მეთოდებით (A2), და მათი შეფარდება ($D = A1 / A2$)

№	საკონტროლო პუნქტი	ნიმუშის ტიპი	A1, Bq/L		A2, Bq/L	D
			Pb-214	Bi-214	Rn-222	
1	კოჯორი	წყაროს წყალი	36.89	36.76	44.85	0.82
2	ნატახტარი	წყალსადენის წყალი	3.31	3.02	3.49	0.91
3	რუსთავი	სასმელი წყალი	14.25	13.63	15.1	0.92
4	კოჯორი-2	წყაროს წყალი	29.3	28.9	33.9	0.86
5	წყნეთი-2	წყაროს წყალი	9.48	9.05	5.63	1.65
6	პაპე	სსმელი წყალი (მარინელის ჭურჭელში)	2.51	2.36	3.02	0.81
7	სოლოლაკი, T-DzT-SI-1(c)	წყაროს წყალი	97.6	94.8	135.4	0.71

4.2.2. ნიადაგური აირის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა

ა. შედეგები

თებერვალი - ნოემბრის განმავლობაში ნიადაგურ აირში ჩატარებული იყო რადონის კონცენტრაციის 13 გაზომვა, კერძოდ:

- 9 გაზომვა 7 საკონტროლო პუნქტში, რომლებიც მდებარეობენ წყაროებთან ახლოს თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე;
- 4 გაზომვა 3 საკონტროლო პუნქტში, რომლებიც მდებარეობენ წყაროებთან ახლოს ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე.

თებერვალი - ნოემბრის განმავლობაში თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის (A, Bq/L),

მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}) და მაქსიმალური (A_{mx}), მნიშვნელობები და აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება მოყვანილია ცხრილში (ცხრილი 29), ხოლო გასაშუალებული მნიშვნელობები გრაფიკულად ნახაზზე (ნახ. 23.).

თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}) და მაქსიმალური (A_{mx}), მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 30). თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე ნიადაგის ჰაერის რადონის რუკა მოცემულია ნახაზზე (ნახ. 24).

ცხრილი 29. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) აუზების ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ ჰაერში რადონის აქტივობის საშუალო (A_{av}) მნიშვნელობები და აქტივობის ჯგუფებად (GA) განაწილება

#	AB	CP	A_{av} , Bq/m ³	GA		
				I	II	III
1	TAB	T-D-Kj-2	2025			
2		T-D-Bt-4	8660			
3		T-D-Bt-2	160			
4		T-D-Ts-2	930			
5		T-DzT-SI-3	1880			
6		T-DzT-SI-4	1350			
7		T-VS-Ls-3	10520			
8	KAB	K-Ms-5	1985			
9		K-BI-7	60			
10		K-Bd-2	620			

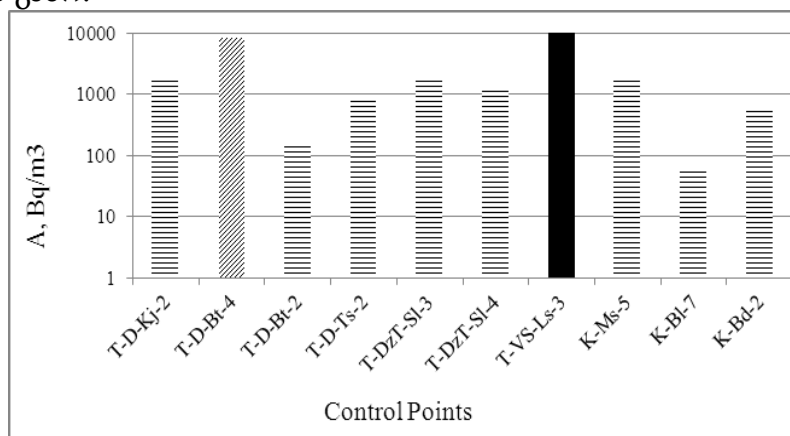
ცხრილი 30. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) აუზების ტერიტორიაზე ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ ჰაერში რადონის განზოგადებული თვიური აქტივობა (A , Bq/ m³), მისი საშუალო (A_{av}), მინიმალური (A_{mn}) და მაქსიმალური (A_{mx}) მნიშვნელობები

#	AB	A_{av} , Bq/m ³	A_{mn} , Bq/m ³	A_{mx} , Bq/m ³
1	TAB	3646	160	10520
4	KAB	888	60	1985

როგორც შედეგებიდან ჩანს, არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, რადონის შემცველობა ნიადაგურ აირში იცვლება ფართო დიაპაზონში, კერძოდ:

- თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე იცვლებოდა 160 - 10520 Bq/m³ (საშუალო მნიშვნელობით 3646 Bq/m³);
- ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ცვლილების დიაპაზონი რამდენადმე დაბალია 60 - 1985 Bq/m³ (საშუალო მნიშვნელობით 888 Bq/m³).

შენიშვნა: უნდა აღინიშნოს, რომ ნიადაგურ აირში მარტში დაიმზირებოდა რადონის აქტივობის შედარებით დაბალი მნიშვნელობები, რაც გამოწვეულია ნიადაგის ჭარბი ტენიანობით წელიწადის ამ დროს წვიმიანი ამინდების გამო.



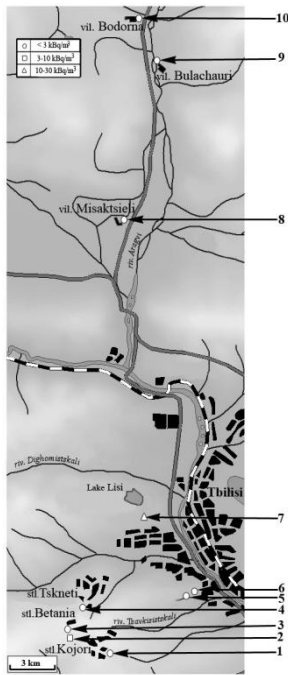
ნახ. 23. თბილისისა (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე, ზოგიერთი საკონტროლო პუნქტის ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის გასაშუალებული მნიშვნელობები (A, Bq/L)

შენიშვნა:

I		$A_{av} < 3000 \text{ Bq/m}^3$	- დაბალი
II		$A_{av} = 3000 - 10000 \text{ Bq/m}^3$	- ტიპიური
III		$A_{av} = 10000 - 30000 \text{ Bq/m}^3$	- მაღალი

შენიშვნა: საკონტროლო პუნქტების დასახელებები და მათი ძირითადი მახასიათებლები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 8).

ბ. რადონის რუკა



№	CP
1	T-D-Kj-2
2	T-D-Bt-4
3	T-D-Bt-2
4	T-D-Ts-2
5	T-DzT-SI-3
6	T-DzT-SI-4
7	T-VS-Ls-3
8	K-Ms-5
9	K-BI-7
10	K-Bd-2

ნახ. 24. თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე ნიადაგური აირის რადონის რუკა, საკონტროლო პუნქტების სქემატური განლაგება

გ. ანალიზი

როგორც მიღებული შედეგებიდან ჩანს, თბილისის გეოგრაფიულ არეალში, თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე, ნიადაგურ აირში დაიშვრება რადონის აქტივობის ცვლილების საკმაოდ ფართო დიაპაზონი - დაბალიდან (ნაკლები 3000 Bq/m^3) მაღალ მნიშვნელობებამდე ($10\,000 - 30\,000 \text{ Bq/m}^3$).

თბილისის არტეზიულ აუზში დამზერილი ნიადაგური რადონის კონცენტრაციის გასაშუალებელი მნიშვნელობების საკმაოდ მაღალი სიდიდეები ქართლის არტეზიულ აუზთან შედარებით (დაახლოებით 2.5-ჯერ) შესაძლოა დაკავშირებული იყოს აღნიშნული ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების თავისებურებებთან (რომლებიც აღნიშნა ზედაპირული წყლების ანალიზში).

მიღებული შედეგები შედარდა ლიტერატურულ მონაცემებს და დადგინდა, რომ რამდენადმე ნაკლებია (ცხრილი 31).

ცხრილი 31. ნიადაგური რადონის კვლევის შეჯამებული შედეგები სხვადასხვა ქვეყნების მონაცემებით

#	რეგიონი	რადონის კონცენტრაცია, kBq/m ³		ლიტ.
		mn	mx	
1	ოტავა, კანადა	6.8	74.7	[74]
2	ოტავას რაიონი, კანადა			[75]
	• ქუმბერლენდი	2.8	33.1	"-
	• გლოუჩესტერი	6.8	27.3	"-
	• ოტავა	6.8	29.7	"-
	• ნეპანი	11.9	38.9	"-
	• კანატა	14.7	64.8	"-
3	პაკისტანის რეგიონები:			[76]
	• ისლამაბადი	17.34	72.52	"-
	• მურე	0.69	3.89	"-
4	ზემო სივილიკსი რეგიონი, ინდოეთი	11.5	78.47	[77]
5	როპარის რეგიონი, ინდოეთი	11.6	27.4	"-
6	კორეის ნახევარკუნძულის ცენტრალური ნაწილის 6 ნაწილი, კორეა	13.5	26.1	[78]
7	თბილისის არტეზიული აუზი, საქართველო	0.16	10.5	მოცემული სამუშაო
8	ქართლის არტეზიული აუზი, საქართველო	0.06	1.98	"-

როგორც შედეგებმა აჩვენა, საშუალოდ რადონის შემცველობა ნიადაგურ აირში თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე. ეს გარემოება სავარაუდოდ დაკავშირებულია ქართლის არტეზიულ აუზში (რომელიც ხასიათდება მიწისქვეშა და ზედაპირული წყლების დიდი მარაგით) მიწისქვეშა წყლების მიერ დრენაჟის განვითარების დიდ ინტენსივობასთან (რაც ზღუდავს ნიადაგური რადონის მიგრაციას ნიადაგში). თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყლების სისტემა უფრო სუსტადაა განვითარებული, რაც ამსუბუქებს ნიადაგური რადონის მიგრაციას.

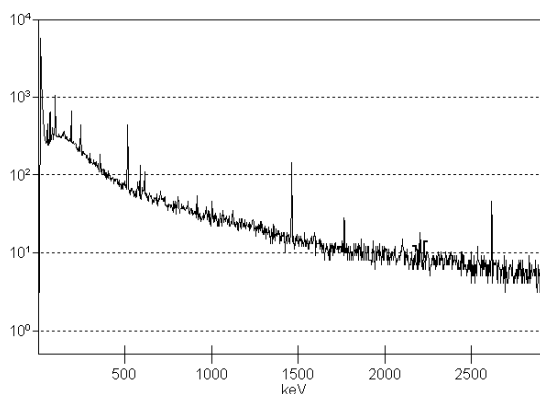
4.2.3. ნიადაგის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

ნიმუშების გამა-სპექტრები და რადიონუკლიდების აქტივობა

გამა-სპექტრების ანალიზის შედეგების მიხედვით ნიადაგის ნიმუშებში იდენტიფიცირდება 22-მდე რადიონუკლიდი, კერძოდ Th-232-ის ოჯახობა – Ac-228, Th-228, Ra-224, Pb-212, Bi-212, Tl-208 (სულ 6 რადიონუკლიდი); U-238 -ის ოჯახობა – Th-234, Pa-234, Th-230, Ra-226, Pb-214, Bi-214, Pb-210 (სულ 7 რადიონუკლიდი); U-235-ის ოჯახობა – U-235, Th-231, Th-227, Ra-223, Rn-219, Pb-211 (სულ 6 რადიონუკლიდი); ინდივიდუალური ბუნებრივი რადიონუკლიდები – Be-7, K-40; ტექნოგენური რადიონუკლიდი - Cs-137 (ასევე იდენტიფიცირდება ზოგიერთი სპეციფიკური ხაზი, რომლებიც წარმოიქმნება კოსმოსური სხივების დეტექტორის მასალასთან ან ნიმუშთან ურთიერთქმედების შედეგად).

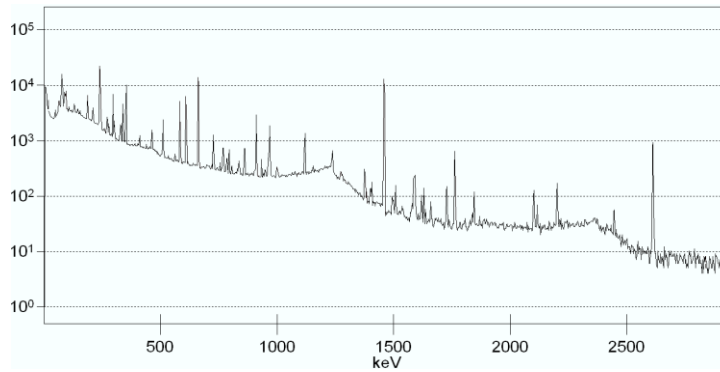
ფონური გამოსხივების გამა-სპექტრის საერთო გამოსახულება მოცემულია ნახაზზე (ნახ. 25).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ფონის სპექტრში დაიმზირება შედარებით დაბალი ინტენსივობის 40-მდე პიკი (ათვის სიჩქარე 0.045 - 11.1 keps ინტერვალში).



ნახ. 25. ფონური გამოსხივების გამა-სპექტრი

ნიადაგის ნიმუშების სპექტრებში დაიმზირება 140-ზე მეტი პიკი (ზოგიერთ ნიმუშში 170 და მეტი პიკი). ნიადაგის ნიმუშის ტიპური სპექტრი (ნიმუში 371-19, რომელიც აღებული იყო საკონტროლო პუნქტში T-D-Ts-2) მოცემულია ნახაზზე (ნახ. 26).



ნახ. 26. თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე დაბა წყნეთის საკონტროლო პუნქტში T-D-Ts-2 აღებული ნიადაგის ნიმუშის (371-19) გამა- სპექტრი

გამა სპექტრების ანალიზის საფუძველზე ნიადაგის ნიმუშებში იდენტიფიცირებული იქნა 22-მდე რადიონუკლიდი (ასევე იდენტიფიცირდება ზოგიერთი სპეციფიკური ხაზი, რომლებიც წარმოიქმნება კოსმოსური სხივების დეტექტორის მასალასთან ან ნიმუშთან ურთიერთქმედების შედეგად). იდენტიფიცირებული რადიონუკლიდების აქტივობები იმყოფება ზღვრებში 0.54 Bq/kg (Ra-223-თვის) – 611 Bq/kg (K-40-თვის), ხოლო რიგ ნიმუშებში ზოგიერთი რადიონუკლიდების აქტივობა ნაკლებია მინიმალურ დეტექტირებულ აქტივობაზე (MDA). ნიადაგის ნიმუშებში რადიონუკლიდების აქტივობის (A, Bq/kg) მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 32).

ცხრილებში (ცხრილი 33,

ცხრილი 34 და ცხრილი 35) მოცემულია რადიონუკლიდების ზოგიერთი პარამეტრები - აქტივობის კონცენტრაცია (A), ნიმუშების ეკვივალენტური აქტივობა ალოქტონური Pb-210_{al} გათვალისწინებით (R_{aeq-al}) და მის გარეშე (R_{aeq}), U-238/U-235, U-238/Th-232, Ra-226/U-238, Pb-210/Ra-226 რადიონუკლიდების აქტივობების შეფარდება, შთანთქმული დოზების სიმძლავრე (D), წლიური ეფექტური დოზა (AEDE), გაერთიანებული შედეგები – საშუალო (av), მინიმალური (mn) და მაქსიმალური (mx) მნიშვნელობები – გამოკვლეული ნიმუშების აქტივობის კონცენტრაციებისა.

ცხრილი 32. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში შერჩეული ნიადაგის ნიმუშებში რადიონუკლიდების აქტივობის (A, Bq/kg) მნიშვნელობები

#	AB	CP	SN	Month	ρ, g/cm ³	M, kg	A, Bq/kg (Th-232 ოჯახი)							A, Bq/kg (U-238 ოჯახი)							A, Bq/kg (U-235 ოჯახი)							A, Bq/kg (ინდივიდუალური რადიონუკლიდი)			
							Ac-228	Th-228	Ra-224	Pb-212	Bi-212	Tl-208	A _m	Th-234	Pa-234	Th-230	Ra-226	Pb-214	Bi-214	Pb-210	A _m	U-235	Th-231	Th-227	Ra-223	Rn-219	Pb-211	A _m	Be-7	K-40	Cs-137
1	TAB	T-D-Ts-2	371-19	Feb.	1.06	1.41	19.6	23.0	20.7	19.8	20.7	6.6	20.2	28.9	32.2	< M	27.9	17.5	16.7	36.9	21.0	0.89	2.16	-	0.54	-	-	1.20	-	409	22.9
2	-"	T-D-Bt-2	378-25	-"	1.22	1.40	20.9	36.2	20.5	21.1	20.2	7.2	20.7	26.2	27.8	-	22.7	21.9	20.9	22.9	23.0	1.88	-	1.26	0.92	-	-	1.35	-	611	7.2
3	-"	T-D-Kj-2	365-14	-"	1.18	0.82	19.2	46.3	20.6	19.2	18.4	6.2	19.4	26.6	29.1	< M	25.0	16.5	15.4	26.6	19.5	1.35	-	1.07	0.78	2.39	-	1.40	-	411	18.6
4	KAB	K-Ms-5	357-7	-"	1.28	1.49	18.6	38.1	20.5	20.1	20.8	5.7	20.0	19.4	< M	< M	21.0	15.4	14.0	22.8	16.3	1.10	-	1.11	0.80	-	-	1.01	-	432	10.0
5	TAB	T-D-Ts-2	368-16	March	1.06	1.20	18.5	21.7	17.0	17.8	19.0	5.9	18.1	26.2	37.7	-	27.6	14.9	13.9	51.9	18.3	0.85	2.37	-	0.71	-	-	1.31	-	431	36.7
6	-"	T-D-Kj-2	377-24	-"	1.08	0.92	16.7	34.8	18.6	16.6	16.6	5.3	17.1	22.6	< M	< M	10.0	13.6	13.0	46.1	16.4	1.81	-	0.81	0.78	< M	-	1.13	-	408	26.7
7	KAB	K-Ms-5	362-11	-"	1.00	0.83	19.4	32.9	18.0	19.0	18.5	6.2	18.7	30.5	47.7	42.8	41.0	28.4	26.9	67.5	28.6	1.90	-	2.03	1.94	-	-	1.96	-	363	24.2
8	TAB	T-GN-Av-2	374-22	Apr.	1.20	1.42	18.9	32.2	19.3	19.3	19.5	6.5	19.2	35.1	33.2	58.9	49.3	38.3	36.5	43.1	36.6	1.74	1.82	2.32	1.77	-	3.21	2.17	-	317	12.5
9	KAB	K-Bd-2	376-23	-"	1.20	1.46	18.1	14.3	19.3	18.0	19.6	5.9	18.7	28.1	19.8	< M	26.4	14.3	13.4	28.7	18.6	1.14	4.78	1.05	0.67	1.11	-	1.75	< M	390	29.3
10	TAB	T-D-Kj-2	361-10	Jun.	1.30	1.59	18.8	24.6	20.0	18.6	18.0	6.2	18.8	24.0	31.2	-	37.1	25.6	24.8	34.2	24.8	0.91	< M	1.98	1.56	-	-	1.49	-	369	9.0
11	-"	T-D-Bt-4	370-18	-"	1.14	1.41	33.4	69.4	36.5	35.6	35.9	11.6	35.3	24.6	< M	-	25.9	21.9	21.4	31.0	22.6	1.45	-	-	< M	-	< M	1.45	-	586	14.7
12	-"	T-DzT-SI-3	373-21	-"	1.28	1.47	35.5	48.7	36.1	37.4	36.5	12.1	36.4	31.0	33.6	-	35.6	22.9	21.9	36.5	25.3	1.96	8.67	-	-	-	< M	5.31	-	586	16.6
13	-"	T-DzT-SI-4	363-12	Jul.	1.24	1.45	34.5	60.7	37.5	36.2	38.2	11.8	36.6	26.6	28.5	-	29.3	23.1	21.2	24.5	23.6	1.17	-	1.22	0.84	0.95	-	1.04	-	566	16.2
14	-"	T-VS-Ls-3	358-8	-"	1.30	1.59	32.5	56.9	36.8	35.8	36.9	11.7	35.5	26.4	27.3	-	27.9	22.5	20.7	17.1	23.2	1.36	-	-	0.65	1.06	-	1.02	-	541	10.9
15	KAB	K-Bd-2	372-20	Nov.	1.18	1.38	29.2	44.3	32.5	29.3	30.4	10.0	30.3	20.6	38.8	< M	28.3	21.3	20.5	35.6	20.8	1.38	< M	1.06	0.92	-	-	1.12	-	545	14.7
16	-"	K-BI-7	367-15	-"	1.24	1.45	29.3	42.7	30.3	28.0	28.7	9.6	29.1	18.3	33.1	< M	32.1	20.7	19.2	28.9	19.4	0.88	-	1.60	0.89	1.63	-	1.25	-	512	10.0

საერთო მახასიათებლები: საკვლევ ნიმუშებში რადიონუკლიდების ოჯახების აქტივობების მიღებული შედეგების საფუძველზე შესაძლოა აღინიშნოს შემდეგი თავისებურებები და კანონზომიერებები:

- რადიონუკლიდების აქტივობა იცვლება საკმაოდ ვიწრო დიაპაზონში: Th-232 ოჯახისთვის –16.9 - 34.2 Bq/kg (საშუალო მნიშვნელობით 23.8 Bq/kg); U-238 ოჯახისთვის – 19.3 - 50.5 Bq/kg (საშუალო მნიშვნელობით 27.4 Bq/kg), U-235 ოჯახისთვის – 0.88 - 2.3 Bq/kg (საშუალო მნიშვნელობით 1.3 Bq/kg) - რიგით და უფრო მეტად ნაკლებია Th-232 და U-238 აქტივობა; ეკვივალენტური აქტივობა იცვლებოდა 66.1 Bq/kg-დან 136 Bq/kg-მდე (საშუალო მნიშვნელობით 87.7 Bq/kg); *U-238/U-235* შეფარდებისათვის ყველა მიღებული შედეგი შეესაბამება მნიშვნელობას 21.7 ($\pm 10\%$ ზღვრებში), რომელიც მიღებულია ბუნებრივი ობიექტებისათვის;

შენიშვნა: უნდა აღინიშნოს ნიმუშის (SI) შედარებით მაღალი აქტივობა (აღებულია მთის ფერდობზე), რომელიც მნიშვნელოვნად აღემატება (ერთნახევარჯერ და მეტად) მახლობლად აღებული (SI-4) ნიმუშის აქტივობას (ასევე სხვა ნიმუშებისას).

- *U-238* და *Th-232* რადიონუკლიდების აქტივობების შეფარდებები ოჯახებში და ოჯახებს შორის იცვლება:
 - *U-238/Th-232* - გადახრა ($> \pm 10\%$) საშუალო მნიშვნელობიდან 0.81 (ჩაკეტილი სისტემებისათვის), ძირითადად დაიმზირებოდა ზრდისკენ (მაქსიმალური მნიშვნელობით 1.77 ნიმუშისთვის SI-4);
 - *Ra-226/U-238* - შესამჩნევი სიჭარბე შვილობილი პროდუქტისა დაიმზირება 5 ნიმუშში (Zh-2, Ts-2, Kj-2, SI-3 და LI-2), ხოლო მშობელი რადიონუკლიდისა 3 ნიმუშში (Ls-3, Bt-2 და Bl-7);
 - *Pb-210/Ra-226* – 6 ნიმუშში (Ls-3, Bt-2, Kj-2, Nt-2, Bl-7, Bd-2) დაიმზირება შესამჩნევი სიჭარბე ($> \pm 20\%$ ^a) შვილობილი

^a ზღვრების დიაპაზონი გაფართოებულია, ვინაიდან Pb-210 განსაზღვრის ცდომილება იმყოფებოდა 20%-მდე დიაპაზონში.

პროდუქტისა (შედარებით მაღალი მნიშვნელობით 2.47), ერთ-ერთ ნიმუშში (SI-3) აჭარბებს მშობელ რადიონუკლიდს.

შენიშვნა: Th-232 - Tl-208 რიგში ძირითადად დაიმზირება წონასწორობა (გამონაკლისია Th-228, რომლის აქტივობის განსაზღვრის ცდომილება მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე სხვა ოჯახობის რადიონუკლიდებისა);

- შედარებით მაღალი მნიშვნელობა R_{eq} , D и AEDE დაიმზირება საკონტროლო პუნქტში GN აღებული ნიმუშისათვის, ხოლო მინიმალური საკონტროლო პუნქტში Ls-3 აღებული ნიმუშისათვის;
- რადიონუკლიდის Be-7 შესამჩნევი კონცენტრაცია დაიმზირება მხოლოდ ერთ ნიმუშში (Kj-2), სხვა შემთხვევებში მნიშვნელობები ნაკლებია MDA-ზე ან არ ფიქსირდება;
- რადიონუკლიდის K-40 კონცენტრაცია შედარებით მაღალია ყველა სხვა რადიონუკლიდთან შედარებით - საშუალო მნიშვნელობით 442 Bq/kg;
- ტექნოგენური რადიონუკლიდი Cs-137 დაფიქსირდა თითქმის ყველა ნიმუშში - 3.6 - 27.6 Bq/kg (საშუალო მნიშვნელობით 12.7 Bq/kg).

ნიადაგის ტიპზე დამოკიდებულება:

როგორც შედეგებიდან ჩანს, ნიადაგის ტიპზე მნიშვნელოვანი დამოკიდებულება არ დაიმზირება (ცხრილი 33 - ცხრილი 35). რადიონუკლიდების აქტივობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები თბილისის არტეზიული აუზების ტერიტორიაზე დაიმზირება Al-Cr ნიადაგის ნიმუშებისთვის - საშუალო მნიშვნელობით 93.5 Bq/kg (რაც ახლოსაა ქართლის არტეზიული აუზის ამავე ტიპის ნიადაგების საშუალო მნიშვნელობასთან 95.1 Bq/kg), შედარებით დაბალია Cn-Cr ტიპის ნიადაგებისთვის (88.0 Bq/kg), და მინიმალური მნიშვნელობები დაიმზირება Cn და GC ტიპის ნიადაგებისთვის (75.2 და 79.5 Bq/kg, შესაბამისად).

რამდენადმე განსხვავებული სურათია *U-238/Th-232* შეფარდებისათვის: თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიის ნიადაგის თითქმის ყველა ნიმუშისათვის ეს სიდიდე მნიშვნელოვნად აღემატება საშუალო სიდიდეს 0.82, მაშინ როდესაც ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიის ნიადაგებისთვის ეს სიდიდეები შესაბამისობაშია.

Ra-226/U-238 შეფარდება შედარებით აჭარბებს წონასწორულ მნიშვნელობას Al-Cr და GC ტიპის ნიადაგებში და შეესაბამება თბილისის არტეზიული აუზის Cn-Cr და Cn ნიადაგის ნიმუშებს და ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიის Al-Cr ტიპის ნიადაგის ნიმუშებს.

Pb-210/Ra-226 შეფარდება ძირითადად ახლოსაა წონასწორულთან Al-Cr, Cn-Cr და GC ნიადაგებში და აღემატება Cn-Cr ნიადაგისთვის თბილისის არტეზიულ აუზში და Al-Cr ტიპის ნიადაგისთვის ქართლის არტეზიულ აუზში.

რადიოლოგიური პარამეტრები

წლიური ეფექტური დოზის გაზომილი მინიმალური და მაქსიმალური მნიშვნელობები განსხვავდებოდა თითქმის 2-ჯერ - იცვლებოდა 0.046 – 0.083 mSv/y დიაპაზონში (ცხრილი 35). ყველაზე დაბალი საშუალო მნიშვნელობა (0.046 mSv/y) დაიმზირებოდა GC ტიპის ნიადაგებისთვის, შედარებით მაღალი (0.059 mSv/y) - Al-Cr ტიპის ნიადაგებისთვის.

ცხრილი 33. ნიადაგის ნიმუშებში გამოკვლეული რადიონუკლიდების ზოგიერთი ძირითადი პარამეტრები (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში)

#	SR	ST	CP	Th-232	U-238	Ra-226	Pb-210	U-235	Be-7	K-40	Cs-137	Ra _{eq}	U-238 / U-235	U-238 / Th-232	Ra-226 / U-238	Pb-210 / Ra-226	D, nGy/h	AEDE, μSv/y
1	I	Al-Cr	Av-2	19.8	27.6	27.3	33.2	1.3	—	540	<M	89.5	21.3	1.40	0.99	1.22	47.2	58.1
2		"---	Zh-2	28.8	21.3	31.1	26.9	0.99	-	521	12.2	98.2	21.5	0.74	1.57	0.87	48.9	60.2
3		"---	Zh-3	22.8	35.3	36.4	29.7	1.6	-	456	20.5	92.9	21.6	1.55	1.03	0.82	49.1	60.4
4		Cn-Cr	Ls-3	16.9	26.4	14.0	27.2	1.2	—	354	9.3	66.1	21.3	1.56	0.53	1.94	37.1	45.7
5		Cn	Bt-2	21.7	24.4	19.8	28.4	1.1	-	425	5.8	78.4	21.7	1.12	0.84	1.42	42.1	51.7
6		Cn-Cr	Ts-2	19.6	19.3	27.3	29.3	0.88	—	403	22.8	73.7	21.8	0.98	1.42	1.07	37.5	46.2
7		"---	Ts-3	20.4	28.9	25.1	25.7	1.3	-	469	10.0	83.6	21.4	1.41	0.88	1.01	45.3	55.7
8		Cn	Kj-2	17.6	21.9	27.3	46.3	1.02	6.1	418	27.6	71.9	21.6	1.24	1.32	1.71	38.1	46.8
9		Cn-Cr	Sl-3	34.2	50.5	60.9	41.1	2.3	—	559	3.6	136	21.9	1.48	1.21	0.67	67.3	82.8
10		"---	Sl-4	18.7	33.1	30.9	<M	1.6	<M	291	<M	80.3	21.0	1.77	0.93	-	38.8	47.7
11		GC	Ll-2	19.3	25.6	42.2	37.0	1.2	-	345	14.9	79.5	21.5	1.32	1.66	0.98	37.8	46.5
1	II	Al-Cr	Nt-2	33.9	25.5	27.8	24.0	1.2	-	560	14.4	111	21.5	0.75	0.90	1.32	55.6	68.4
2		"---	Ms-5	31.6	27.0	23.8	26.2	1.2	-	460	5.8	100	22.0	0.87	0.90	1.12	50.7	62.4
3		"---	Bl-7	23.4	22.2	19.0	46.9	1.03	<M	370	8.1	77.2	21.5	0.95	0.86	2.47	39.8	48.9
4		"---	Bd-2	28.5	22.9	25.1	56.6	1.1	-	453	9.6	92.5	21.7	0.81	1.10	2.37	46.7	57.4
			av	23.8	27.4	29.2	34.2	1.3	6.1	442	12.7	88.7	21.5	1.20	1.08	1.36	45.5	55.9
			mn	16.9	19.3	14.0	24.0	0.88	-	291	3.6	66.1	21.0	0.74	0.53	0.67	37.1	45.7
			mx	34.2	50.5	60.9	56.6	2.3	-	560	27.6	136	22.0	1.77	1.66	2.47	67.3	82.8

შენიშვნა: M – მინიმალური დეტექტირებული აქტივობა

ცხრილი 34. ზოგიერთი რადიონუკლიდის გაერთიანებული შედეგები ნიადაგის ტიპების მიხედვით (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში)

#	SR	ST	Th-232			U-238			Ra-226			Pb-210			U-235			Be-7			K-40			Cs-137		
			av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx
1		Al-Cr	23.8	19.8	28.8	28.1	21.3	35.3	31.6	27.3	36.4	29.9	26.9	33.2	1.3	1.0	1.6	-	-	-	506	456	540	16.3	12.2	20.5
2		Cn-Cr	22.0	16.9	34.2	31.6	19.3	50.5	31.6	14.0	60.9	30.8	25.7	41.1	1.5	0.88	2.3	-	-	-	415	291	559	11.4	3.6	22.8
3		Cn	19.6	17.6	21.7	23.1	21.9	24.4	23.6	19.8	27.3	37.3	28.4	46.3	1.1	1.0	1.1	6.1	6.1	6.1	421	418	425	16.7	5.8	27.6
4		GC	19.3	-	-	25.6	-	-	42.2	-	-	37.0	-	-	1.2	-	-	-	-	-	345	-	-	14.9	-	-
5	II	Al-Cr	29.4	23.4	33.9	24.4	22.2	27.0	24.0	19.0	27.8	38.4	24.0	56.6	1.1	1.0	1.2	-	-	-	461	370	560	9.5	5.8	14.4

ცხრილი 35. ზოგიერთი პარამეტრის გაერთიანებული შედეგები ნიადაგის ტიპების მიხედვით (აღნიშვნები მოცემულია ტექსტში)

#	SR	ST	A _{eq}			A _{eq-al}			U-238/U-235			U-238/Th-232			Ra-226/U-238			Pb-210/Ra-226			D, nGy/h			AEDE, μSv/y		
			av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx	av	mn	mx
1		Al-Cr	93.5	89.5	98.2	91.9	86.3	95.3	21.4	21.3	21.6	1.23	0.74	1.55	1.20	0.99	1.57	0.97	0.82	1.22	48.4	47.2	49.1	59.5	58.1	60.4
2		Cn-Cr	88.0	66.1	136.	88.9	75.7	117	21.5	21.0	21.9	1.44	0.98	1.77	0.99	0.53	1.42	1.17	0.67	1.94	45.2	37.1	67.3	55.6	45.7	82.8
3		Cn	75.2	71.9	78.4	88.7	86.8	90.6	21.6	21.6	21.7	1.18	1.12	1.24	1.08	0.84	1.32	1.56	1.42	1.71	40.1	38.1	42.1	49.3	46.8	51.7
4		GC	79.5	-	-	74.4	-	-	21.5	-	-	1.32	-	-	1.66	-	-	0.98	-	-	37.8	-	-	46.5	-	-
5	II	Al-Cr	95.1	77.2	111	111	103	124	21.7	21.5	22.0	0.84	0.75	0.95	0.94	0.86	1.10	1.82	1.12	2.47	48.2	39.8	55.6	59.3	48.9	68.4

ანალიზი

სამუშაოში იდენტიფიცირებული ყველა რადიონუკლიდი, Cs-137-ის გამოკლებით, ბუნებრივი წარმოშობისაა. ისინი დამახასიათებელია ასევე აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონისთვისაც, კერძოდ მდინარე მტკვარის ზოლის და ზოგიერთი სხვა რეგიონის ნიადაგებში [79].

ნიმუშებში აღმოჩენილი ბუნებრივი წარმოშობის რადიონუკლიდების შედგენილობა და კონცენტრაციები შეესაბამება ძირითადად სხვადასხვა ტიპის ნიადაგებში [80] აღმოჩენილს. ნიმუშში (SI-3) დაფიქსირებული მაღალი აქტივობა, სავარაუდოდ ამ ადგილებში არაღრმა ქანების გავლენას უკავშირდება. მათი მიკრონაწილაკების შესაძლო მიგრაციას და ნიადაგურ ფენებში გადაადგილებას შეეძლო გამოეწვია ნიადაგის გაზრდილი რადიოაქტივობა მოცემულ საკონტროლო პუნქტში.

აქტივობების დამზერელი თავისებურებები, კერძოდ, U-238/Th-232 შეფარდების მნიშვნელოვანი გადახრა საშუალოდან ზრდადობისკენ, შესაძლოა დაკავშირებულია სხვადასხვა გეოქიმიურ პროცესებთან. ასე, მაგალითად ნაშრომებში [80, 81] აღინიშნება, რომ ბუნებრივ პირობებში Th-ის იზოტოპები გვხვდება მხოლოდ ოთხვალენტოვანი ფორმით. შენაერთები წყალში პრაქტიკულად უხსნადია და გადაადგილდებიან მექანიკური გზით

მდგრადი მინერალების სახით. U-ის იზოტოპები გვხვდება 4 და 6 ვალენტური ფორმების სახით - 4 ვალენტური ფორმებში ქიმიური თვისებებით ახლოსაა Th-ის თვისებებთან, ხოლო 6 ვალენტური ფორმები გამოირჩევიან დიდი ქიმიური აქტივობით და დიდ მანძილებზე მიგრირებენ წყალში გახსნილი ფორმების სახით. საკვლევი რეგიონი, როგორც ზემოთ აღნიშნა, გამოირჩევა რთული ჰიდროგეოლოგიური სტრუქტურით. მიწისქვეშა წყლების ცირკულაციის დროს შესაძლოა მოხდეს ღრმა ქანებიდან ურანის ნაერთების გახსნა და ნიადაგის ფენებში გამოტანა, რამაც შესაძლოა გამოიწვიოს U-238-ით გამდიდრება.

Ra-ის იზოტოპი ადვილად გამოიტუტება და ირეცხება წყლებით: ბუნებრივ წარმონაქმნებში Ra-226 ხშირად გროვდება ურანთან წონასწორულზე ჭარბი რაოდენობით. ამ და სხვა გეოქიმიური ფაქტორების კომბინაციამ, შეიძლება გამოიწვიოს ამ რადიონუკლიდების მოქმედებაში დამახასიათებელი ცვალებადი ვარიაციები, რაც განაპირობებს მათ გადახრას საშუალო და წონასწორული მდგომარეობიდან ზრდადობის ან შემცირებისკენ. გამოკვლეული რეგიონი ხასიათდება მრავალფეროვანი კლიმატური პირობებით (კერძოდ მეტეოროლოგიური), რომლებსაც შეეძლო გამოეწვია ზემოთ აღნიშნული პროცესები და სამუშაოში აღნიშნული Ra-226/U-238 თანაფარდობის გადახრა, როგორც ზრდის, ისე შემცირების მიმართულებით.

რადიონუკლიდების ოჯახების დამზერილი განსხვავებები სხვადასხვა ნიადაგის ნიმუშებში თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე შესაძლოა დაკავშირებულია ნიადაგის გენეტიკური ტიპის წარმოქმნის პირობებზე, რამაც შესაძლოა გავლენა მოახდინოს მათში ბუნებრივი რადიონუკლიდების შემცველობაზე. რადიონუკლიდების შემცველობის დამოკიდებულება ნიადაგის ტიპზე აღნიშნულია სამუშაოში [80], რომელშიც ნაჩვენებია, რომ ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტების საშუალო შემცველობა პრიმიტიული რუხმიწა და რუხი ყავისფერ ნიადაგებს გარდაქმნის ბელტიან-ჭაობიან და ჭაობიან ნიადაგებად. U-

238/Th-232 (ასევე გარკვეული ხარისხით Ra-226/U-238 თანაფარდობაშიც) თანაფარდობის გარკვეული განსხვავება თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე, როგორც ჩანს დაკავშირებულია აღნიშნული აუზების განსხვავებული ხასიათის ჰიდროლოგიური პროცესებით.

ნიმუშების უმრავლესობაში აღნიშნული Pb-210/Ra-226 აქტივობის თანაფარდობის დამახასიათებელი თავისებურება, კერძოდ ნიმუშების უმრავლესობაში წონასწორული სიდიდიდან მნიშვნელოვანი გადახრა, რიგ სამუშაოებში უკავშირდება ატმოსფეროდან ჭარბი Pb-210-ის დალექვას. თუმცა, საკვლევი რეგიონის რთული გეოლოგიურ-ტექტონიკური სტრუქტურის გათვალისწინებით, შეიძლება ვივარაუდოთ ნიადაგისა და ქანების ღრმა ფენებიდან რადიოაქტიური აირის რადონის გამოყოფის ფაქტორის გავლენა. ნიადაგურ აირში არსებული რადონი მიგრაციის დროს ნიადაგის ზედა ფენებში იშლება და მისი დაშლის პროდუქტები (მათ შორის Pb-210) ილექებიან ნიადაგის მყარ ნაწილაკებზე. აღნიშნულ პროცესმა შესაძლოა გამოიწვიოს Pb-210-ის "არაწონასწორული" კონცენტრაციების წარმოქმნა (ე.წ. "ალოქტონური" Pb-210 [82]).

რადიონუკლიდი Be-7, რომელიც წარმოიქმნება კოსმოსური სხივების გავლენით ატმოსფეროს ზედა ფენებში და შემდეგ ნალექებთან ერთად ხვდება ნიადაგში, დაფიქსირებული იქნა ერთ ნიმუშში. ნიმუშების უმრავლესობაში მისი არყოფნა, შესაძლოა დაკავშირებულია ნიმუშების ხანგრძლივ შენახვასთან, რასაც შეეძლო გამოეწვია კონცენტრაციის შემცირება დეტექტირებადი სიდიდის ქვემოთ.

ბუნებრივი რადიონუკლიდის K-40 განაწილება, ძირითადად ახლოსაა სამუშაოში [83] აღნიშნულ მნიშვნელობებთან.

საინტერესოა ტექნოგენური წარმოშობის რადიონუკლიდის Cs-137-ის მონაცემები. როგორც ცნობილია, Cs-137 წარმოიქმნება ატომური ცდების დროს, რომლებსაც წარსულში რეგულარული ხასიათი ჰქონდა და შედეგად წარმოიქმნა მისი ფონური (წონასწორული) კონცენტრაცია. რიგი

მონაცემების მიხედვით, კერძოდ აღმოსავლეთ საქართველოს კვლევის შედეგების მიხედვით [79] ამჟამად Cs-137 ძირითადად იმყოფება ზღვრებში 1-10 Bq/kg. აღნიშნული სიდიდე შეიძლება საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე, როგორც ბირთვული ცდების შედეგთან დაკავშირებული ფონური მნიშვნელობა. თუმცა, იყო შემთხვევები (მაგ. ჩერნობილის ავარიის შედეგად), როდესაც ტექნოგენური რადიონუკლიდის, კერძოდ Cs-137 აქტივობის ზრდას ჰქონდა ექსტრემალური ხასიათი. უკანასკნელ პერიოდში Cs-137-ის აქტივობა შესამჩნევად შემცირდა, სავარაუდოდ ნიადაგიდან გამორეცხვის ან უფრო ღრმა ფენებში მიგრაციის პროცესების გამო. ამავდროულად ჩერნობილის ავარიის პერიოდში ატმოსფერული ნალექების არათანაბარი განაწილების გამო, ადგილი ჰქონდა მისი კონცენტრაციის შესამჩნევ გავრცელებას საკვლევ ტერიტორიაზე, რომელიც გარკვეულწილად დარჩა დღემდე. აღნიშნულ გარემოებას შეეძლო გამოეწვია სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტებში აღებულ ნიმუშებში მისი ცვლილების დიდი დიაპაზონი.

ცხრილი 36. რადიონუკლიდების აქტივობის კონცენტრაცია (Bq/kg) და ზოგიერთი სხვა პარამეტრი სხვადასხვა ქვეყნების ნიადაგებში

SR	Th-232	U-238	Ra-226	Pb-210	U-235	K-40	Cs-137	U-238/ U-235	U-238/ Th-232	Ra-226/ U-238	Pb-210/ Ra-226	Ra _{eq} , Bq/kg	D, nGy/h	AEDE, μSv/y	ლიტ.
1	83.0 30.2-136	50.5 22.6-116	54.1 19.5-96.1			338 189-508				1.05 0.56- 1.79					[84]
2	15.4 12.3-23.5	19.1 15.1-27.6			1.07 0.8-1.5	441 361-512	1.15 0.43- 5.7		1.23 1.17-1.38						[85]
3								1.7-4.1	1.6-6.1	0.55- 7.14					[86]
4	43-84	64-3388	81-11038	157- 10190					1.33-78.8	0.44- 4.17	0.13-1.94				[87]
5	44.21		36.00			254.60						115.3 19.5- 415.5	53.2 9.1-189	65.3 11.1- 232	[88]
6	41 25-66	487 269-985	147 27-658	326 65-899		646 76-1060	255 4-1300			0.06- 0.65					[89]
7				76 44-108	3.4 2.5-4.4	584 485-674	27.9 12.7-57								[90]
8	29-60	28-70	32-77			310-420									[91]
9	10-56	26-50	15-35			60-180									".."
10	45	33	32			412									".."
11	23.8 16.9-34.2	27.4 19.3-50.5	29.2 14.0-60.9	34.2 24.0- 56.6	1.3 0.9-2.3	442 291-560	12.7 3.6- 27.6	21.5 21.0- 22.0	1.20 0.74-1.77	1.08 0.53- 1.66	1.36 0.67-2.47	88.7 66.1- 136	45.5 37.1- 67.3	55.9 45.7- 82.8	მოც. სამუშაო

შენიშვნა: 1 – ჩრდილოეთ ინდოეთი; 2 – ალ-ჯაჰრა, ქუვეითი; 3 – რუსეთი; 4 – ესპანეთის ცენტრალური დასავლეთი; 5 – სებერინგ ფერაი პენანგში (მალაიზია); 6 – შვედეთის რაიონები აპსალა და ჯამთლენდი; 7 – სვალბარი ლონჯიეზენთან

ახლოს (ნორვეგია); 8 – სომხეთი; 9 – აზერბაიჯანი; 10 - მსოფლიო საშუალო სიდიდე; 11 – თვილისის არტეზიული აუზი, საქართველო.

ცხრილში (ცხრილი 36) მოყვანილია მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში საკვლევ თემატიკაზე მოძიებული ლიტერატურული მონაცემები. როგორც ცხრილიდან ჩანს, აღნიშნულ სამუშაოში მიღებული საშუალო სიდიდეები, შესამჩნევად ნაკლებია სხვა რეგიონების და ასევე საშუალო მსოფლიო სიდიდეებზე. უნდა აღინიშნოს, ისიც რომ რადიუმის ეკვივალენტური აქტივობის სიდიდე, რომელიც იცვლება 48.6 – 93.1 Bq/kg შესამჩნევად დაბალია რეკომენდირებულ სიდიდეზე 370 Bq/kg, ხოლო წლიური ეფექტური დოზა, რომელიც იცვლება 29-56 $\mu\text{Sv/y}$ ნაკლებია ზღვრულ სიდიდეზე 1 mSv/y [92, 93, 94].

დედამიწის გამა-რადიოაქტივობის დოზური პარამეტრები

თებერვალი - ნოემბრის პერიოდში თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობების (ცხრილი 32) საფუძველზე გაანგარიშებული დედამიწის მიერ შთანთქმული გარე გამა-გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) მნიშვნელობები მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 37).

ამავე პერიოდისათვის თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობის საფუძველზე გაანგარიშებული შთანთქმული გარე გამა გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) გასაშუალებული მნიშვნელობები ($P_{\text{m}} - \text{av, mn, mx}$) მოცემულია ცხრილში (ცხრილი 38).

ცხრილი 37. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობის (A, Bq/kg) საფუძველზე გაანგარიშებული შთანთქმული გარე გამა გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) მნიშვნელობები

#	AB	CP	Month	A, Bq/kg			D_{ext} , $\mu\text{Sv/h}$
				Ra-226	Th-232	K-40	
1	TAB	T-D-Ts-2	Feb.	27.9	19.6	409	0.042
2	-"	T-D-Bt-2	-"	22.7	20.9	611	0.049
3	-"	T-D-Kj-2	-"	25.0	19.2	411	0.040
4	KAB	K-Ms-5	-"	27.6	18.5	431	0.042
5	TAB	T-D-Ts-2	March	41.0	19.4	363	0.046
6	-"	T-D-Kj-2	-"	49.3	18.9	317	0.047
7	KAB	K-Ms-5	-"	37.1	18.8	369	0.044
8	TAB	T-GN-Av-2	Apr.	25.9	33.4	586	0.057
9	KAB	K-Bd-2	-"	35.6	35.5	586	0.063
10	TAB	T-D-Kj-2	Jun.	29.3	34.5	566	0.058
11	-"	T-D-Bt-4	-"	27.9	32.5	541	0.055
12	-"	T-DzT-Sl-3	-"	28.3	29.2	545	0.054
13	-"	T-DzT-Sl-4	Jul.	32.1	29.3	512	0.054
14	-"	T-VS-Ls-3	-"	42.4	23.6	453	0.053
15	KAB	K-Bd-2	Nov.	33.1	22.2	460	0.048
16	-"	K-BI-7	-"	21.0	18.6	432	0.039

ცხრილი 38. თბილისის (TAB) და ქართლის (KAB) არტეზიულ აუზებში სხვადასხვა საკონტროლო პუნქტების ტერიტორიისთვის რადიონუკლიდების აქტივობის საფუძველზე გაანგარიშებული შთანთქმული გარე გამა გამოსხივების სიმძლავრის (D_{ext}) გასაშუალებული მნიშვნელობები (Prm - av, mn, mx)

#	Prm	D_{ext} , $\mu\text{Sv/h}$	
		TAB	KAB
1	av	0.050	0.047
2	mn	0.040	0.039
3	mx	0.058	0.063

დასკვნა

ა. ძირითადი დასკვნები

1. განხილულია გარემოში შედარებით გავრცელებული ბუნებრივი რადიონუკლიდების ოჯახები (რომელთა მშობლებია - Th-232, U-238 და U-235, ასევე ცალკეული რადიონუკლიდი K-40) და ბუნებრივად მიმდინარე გარდაქმნის ჯაჭვი თითოეული ოჯახის რადიონუკლიდებისათვის;
2. ბუნებრივი რადიაციის გამომწვევი რადიონუკლიდის - რადონის დაშლის პროდუქტების გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობაზე;
3. სასმელი "წყალსადენის" წყლის კვლევის სფეროში ჩატარდა საინფორმაციო მასალის ანალიზი ქ. თბილისის სასმელი წყლით წყალმომარეგების სისტემის შესახებ, რის საფუძველზეც დადგინდა ზოგიერთი თავისებურება (კერძოდ, ნაჩვენებია, რომ წყლის რესურსების წყაროები პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად - ზედაპირული და მიწისქვეშა);
4. ჩატარდა ლიტერატურული მასალის ანალიზი, კერძოდ:
 - მოყვანილია სხვადასხვა ტიპის წყლებში რადონის შემცველობის მონაცემები;
 - სასმელ წყალში რადონით გამოწვეული რადიოლოგიური დოზების მონაცემები;
 - მოცემულია მონაცემები რადონის შემცველობის შესახებ ნიადაგის ჰაერში;
 - ინფორმაცია აღნიშნულ პრობლემასთან დაკავშირებით საქართველოში ჩატარებული კვლევების შესახებ.
5. ჩამოყალიბებულია კვლევის ობიექტი და კვლევის სტრატეგია;
6. მოცემულია დასახული ამოცანების ჩამონათვალი.

ბ. დასკვნები კვლევის ცალკეული ობიექტებისთვის

წყალსადენის (თბილისის) წყალი

1. დადგინდა, რომ ქ.თბილისის სასმელი წყლის ძირითადი რესურსები მოყვანილია 11 წყალმომარაგების წყაროს სახით, რომლებიც პირობითად დაყვავით 2 ჯგუფად: ზედაპირული წყაროები და მიწისქვეშა წყაროები;
2. საკონტროლო პუნქტები შერჩეული იქნა ქ. თბილისის ტერიტორიულ ადმინისტრაციული დაყოფის ანალიზის და მოსახლეობის განაწილების საფუძველზე;
3. საკონტროლო პუნქტების საერთო რაოდენობამ შეადგინა 128 პუნქტი;
4. განხილულია წყლის ნიმუშებში რადონის აქტივობის შესწავლის მეთოდოლოგია;
5. დადგინდა წყალში გახსნილი რადონით დასხივების დოზური პარამეტრების გამოთვლის ტექნიკა;
6. მოცემულია სასმელ (წყალსადენის) წყლებში რადონის აქტივობის განაწილება მდებარეობის და დროზე დამოკიდებულების მიხედვით;
7. მოყვანილია რადონის რუკები;
8. გაანგარიშებულია რადონით დასხივებით რადიოლოგიური დოზების მნიშვნელობები.

ზედაპირული წყალი

1. ჩატარდა თბილისის გეოგრაფიული არეალის, კერძოდ თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე ბუნებრივი წყლების ზედაპირული წყაროების საინფორმაციო მასალების ანალიზი და დადგინდა მათი ტიპი. ჩატარებული ანალიზის საფუძველზე შედგენილი იქნა რეპრეზენტატიული საკონტროლო პუნქტების ჩამონათვალი;
2. კვლევის პერიოდში აღებული იყო სხვადასხვა ტიპის ზედაპირული წყლების რამოდენიმე ასეული ნიმუში, რომლებშიც ჩატარდა რადონის აქტივობის გაზომვები, კერძოდ:
 - თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე 21 საკონტროლო პუნქტში აღებული იყო ზედაპირული წყლის 127 ნიმუში;

- ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე 23 საკონტროლო პუნქტში აღებული იყო ზედაპირული წყლის 115 ნიმუში;
 - სპეციალური კვლევების ჩასატარებლად და მეთოდოლოგიური საკითხების დასამუშავებლად აღებული იყო 247 ტესტური ნიმუში.
3. თბილისის (21 საკონტროლო პუნქტი) და ქართლის (23 საკონტროლო პუნქტი) არტეზიულ აუზებში ჩატარდა სხვადასხვა ტიპის (წყაროს, არტეზიული, ჭის, მდინარის წყლის და ა.შ.) ზედაპირული წყლებში რადონის შემცველობის კვლევა;
4. დადგინდა, რომ თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირულ წყლებში რადონის შემცველობა იცვლება საკმაოდ დიდ დიაპაზონში, კერძოდ:
- პირველი ტიპის წყაროს წყლებში (ნიმუშის აღება ხდებოდა უშუალოდ წყაროს ადგილმდებარეობის ზონაში) იცვლებოდა რამოდენიმე ერთეული Bq/L (2.7 Bq/L) 100 Bq/L და მეტი (163 Bq/L), საშუალო მნიშვნელობით 72.3 Bq/L;
 - მეორე ტიპის წყაროს წყლებში (ნიმუშის აღება ხდებოდა წყაროს ადგილმდებარეობის ზონიდან მოშორებით) იცვლებოდა 0.1 Bq/L - 35.8 Bq/L დიაპაზონში, საშუალო მნიშვნელობით 8.4 Bq/L;
 - მდინარის წყალში ცვლილების დიაპაზონი შეადგენს 0.1 - 7.0 Bq/L, საშუალო მნიშვნელობით 2.2 Bq/L.
5. ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე ზედაპირულ წყლებში რადონის შემცველობის დიაპაზონი შეადგენს:
- პირველი ტიპის წყაროს წყლებში 3.3 Bq/L - 16.6 Bq/L, საშუალო მნიშვნელობით 9.5 Bq/L;
 - მეორე ტიპის წყაროს წყლებში 0.5 Bq/L - 10.3 Bq/L, საშუალო მნიშვნელობით 5.4 Bq/L;
 - ჭის წყლებში – 1.1-11.4 Bq/L, საშუალო მნიშვნელობით 6.9 Bq/L;
 - არტეზიულ წყლებში – 1.1-12.2 Bq/L, საშუალო მნიშვნელობით 5.7 Bq/L;

- მდინარის და წყალსაცავის წყლებში – 0.2-0.4 Bq/L.
6. ნაჩვენებია, რომ ზედაპირულ წყლებში რადონის კონცენტრაციის სიდიდეების მიხედვით, გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების უმრავლესობა იმყოფება რადონის აქტივობის მნიშვნელობების ტიპიურზე მაღალი (3 – 10 Bq/L) ან მაღალი (10 – 30 Bq/L) შემცველობის ჯგუფებში. ამასთან თბილისის არტეზიულ აუზში წყაროს წყლებში რადონის კონცენტრაცია შესამჩნევად მაღალია, ვიდრე ქართლის არტეზიულ აუზში (მაგ. პირველი ტიპის წყაროს წყლისთვის 6-ზე მეტჯერ).
7. ჩატარდა სასმელი წყლის დოზური პარამეტრების შეფასება, კერძოდ:
- თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიის ზედაპირული წყლებისთვის:
 - პირველი ტიპის წყაროს წყლებში:
 - $D_{ig}, \mu Sv a^{-1}$ – 0.56-დან 25.0-მდე, საშუალო მნიშვნელობით 14.0;
 - $D_{ig-st}, \mu Sv a^{-1}$ – 16.1 - 715 საშუალო მნიშვნელობით 401;
 - მეორე ტიპის წყაროს წყლებში:
 - $D_{ig}, \mu Sv a^{-1}$ – 0.52 - 4.6 საშუალო მნიშვნელობით 1.9;
 - $D_{ig-st}, \mu Sv a^{-1}$ – 14.8 - 131 საშუალო მნიშვნელობით 55.3;
 - ქართლის არტეზიული აუზის ტერიტორიის ზედაპირული წყლებისთვის:
 - პირველი ტიპის წყაროს წყლებში:
 - $D_{ig}, \mu Sv a^{-1}$ – 1.5 - 2.4 საშუალო მნიშვნელობით 2.0;
 - $D_{ig-st}, \mu Sv a^{-1}$ – 43 - 68 საშუალო მნიშვნელობით 57;
 - მეორე ტიპის წყაროს წყლებში:
 - $D_{ig}, \mu Sv a^{-1}$ – 0.23 დი 1.6 საშუალო მნიშვნელობით 0.82;
 - $D_{ig-st}, \mu Sv a^{-1}$ – 6.4 დი 46.0 საშუალო მნიშვნელობით 23.0;
8. ჩატარდა ანალიზი, რომელშიც ნაჩვენებია, რომ ორი არტეზიული აუზის კვლევის დროს მიღებული შედეგები შესაძლოა დაკავშირებული იყოს აღნიშნული ტერიტორიების გეოლოგიურ თავისებურებებთან, ჩატარდა

მიღებული შედეგების შედარება ლიტერატურულ მონაცემებთან;

9. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიქმნა თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიების ზოგიერთი ზედაპირული წყლის რადონის რუკები.

წყლის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

1. ჩატარდა ზოგიერთი ნიმუშის გამა-სპექტრომეტრული კვლევები ნიმუშის აღების დღეს და აღებიდან 30 დღიანი დაყოვნების შემდეგ. 30 დღის შემდეგ ზოგიერთი პიკების ინტენსივობა შემცირებულია ან საერთოდ გამქრალია;
2. დამზერილი შემთხვევები ნიმუშის ერთთვიანი გაჩერების შემდეგ ზოგიერთი ნუკლიდის პიკისთვის, რომლებიც არ წარმოადგენენ არაწონასწორული რადონის დაშლის პროდუქტებს, თვლის სიჩქარის უმნიშვნელო ცვლილება შესაძლოა გამოწვეული იყოს, როგორც ფონით, ასევე ნიმუშის თავისებურებებით (მათი შესაძლო მიზეზების დასაზუსტებლად საჭიროა დამატებითი კვლევების ჩატარება).
3. ზოგიერთ ნიმუშს ერთდროულად ჩატარდა ალფა- და გამა-სპექტრომეტრული მეთოდებით კვლევა. რადონის კონცენტრაციის მნიშვნელობების საკმაოდ კარგი შეფარდება, რომელიც მიღებული იყო ორი მეთოდით, მოწმობს მოქმედი ფაქტორების უმნიშვნელო გავლენაზე.

ნიადაგური აირის ალფა-სპექტრომეტრული კვლევა

1. ნაჩვენებია, რომ ნიადაგურ აირში რადონის აქტივობის სიდიდეების მიხედვით, გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების უმრავლესობა იმყოფებოდა ტიპიურზე დაბალი (ნაკლები 3000 Bq/m^3) შემცველობის ჯგუფში, ერთ საკონტროლო პუნქტში დაფიქსირდა ტიპიური მნიშვნელობა, და ერთ საკონტროლო პუნქტში - ტიპიურზე მაღალი;
2. ჩატარდა ანალიზი, რომელშიც ნაჩვენებია, რომ რადონის აქტივობის კვლევის მიღებული შედეგები ნიადაგური აირისთვის, ისევე როგორც ზედაპირული წყლებისთვის, ორივე არტეზიულ აუზებში შესაძლოა

დაკავშირებული იყოს აღნიშნული ტერიტორიების გეოლოგიურ თავისებურებებთან;

3. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეიქმნა თბილისისა და ქართლის არტეზიული აუზებში გამოკვლეული საკონტროლო პუნქტების ნიადაგური აირის რადონის რუკა;
4. ჩატარდა მიღებული შედეგების შედარება ლიტერატურულ მონაცემებთან.

ნიადაგის გამა-სპექტრომეტრული კვლევა

1. თბილისის მიდამოებში 15 საკონტროლო პუნქტში (თბილისის და ქართლის არტეზიული აუზების ტერიტორიებზე) აღებულ ნიადაგის ნიმუშებში აღმოჩენილი იქნა 22-მდე რადიონუკლიდი: Th-232-ის ოჯახი - Ac-228, Th-228, Ra-224, Pb-212, Bi-212, Tl-208, U-238-ის ოჯახი - Th-234, Pa-234, Th-230, Ra-226, Pb-214, Bi-214, Pb-210, U-235-ის ოჯახი - U-235, Th-231, Th-227, Ra-223, Rn-219, Pb-211, ზოგიერთი ბუნებრივი რადიონუკლიდი - Be-7, K-40, ასევე ტექნოგენური რადიონუკლიდი Cs-137;
2. ბუნებრივი რადიონუკლიდების აქტივობა ნიადაგის ტიპის და მდებარეობის მიხედვით განსხვავებულია - თბილისის არტეზიული აუზის ტერიტორიაზე რადიონუკლიდების ეკვივალენტური აქტივობის შედარებით მაღალი მნიშვნელობები დაიმზირება Al-Cr ტიპის ნიადაგებისთვის - საშუალო მნიშვნელობით 93.5 Bq/kg (რაც ახლოსაა ქართლის არტეზიული აუზის ასეთივე ტიპის ნიადაგების აქტივობის საშუალო მნიშვნელობასთან 95.1 Bq/kg). რამდენადმე დაბალია Cn-Cr (88.0 Bq/kg) ტიპის ნიადაგისთვის და მინიმალური მნიშვნელობები დაიმზირება Cn და GC (შესაბამისად 75.2 და 79.5 Bq/kg) ტიპის ნიადაგებისთვის;
3. განხილულია რადიონუკლიდების აქტივობების ზოგიერთი შეფარდებები, კერძოდ U-238/U-235, U-238/Th-232, Ra-226/U-238 და Pb-210/Ra-226 და დადგინდა მათი განაწილების ზოგიერთი

თავისებურებები; აღინიშნა, რომ Pb-210/Ra-226 შეფარდებისთვის დაიმზირება მნიშვნელოვანი გადახრა წონასწორული მნიშვნელობიდან ზრდადობისკენ;

4. ჩატარდა შედარება ლიტერატურულ მონაცემებთან და მიღებული შედეგების ზოგიერთი თავისებურების ანალიზი.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ცხოვრებაძე ი., საქართველოს ზოგიერთი რაიონის ატმოსფეროს ჰაერისა და რადიაციული ფონის მდგომარეობა და ახალშობილთა ჯანმრთელობა, მედიცინის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად წარმოდგენილი დისერტაცია, თბილისი 2006;
2. <http://www.norao.ru/waste/radioactivity/>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 21.05.2018;
3. Tsetlin V.V., Lebedeva N.E., Levinskikh M.A., Nefedova E.L. Influence of a radioactive background of modern city on its ecological situation. Materials of Int. Youth Scientific Conf. "Mountain areas – ecological problems of cities". Yerevan, 29-30.05.2007, pp. 93-93;
4. Уткин В.И. Газовое дыхание земли. Соросовский образовательный журнал, №1, 1997 г., стр. 57 – 64;
5. Field R.W. et al. Residential radon exposure and lung cancer: Variation in risk estimates using alternative exposure scenarios. J. of Exposure Analysis and Env. Epidemiology, 2002, 12, pp. 197-203;
6. <http://bagz.narod.ru/rabot.htm>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 21.05.2018;
7. <https://infourok.ru/prezentaciya-po-teme-radon-ego-vliyanie-na-cheloveka-1911404.html>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 21.05.2018;
8. Alexander M. Vaiserman., Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment, Dose-Response, 2010, 8, pp. 172-191; Bobby R. Scott. Low-Dose Radiation Benefits, a New Paradigm. Dose-Response 2012 Conference, University of Massachusetts, Amherst, MA, April 24-25, 2012;
9. Tsetlin V.V. et al., Influence of a radioactive background of modern city on its ecological situation. Materials of Int. Youth Scientific Conf. Mountain areas – ecological problems of cities. Yerevan, 29-30.05.2007, pp. 93-93;
10. თბილისი, ეკონომიკურ-გეოგრაფიული გამოკვლევა, საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია, ვახუშტი ბაგრატიონის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტი, გამომცემლობა "საბჭოთა საქართველო", თბილისი, 1989;
11. <http://www.georgianwater.com/main.php>, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 21.05.2018;
12. GEO-ქალაქები: თბილისი ანგარიშის რეზიუმე გადაწყვეტილების მიმღებთათვის დეკემბერი, 2011, GEO-Cities Tbilisi Executive Summary for Decision-makers, Tbilisi, December 2011

http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/geocities_tbilissi_summary_for_decision_makers.pdf;

13. Tabassum N., Mujtaba Sh. Measurement of Annual Effective Doses of Radon from Drinking Water and Dwellings by CR-39 Track Detectors in Kulachi City of Pakistan. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 2012, Vol. 8, pp.528-536;
14. Binesh, A., Mowlavi A.A., Mohammadi S. Estimation of the effective dose from radon ingestion and inhalation in drinking water sources of Mashhad, Iran. *Iran. J. Radiat. Res.*, 2012, Vol. 10, issue 1, pp. 37-41;
15. Alirezazadeh N., Radon concentrations in public water supplies in Tehran and evaluation of radiation dose. *Iran. J. Radiat. Res.*, 2005, vol. 3, issue 2, pp.79-83;
16. Manzoor F., Alaamer A.S., Tahir S.N.A. Exposures to ²²²Rn from consumption of underground municipal water supplies in Pakistan. *Radiat. Prot. Dosim.*; 2008, vol. 130, issue 3, pp.392-396;
17. Totzeva R., Kotova R. Radon and Radium-226 Content in Some Bulgarian Drinking Waters. Balwois-2010, Ohrid, Republic of Macedonia, 2010, 25-29 May
https://www.researchgate.net/publication/266405311_Radon_and_Radium-226_Content_in_Some_Bulgarian_Drinking_Waters, უკანასკნელად იქნა გადამოწმებული - 21.05.2018;
18. National Academy of Sciences. Committee on the Risk Assessment of Exposures to Radon in Drinking Water, Board of Radiation Effects Research, Commission on Life Sciences, National Research Council. *Risk Assessment of Radon in Drinking Water*. National Academy Press, Washington, DC, 1999;
19. Duggal V., Mehra R., Rani A.. Analysis of radon concentration in drinking water in Hanumangarh district of Rajasthan, India. *Radiation Protection and Environment*, April 2013, Vol. 36, Is. 2, pp. 65-70;
20. Abdallah S.M., Habib R.R., Nuwayhid R.Y., Chatila M., Katul G.. Radon measurements in well and spring water in Lebanon. *Radiation measurements*, 2007, vol. 42, no. 2, pp. 298-303;
21. Mowlavi A.A., Binesh A.. Radon concentration measurement in the some water sources of Mashhad Region in Iran. *IFMBE Proceedings*, 2006, Vol. 14/1, pp. 498-499;
22. Yiğitoğlu I., Öner F., Yalim H. A., Akkurt A., Okur A. and Özkan A.. Radon concentrations in water in the region of Tokat City in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010, 142 (2-4), pp. 358-362;
23. Salonen L.. Natural radionuclides in ground water in Finland. *Radiation Protection Dosimetry*, 1988, Vol. 24, N 1/4, pp. 163-166;

24. López G. M., A. Sánchez, M.V. Gómez E.. Estimates of the dose due to ^{222}Rn concentrations in water. *Radiation Protection Dosimetry*, 2004, Vol. 111, No. 1, pp. 3–7;
25. Skeppström K., Olofsson B.. Uranium and radon in groundwater. *European Water*, 2007, 17/18; pp.51-62;
26. Nasir T., Shah M.. Measurement of annual effective doses of radon from drinking water and dwellings by CR-39 track detectors in Kulachi City of Pakistan. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 2012, 8, pp. 528-536;
27. Binesh A., Mohammadi S., Mowlavi A.A. and Parvaresh P.. Measuring radon and radium concentrations in 120 samples of drinking water sources, springs and rivers of Shandiz, Zoshk and Abrdeh regions. *Environmental Research Journal*, 2011, 5 (1), pp. 1-5;
28. Rajesh B.M., Chandrashekar M.S., Nagaraja P., Paramesh L.. Studies on radon concentration in aqueous samples at Mysore city, India. *Radiat.Prot.EnvIRON.*, 2012, 35, pp. 9-13;
29. Kusyk M., Mamont-Ciesla K.. Radon levels in household waters in southern Poland. *NUKLEONIKA*, 2002, 47(2), pp. 65-68;
30. D'Cunha P, Narayana Y, Karunakara N, Yashodhara I, Kumara S. Concentration of ^{222}Rn in drinking water along coastal Kerala and evaluation of ingestion doses. *Radiat Prot Environ*, 2011, 34, pp. 197-200;
31. Walencik A., Kozłowska B., Dorda J., Szłapa P., Zipper W.. Natural Radioactivity in Underground Waters. *Polish J. of Environ. Stud.* 2010, Vol. 19, No. 2, pp. 461-465;
32. Chen J., Falcomer R.O, Wierdsma J. Ly., Bergman L.. Long-term monitoring of soil gas radon and permeability at two reference sites. *Radiation Protection Dosimetry*, 2008, Vol. 131, No. 4, pp. 503-508;
33. Ali N., Khan E. U., Akhter P., Khan F.and Waheed A.. Estimation of mean annual effective dose through radon concentration in the water and indoor air of Islamabad and Murree. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010, Vol. 141, No. 2, pp. 183–191;
34. Singh J., Singh H., Singh S. and Bajwa B S. Measurement of soil gas radon and its correlation with indoor radon around some areas of Upper Siwaliks, India. *J. Radiol. Prot.*, 2010, 30, pp. 63–71;
35. Hyun-Kuk Je, Chi-Gu Kang, Jae-Young Choi, Jin-Soo Lee; Hyo-Taek Chon. Assessment of soil and soil-gas radon activity using active and passive detecting methods in Korea. *Environ Geochem Health*, 2007, 29, pp. 295–301;
36. Garavaglia M., Costalunga D., Giovani C., Nadalut B., Pividore S., Scruzzi E. Radon Measurements in Soil of Friuli Venezia Giulia (North-East Italy). In:

- Barnet, I., Neznal, M. Pacherova, P., Radon investigations in the Czech Republic XI & the Eighth International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Prague: Czech Geological Survey and Radon corp., pp. 107-114;
37. ხაზარაძე რ.ა. და სხვა „რადიაციული გამოკვლევები“, 1998 წ., ტომი VIII, გვ. 273-276;
 38. დიასამიძე რ.ი. და სხვა „რადიაციული ფონისა და მოსახლეობაზე დოზური დატვირთვების შეფასება საქართველოში“, რადიაციული გამოკვლევები, 1998 წ., ტომი VIII, გვ. 230-241;
 39. ფაღვა ს. და სხვა „ ^{222}Rn საწყისი კვლევები თბილისის დასახლებულ ადგილებში“, რადიაციული უსაფრთხოების ფიზიკა, 2008, 95(6), გვ. 761-765;
 40. ამირანაშვილი ა.გ. და სხვა „რადონის განაწილება და ფილტვის კიბოს გავრცელების დონე დასავლეთ საქართველოს რამდენიმე რაიონში“, საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მაცნე, 2008, 115, გვ. 349;
 41. Kekelidze N., Khikhadze N., Jakhutashvili T., Tulashvili E., Mtsariashvili L.. Features distribution of radon content in drinking water of Tbilisi City. Georgia Chemical Journal, Vol. 9, No. 6, 2009, ISSN 1512-0686, pp. 524-529;
 42. საქართველოს ატლასი, საქართველოს სსრ მეცნ. აკადემია, ვახუშტის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტი, 1964 წ;
 43. Кекелидзе Н.П., Джахуташивили Т.В., Тулашвили Э.В., Чхаидзе М.А., Мцариашвили Л.А., Беришвили З.В.. Природная радиоактивность некоторых родников в Тбилисском и Картлийском артезианских бассейнах. საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის მაცნე, ქიმიის სერია, 2014, , ტ. 40, # 1, 36-43;
 44. Jakhutashvili T., Tulashvili E., Khikhadze N., Mtsariashvili L. Measurement of radon contents with use of modern mobile alpha-spectrometer RAD-7. Georgia Chemical Journal, 2009, Vol. 9, No. 2, pp. 179-182;
 45. Federal Register. July 18, 1991. Part II. Environmental Protection Agency. 40 CFR Parts 141 and 142. National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Proposed Rule. (56 FR 33050);
 46. Kekelidze N.P., Jakhutashvili T.V., Tulashvili E.V., Pataridze E.V., Tkeshelashvili Z.Sh. Some aspects of measurements on gamma-spectrometer Canberra (GC2020). Proceeding of the International Conference “Problems of rivers monitoring and ecological safety of Southern Caucasus”. Tbilisi, 22 – 25 September, 2005, pp. 248 – 253;
 47. Kekelidze N.P., Elizbarashvili M.E., Jakhutashvili T.V., Tulashvili E.V., Khikhadze N.V. Natural and technogenic radionuclides in the Black Sea

- coastal soil of the Ureki-Shekviteli region. Georgia Chemical Journal. 2010, Vol. 10, # 4, pp. 73-75;
48. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR 2000). Exposure from natural radiation sources (New York: United Nations, 2000);
 49. Beretka, J. and Mathew, P. J. Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and byproducts. Health Phys. (1985), 48, pp.87–95;
 50. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). Exposure from natural radiation sources (New York: United Nations) (2000);
 51. Mammont-Ciesla, K., Gwiazdowski, B., Biernacka, M. and Zak, A. Radioactivity of building materials in Poland. In: Natural Radiation Environment. Vohra, G., Pillai, K. C. and Sadasivan, S., Eds. (New York:Halsted Press) (1982)., ISBN: 0470273305, pp. 551–556;
 52. United Nations. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1988 Report to the General Assembly, with annexes. United Nations sales publication E.88.IX.7. United Nations, New York, 1988;
 53. Jankovic Mandic Lj. and Dragovic´ S. Assessment of terrestrial gamma exposure to the population of Belgrade (Serbia). Radiation Protection Dosimetry (2010), pp. 1–9;
 54. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (Oxford: Pergamon) (2007);
 55. Kekelidze N.P., Jakhutashvili T.V., Tulashvili E.V., Pataridze E.V., Tkeshelashvili Z.Sh. Some aspects of measurements on gamma-spectrometer Canberra (GC2020). Proceeding of the International Conference “Problems of rivers monitoring and ecological safety of Southern Caucasus”. Tbilisi, 22 – 25 September, 2005, pp. 248 – 253;
 56. Джапаридзе Г.В., Инженерная геология Тбилиси, Издательство «Сабчота Сакартвело», Тбилиси, 1984;
 57. Abdallah S.M., Habib R.R., Nuwayhid R.Y., Chatila M., Katul G.. Radon measurements in well and spring water in Lebanon. Radiation measurements, 2007, vol. 42, no. 2, pp. 298-303;
 58. Prasad G., Prasad Y., Gusain G.S., Badoni M., Rana J.M.S., Ramola R.C.. Variation of radon concentrations in soil and groundwater and its correlation with radon exhalation rate from soil in Budhakedar, Garhwal Himalaya. Indian J. Phys. 2009, 83 (6), pp. 887-892;

59. Prasad Y., Prasad G., Gusain G.S., Choubey V.M., Ramola R.C.. Seasonal variation on radon emission from soil and water. *Indian J. Phys.* 2009, 83 (7), pp. 1001-1010;
60. Yiğitoğlu I., Öner F., Yalim H. A., Akkurt A., Okur A. and Özkan A.. Radon concentrations in water in the region of Tokat City in Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 2010, 142 (2-4), pp. 358-362;
61. Binesh A., Mohammadi S., Mowlavi A.A. and Parvaresh P.. Measuring radon and radium concentrations in 120 samples of drinking water sources, springs and rivers of Shandiz, Zoshk and Abrdeh regions. *Environmental Research Journal*, 2011, 5 (1), pp. 1-5;
62. Mowlavi A.A., Binesh A.. Radon concentration measurement in the some water sources of Mashhad Region in Iran. *IFMBE Proceedings*, 2006, Vol. 14/1, pp. 498-499;
63. Binesh A., Pourhabib Z., Arabshahi H. and Mohammadi S.. Determination of Radon and Radium in Springs, Wells, Rivers and Drinking Water Samples of Ramsar in Iran. *International Journal of Science and Advanced Technology*, 2011, Vol. 1, No 4;
64. Zornitza Tosheva, Antoine Kies, Harald Hofmann. Radon in potable waters in Luxembourg. *NUKLEONIKA* 2010; 55(4), pp. 583-588;
65. Galán López M., Martín Sánchez A., Gómez Escobar V.. Estimates of the dose due to ²²²Rn concentrations in water. *Radiation Protection Dosimetry* (2004), Vol. 111, No. 1, pp. 3-7;
66. Kusyk Monika, Mamont-Ciesla Kalina. Radon levels in household waters in southern Poland. *NUKLEONIKA* 2002; 47(2):65-68;
67. Vesterbacka P., Mäkeläinen I. and Arvela H.. Natural radioactivity in drinking water in private wells in Finland. *Radiation Protection Dosimetry* (2005) Vol. 113, No. 2, pp. 223-232;
68. Janine N. Côrrea, Sergei A. Paschuk, Allan F. N. Perna, Jaqueline Kappke, Flávia Del Claro, Valeriy Denyak, Hugo R. Schelin and Zildete Rocha. Radon and radium measurement in well water at Curitiba (PR), Brazil. 2011 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2011, Belo Horizonte, MG, Brazil, October 24-28, 2011;
69. Salonen L.. Natural radionuclides in ground water in Finland. *Radiation Protection Dosimetry*, 1988, Vol. 24, N 1/4, pp. 163-166;
70. Skeppström K., Olofsson B.. Uranium and radon in groundwater. *European Water*, 2007, 17/18: 51-62;
71. Alfaro R., Martínez V., Segovia N., Peña P., López M.B.E., Armienta M.A., Rangel J. and Seidel J.L.. Radon behavior in springs and wells around Cuitzeo

- lake, Lerma river basin, Mexico. *Geofísica Internacional* (2002), Vol. 41, Num. 4, pp. 439-445;
72. Binesh A., Mowlavi A.A., Mohammadi S.. Estimation of the effective dose from radon ingestion and inhalation in drinking water sources of Mashhad, Iran. *J. Radiat. Res.*, 2012; 10(1): pp. 37-41;
 73. Jakhutashvili T., Tulashvili E., Khikhadze N., Mtsariashvili L.. Characteristics of environment background gamma-radiation. *Georgia Chemical Journal*, 2009, Vol. 9, No. 3, pp. 289-294;
 74. Chen J., Falcomer R., Ly J., Wierdsma J., Bergman L.. Long-term monitoring of soil gas radon and permeability at two reference sites. *Radiation Protection Dosimetry* (2008), Vol. 131, No. 4, pp. 503-508;
 75. Chen J., Falcomer R., Bergman L., Wierdsma J., Ly J.. Correlation of soil radon and permeability with indoor radon potential in Ottawa. *Radiation Protection Dosimetry* (2009), Vol. 136, No. 1, pp. 56-60;
 76. Ali N., Khan U., Akhter K., and Waheed A.. Estimation of mean annual effective dose through radon concentration in the water and indoor air of Islamabad and Murree. *Radiation Protection Dosimetry* (2010), Vol. 141, No. 2, pp. 183–191;
 77. Singh J., Singh H., Singh S. and Bajwa B S.. Measurement of soil gas radon and its correlation with indoor radon around some areas of Upper Siwaliks, India. *J. Radiol. Prot.* 30 (2010), pp. 63–71;
 78. Hyun-Kuk Je, Chi-Gu Kang, Jae-Young Choi, Jin-Soo Lee; Hyo-Taek Chon. Assessment of soil and soil-gas radon activity using active and passive detecting methods in Korea. *Environ Geochem Health* (2007) 29: pp.295–301;
 79. NATO-OSCE Project SFP 977991 “South Caucasus River Monitoring”, NATO Science for Peace Programme. 2002-2008. www.kura-araks-natosfp.org;
 80. Kogan, R.M., Nazarov, I.M. and Fridman, Sh.D. Basics of environmental gamma-spectrometry. Russia, Moscow, 1976;
 81. Titaeva, N.A., 2000. Nuclear geochemistry. MGU, Moscow;
 82. 233 T. Goslar et al., “First measurements of natural radioactivities of ^{210}Pb in the Institute of Physics, Silesian University of Technology”, *Geochronometria*, vol. 18, pp. 29-34, 2000;
 83. NATO-OSCE Project SFP 977991 “South Caucasus River Monitoring”, NATO Science for Peace Programme. 2002-2008. www.kura-araks-natosfp.org;
 84. Mehra, R. and Singh, M. Measurement of radioactivity of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th and ^{40}K in soil of different geological origins in Northern India. *Journal of Environmental Protection*, 2011, vol. 2, pp. 960-966;

85. Martin, A. Measurement of naturally occurring radioactive materials using high resolution gamma-ray spectrometry. BSc Final Year Project, Univ. of Surrey, 2015;
86. Ekidin, A., Vasyanovich, M. and Nalivajko, A. Gamma-ray spectrometry application for detection of anthropogenically uranium-polluted soil. *Principy èkologii*. 2013. Vol. 2. № 2, pp. 29–35;
87. Charro, E. and Moyano, A. Soil and vegetation influence in plants natural radionuclides uptake at a uranium mining site. *Radiation Physics and Chemistry* 141 (2017) 200–206;
88. Alnassar, N. A., Jaafar, M. S. and Kabir, N. A. Determination of concentrations of natural radionuclides in soils and water in non-cultivated sites in Seberang Perai, Malaysia. *IOSR Journal of Applied Physics (IOSR-JAP)*; e-ISSN: 2278-4861, Volume 9, Issue 2 Ver. II (Mar. – Apr. 2017), pp. 27-35, www.iosrjournals.org. DOI: 10.9790/4861-0902022735;
89. Pallavicini, N. Activity concentration and transfer factors of natural and artificial radionuclides in the Swedish counties of Uppsala and Jämtland. Master's Thesis in Environmental Science. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2011. <http://stud.epsilon.slu.se>
90. Klos, A., Ziembik, Z., Rajfur, M., Dolhańczuk-Śródka, A., Bochenek, Z., Bjerke, J. W., Tømmervik, H., Zagajewski, B., Ziółkowski, D., Jerz, D., Zielińska, M., Kreams, P. and Godyń, P. The origin of heavy metals and radionuclides accumulated in the soil and biota samples collected in Svalbard, near Longyearbyen. *Ecol Chem Eng S.*, 2017; 24(2), pp. 223-238. DOI: 10.1515/eces-2017-0015;
91. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly (UNSCEAR 2008), "Sources and Effects of Ionizing Radiation", Annex B, United Nations, New York, 2010;
92. Janković Mandić, Lj. and Dragović, S. Assessment of terrestrial gamma exposure to the population of Belgrade (Serbia). *Radiat.Prot.Dosim.* 2010. 140, 4, 369–377;
93. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation. Report to the General Assembly (UNSCEAR 1988);
94. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (Oxford: Pergamon) (2007);