



ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო  
უნივერსიტეტის

ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის სტუდენტის

**ლაშა მეზვრიშვილის**

საბაკალავრო ნაშრომი

სპეციალობაში „ეკოლოგია“

**რადიაციის ბუნებრივი ფონი და მნიშვნელობა ეკოლოგიისათვის**

**ხელმძღვანელი** ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის  
ფიზიკის დეპარტამენტის ემერიტუს პროფესორი სიმონ წერეთელი

თბილისი 2013

## სარჩევი

1. რადიაციის ბუნებრივი ფონი და მნიშვნელობა ეკოლოგიისათვის
2. ბუნებრივი რადიაციული ფონის კომპონენტები
3. ბუნებრივი რადიაციული ფონის მნიშვნელობა
4. რადიაციის სახეები
5. რადიაციის ბიოლოგიური ეფექტი

გამოყენებული ლიტერატურა

# 1. რადიაციის ბუნებრივი ფონი და მნიშვნელობა ეკოლოგიისათვის

ადამიანი ცხოვრობს გარემო პირობებთან მჭიდრო კონტაქტში, გარე სამყაროს ფაქტორები უშუალოდ ზემოქმედებს მის ცხოველმყოფელობაზე, ამიტომ ამ ფაქტორების ორგანიზმზე მოქმედების შესწავლა დიდმნიშვნელოვანი საკითხია.

გარემოს ფაქტორებს შორის (მზის რადიაცია, ჰაერი, ნიადაგი, წყალი და სხვ.) ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია მაიონიზებელ გამოსხივებას, რომელიც ბუნებაში არსებობს, ე.წ. ბუნებრივი რადიაციული ფონი. იგი განუწყვეტლივ, ყოველ წამს, ყოველ წუთს მოქმედებს ადამიანზე მთელი მისი სიცოცხლის განმავლობაში.

იმისათვის, რომ შევისწავლოთ ბუნებრივი რადიაციული ფონის ზეგავლენა ორგანიზმზე, საჭიროა ვიცოდეთ თუ რა არის იგი, რისგან შედგება, როგორია დოზები, რომლებიც ორგანიზმზე ზემოქმედებენ და სხვ.

ადამიანის ორგანიზმზე ბუნებრივი ფონის გავლენის შესწავლა გვინტერესებს გარკვეული მოსაზრებითაც, პირველ ყოვლისა, სხივურ დაავადებასთან დაკავშირებული საკითხების მეცნიერული შესწავლის თვალსაზრისით. დიდ ინტერესს იწვევს სხივური ზემოქმედების შედეგად წარმოქმნილი გენეტიკური შედეგების შესწავლაც. და ბოლოს, ერთ-ერთი აქტუალური საკითხია სხივური დაზიანებების შესწავლა პროფესიული დასხივების დროს, როდესაც მაიონიზებელი რადიაცია ორგანიზმზე ხანგრძლივად მოქმედებს მცირე დოზებით.

ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მოსახლეობისა და პროფესიული პირებისათვის ზღვრულად დასაშვები დოზების დადგენის საკითხს, რომლის შემუშავება შეუძლებელია გარემოს რადიაციული ფონის დაზიანებისა და გავლენის ცოდნის გარეშე. ამჟამად ყველა ამ საკითხის გაშუქებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, ვინაიდან დღეს ჩვენ ვცხოვრობთ „ატომის საუკუნეში“.

სადღეისოდ არ არსებობს სახალხო მეურნეობის არც ერთი დარგი, რომელშიც ატომური ენერჯია არ იყოს ფართოდ გამოყენებული. ყოველივე ეს იწვევს ადამიანთა იმ კონტიგენტის ზრდას, რომელიც უშუალო კონტაქტშია მაიონიზებელი რადიაციის წყაროებისა და რადიაქტიური ნივთიერებების წარმოება-გამოყენებასთან. იზრდება აგრეთვე იმ ადამიანთა რიცხვიც, რომლებიც შესაძლებელია თვითონ უშუალოდ არ არიან დაკავშირებული გამოსხივების წყაროებთან, მაგრამ ხდება მათი სპორადული დასხივება მაიონიზებელი გამოსხივებით (მაგალითად, დასხივება სხვადასხვა სამედიცინო გამოკვლევებისა თუ მკურნალობის ჩატარების დროს).

ატომური წარმოების, ატომური მრეწველობის განვითარებას თან სდევს რადიაქტიური ნარჩენების წარმოქმნა, რომლებიც იწვევენ ნიადაგის, ატმოსფეროს, წყალსატევების დაზინძურებას ხელოვნური რადიაქტიური ნივთიერებებით. თუ „ატომის საუკუნემდე“ ადამიანი და ყველა ცოცხალი არსება ბუნებრივი რადიაციული ფონიდან სისტემატურად ლებულობდნენ დასხივების გადიდებული დოზის გავლენა ადამიანის ჯანმრთელობასა და მის შთამომავლობაზე, ყველა ცოცხალი არსების ზრდა-

განვითარებაზე, მთელი ბიოსფეროს წონასწორობაზე? აი ერთ-ერთი საკითხი, რომლის შესწავლა დღეს პირველხარისხოვანი ამოცანაა.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ნათელი ხდება ბუნებრივი რადიაციული ფონის რაობისა და ადამიანზე (ბუნებაზე) მისი ზეგავლენის შესწავლის აქტუალობა ჰიგიენისტებისათვის.

## 2. ბუნებრივი რადიაციული ფონის კომპონენტები

ბუნებრივი რადიაციული ფონი შედგება გარეგანი და შინაგანი დასხივებისაგან.

გარეგანი დასხივების კომპონენტებია: 1. კოსმოსური გამოსხივება; 2. ნიადაგის გამოსხივება; 3. ატმოსფეროს გამოსხივება.

კოსმოსური გამოსხივება - შედგება პირველადი და მეორეული სხივებისაგან. პირველადი სხივები შედგება პროტონების, ალფა-ნაწილაკებისა და მსუბუქი (ნახშირბადის - C, აზოტის-N, ჟანგბადის-O ) და მძიმე ელემენტების (რომელთა  $Z > 10$ ) ბირთვებისაგან. ისინი ძირითადად მოქმედებენ ატმოსფეროს ზედა ფენებში. ადამიანზე კოსმოსური გამოსხივების ზემოქმედებას ძირითადად აპირობებს მეორეული გამოსხივება, რომელიც წარმოიქმნება მაღალენერგეტიკული პირველადი გამოსხივების ჰაერთან ურთიერთქმედების შედეგად და, რომლის შემადგენელია მეზონები და ელექტრონები. მას ემატება აგრეთვე პირველადი პროტონების მოქმედება.

კოსმოსური გამოსხივების წყაროებია: ა) გალაქტიკური კოსმოსური გამოსხივება, რომელიც შედგება მაღალი ენერგიის პროტონებისა და მეზონების ნაკადისგან; ბ) მზეზე აფეთქებების შედეგად წარმოქმნილი რადიაცია, რომელიც ჩვენამდე არ აღწევს თავისი ნატიური ფორმით. დედამიწამდე აღწევს ამ გამოსხივებით წარმოქმნილი მეორეული გამოსხივება პროტონებისა და ნეიტრონების სახით; გ) დედამიწის სარტყელების რადიაცია (დედამიწას ორი ასეთი რადიაციული სარტყელი აქვს).

ამ წყაროებისგან მიღებული დასხივების დოზა დამოკიდებულია იმ სიმაღლეზე, რომელზეც ადამიანი იმყოფება. იგი ძირითადად მოქმედებს 18-20 კმ სიმაღლეზე, ვინაიდან ატმოსფერო გიგანტური დამცველი ფარია და თითქმის მთლიანად შთანთქავს ამ გამოსხივებას. 18-20 კმ სიმაღლეზე კი ატმოსფეროს დამცველი როლი გამორიცხებულია. აქ მოქმედებს ძლიერი, შესუსტებული პროტონები. ამიტომ თანამედროვე ტექნიკის განვითარების პირობებში, როდესაც ფრენა ხდება ზებგერითი სიჩქარით დიდ სიმაღლეზე - 18-20 კმ-ზე, ამ ფაქტორის მოქმედება საყურადღებო ხდება.

ბუნებრივი რადიაციის დოზა კოსმოსური კომპონენტების ხარჯზე იწრდება სიმაღლისა და გეოგრაფიული განედის მატებასთან ერთად. ეს ნათლად ჩანს მე-18 ცხრილში.

მზეზე მიმდინარე პერიოდული აფეთქებების შედეგად კოსმოსური გამოსხივების ინტენსივობა ხანმოკლედ მატულობს.

კოსმოსური გამოსხივება ზღვის დონის სიმაღლეზე ჰაერის ყოველ 1 სმ<sup>3</sup>-ში ყოველ წამში საშუალოდ წარმოქმნის 2 წყვილ იონს. ასეთ პირობებში წლიური დოზა ზღვის დონეზე კოსმოსური გამოსხივების ხარჯზე შეადგენს დაახლოებით 25-28 მილიარდს.

ატმოსფეროს ზედა ფენებში მიმდინარე ზოგიერთმა პროცესმა, როგორცაა ტემპერატურის, წნევის ცვალებადობა, ჰაერის მასების გადაადილება, შესაძლებელია იმოქმედოს კოსმოსური გამოსხივების ინტენსივობის ხანმოკლე ცვლილებებზე, მაგალითად, წნევის მომატება ვერცხლისწყლის სვეტის 1მმ-ით იწვევს კოსმოსური გამოსხივების შემცირებას 0,35%-ით. მაგრამ ამ ცვლილებებს არა აქვს დიდი მნიშვნელობა და ადამიანის სხეულის მიერ შთანთქმული დოზა კოსმოსური გამოსხივების ხარჯზე საშუალოდ თითქმის არ იცვლება.

ნ ი ა დ ა გ ი ს გ ა მ ო ს ხ ი ვ ე ბ ა შ ი ძირითადად მონაწილეობს <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th და მათი დაშლის პროდუქტების გამა-სხივები. დოზა, რომელსაც ქმნის ამ იზოტოპების გამა-სხივები, დამოკიდებულია მათ კონცენტრაციაზე ნიადაგში. მაგალითად, რადიუმი წელიწადში იძლევა  $18,4 \cdot 10^{12} \text{S}_{\text{Ra}}$  მილიარდ დასხივებას, თორიუმი-  $3,1 \cdot 10^6 \text{S}_{\text{Th}}$  მილიარდს, ხოლო კალიუმი -  $13,3 \cdot 10^2 \text{S}_{\text{K}}$  მილიარდს.

ცხრილი 1

**კოსმოსური გამოსხივების დამოკიდებულება სიმაღლესა და განედზე (მილიარდებით)**

სიმაღ. განედი	0 მ	1000 მ	2000 მ	3000 მ	4000 მ	5000 მ
0	25	30	49	60	90	130
40°	30	35	45	75	110	170
60°	30	35	50	80	120	200

ამ სიდიდეებში S არის Ra, Th-ისა და ბუნებრივი K-ის რაოდენობა 1 გ ნიადაგში, გამოსახული გრამობით (გ/გ). მე-19 ცხრილში მოცემულია ამ იზოტოპების შეცველობა სხვადასხვა ნიადაგში.

ცხრილი 2

**რადიუმის, თორიუმის, კალიუმისა და ურანის შემცველობა ნიადაგებში**

მთისქანების სახეობა	<sup>226</sup> Ra 10 <sup>-12</sup> გ/გ	<sup>232</sup> Th 10 <sup>-6</sup> გ/გ	<sup>39</sup> K 10 <sup>-2</sup> გ/გ	<sup>238</sup> U 10 <sup>-6</sup> გ/გ
მაგმური	1.3	12	2.6	4
დანალექიქვიშიანი	0.71	6	1.1	1.2
ფიქალი	1.08	10	2.7	1.2

კირიანი	0.42	1.3	0.27	1.3
---------	------	-----	------	-----

მე-19 ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ ყველაზე მაღალი რადიაქტივობა ახასიათებს მაგმურ ქანებს, ყველაზე ნაკლები - კირიანს. მაგრამ თვით მაგმურ ქანებშიც არის განსხვავება. მაგალითად, მე-20 ცხრილიდან ჩანს, რომ მაგმურ ქანებში ყველაზე მაღალი რადიაქტივობა აქვს მათ მჟავე და საშუალო სახეობას, ყველაზე ნაკლები - ულტრაფუძოვანს.

ცხრილი 3

მაგმური ქანების სახეობა	$^{226}\text{Ra}10^{-12}$ გ/გ	$^{232}\text{Th}10^{-6}$ გ/გ	$^{238}\text{U}10^{-6}$ გ/გ
მჟავე	2.4	20	7
საშუალო	1.9	19	5.6
ფუძოვანი	1	7	3
ულტრაფუძოვანი	0.2	2	0.6

საზოგადოდ ნიადაგში რადიოაქტიური ნივთიერებების შემცველობა სხვადასხვაგვარია. იგი დამოკიდებულია ქვემდებარე ქანებზე, მათ რადიოაქტივობაზე, კალიდური ფრაქციების შედგენილობაზე და სხვ. მაგალითად, ურანის შემცველობა შუა რუსეთის მაღლობის ნიადაგში ცვალებადობს  $1,0-18,0 \cdot 10^{-5}\%$ -ის ფარგლებში.

რადიუმით განსაკუთრებით მდიდარია თიხნარი ნიადაგები, ხოლო ქვიშიან ნიადაგებში იგი მცირე რაოდენობითაა.

ურანი დანალექ ნიადაგში თითქმის თანაბრადაა განაწილებული. იგი ადვილად გამოირეცხება ქანებიდან კარბონატის, ბიკარბონატის და ორგანული ნაერთების შემცველი ხსნარებით. რაც შეეხება თორიუმს, ის გროვდება ნიადაგის ზედა ფენებში.

კალიუმის იზოტოპი შედარებით უფრო გაფანტულია ნიადაგში და ძირითადად სორბირებულია თიხით. ამის გამო ნიადაგის წყალი შედარებით ნაკლები კონცენტრაციით შეიცავს ამ ელემენტის მარილებს.

არსებობს ქვეყნები, სადაც ნიადაგი ძლიერ მდიდარია რადიოაქტიური ელემენტებით, მაგალითად, ჩეხოსლოვაკია, საფრანგეთი, ინდოეთი, ბრაზილია და სხვ. რასაკვირველია, ამ ქვეყნებში ნიადაგის გამოსხივება შესაბამისად მაღალი იქნება. ამის დასადასტურებლად მოგვყავს 21-ე ცხრილი, რომელშიც ნათლად ჩანს, თუ რა დიდია გარეგანი გამა-დასხივება საფრანგეთის გრანიტით მდიდარ რაიონებსა და ინდოეთის მონაციტურ რაიონებში.

კოსმოსურ სხივებთან შედარებით, ნიადაგში არსებული რადიოაქტიური ელემენტების გამოსხივების შეღწევადობანაკლებია, ამიტომ მათ გარკვეულ ნაწილს სხეულის რბილი ქსოვილები შეაკავებს.

ს ა შ ე ნ ი მ ა ს ა ლ ე ბ ი ს გამოსხივება. ვინაიდან რადიოაქტიური ელემენტები ნიადაგში ასე ფართოდაა გავრცელებული, რასაკვირველია მათ შეიცავს საშენი მასალები და, ბუნებრივია, რომ ადამიანი, რომელიც თავისი ცხოვრების უმეტეს ნაწილს შენობაში ატარებს, მისი კედლებიდანაც ღებულობს დასხივების გარკვეულ დოზას.

ცხრილი 4

**სხვადასხვა ნიადაგის გამა-გამოსხივებისაგან შექმნილი გარეგანი დასხივების დოზის სიმძლავრე**

ნიადაგები	დოზისსიმძლავრე (მრადი/წელიწადში)	
	საშუალოსიდი დე	ზღვრულიმაჩვენებლე ბი
ჩვეულებრივირაიონები		
მთისქანები	73	25-120
შუაგანედისნიადაგი	70	48-160
განსაკუთრებულნიადაგები		
გრანიტიმდიდარირაიონები (საფრანგეთი)	265	180-350
კერალისმონაციტურირაიონე ბი (ინდოეთი)	1270	131-2814

სხვადასხვა საშენი მასალა სხვადასხვა რაოდენობით შეიცავს რადიოაქტივობას.

ცხრილი 5

**ზოგიერთი საშენი მასალის რადიოაქტივობა**

საშენიმასალა	Ra-ისრადიოაქტივობა 1 გმასალაზე X 10 <sup>-12</sup> კიური
აგური	3-13
ბეტონი	1.7-6.7
ბეტონითიხა-ფიქალით	15-75
ცემენტი	1.8-5.9

კირი	0.1-1.7
ხე	<0.1

22-ე ცხრილიდან ნათლად ჩანს, რომ  $^{226}\text{Ra}$ -ის კონცენტრაცია განსაკუთრებით მაღალია თიხა-ფიქალის შემცველ ბეტონში, შემდეგ აგურში, ბეტონსა და ცემენტში. ყველაზე ნაკლებია იგი ხის მასალაში.

წყალსატევების ბუნებრივი რადიოაქტივობა. რადგან ნიადაგი შეიცავს რადიოაქტიურ ელემენტებს, იწვევს ღია და მიწისქვეშა წყლებში ამ ელემენტების გადასვლას. წყალსატევების რადიოაქტივობას ძირითადად განისაზღვრება იმავე ელემენტებით, რომლებიც ნიადაგში გვხვდება.

ცხრილი 6

**ბუნებრივი რადიოაქტიური ნივთიერებების შემცველობა ღია წყალსატევებში**

წყალსატევისს ახე	Ra გ/ლ	U გ/ლ
მდინარეები	$2.10^{-13}$ __ $4.10^{-12}$	$2.10^{-8}$ __ $5.10^{-5}$
ტბები	$1.10^{-13}$	$2.10^{-7}$
ზღვები	$1.10^{-13}$	$2.10^{-6}$
ზღვისშლამი	$1.10^{-13}$	$0,65.10^{-3}$
	$1,59.10^{-8}$	

რადიოაქტიური ელემენტებით მდიდარი წყალი ცნობილია, როგორც რადიოაქტიური. წყალს რადიოაქტიურად მიიჩნევენ, თუ მასში რადიოაქტიური ელემენტების კონცენტრაცია ასეთია:

$$\begin{aligned} \text{Rn} &> 5.10^{-10} \text{კ/ლ} \\ \text{Ra} &> 1.10^{-11} \text{გ/ლ} \\ \text{U} &> 3.10^{-5} \text{გ/ლ} \end{aligned}$$



ასეთი წყალი გამოყენებულია კურორტოლოგიაში.

მდინარეების, ტბებისა და ზღვების წყალში, როგორც ეს ცხრილიდან ჩანს, რადიოაქტიური ელემენტების კონცენტრაცია შედარებით დაბალია. გაზაფხულობით ისინი ივსება თოვლისა და ყინულის დნობის შედეგად, რომელთა რადიოაქტივობა ძალიან მცირეა, ამიტომ ამ პერიოდში მათი ხვედრითი აქტივობა ეცემა.

ზღვებისა და ოკეანეების მარილოვანი და მამასადამე რადიოაქტიური ელემენტების შედგენილობა დამოკიდებულია კლიმატურ და ჰიდროგეოლოგიურ პირობებზე. ამ წყალში, გარდა ძემოთჩამოთვლილი რადიოაქტიური ელემენტებისა, შედის აგრეთვე  $^{40}\text{K}$ . მისი კონცენტრაცია დაახლოებით  $3-5 \cdot 10^{-10}$  კ/ლ-ის ტოლია. ურანის რაოდენობა უდრის  $2 \cdot 10^{-6}$  გ/ლ, ხოლო რადიუმისა-  $1 \cdot 10^{-13}$  გ/ლ-ს.

ატმოსფეროს გამოსხივება. ატმოსფეროს რადიოაქტივობას ძირითადად განაპირობებს მასში არსებული რადონი  $^{222}\text{Rn}$ , მაგრამ, გარდა რადონისა, ატმოსფეროს რადიოაქტივობის შექმნაში მონაწილეობს ისეთი ელემენტებიც, როგორცაა თორონი  $^{220}\text{Tn}$ , რადონისა და თორონის დაშლის პროდუქტები (რომლებიც დედისეული აიროვანი ელემენტებისაგან განსხვავებით, მყარი ნივთიერებებია), რადიოაქტიური ნახშირბადი  $^{14}\text{C}$ , რადიოაქტიური წყალბადი  $^3\text{H}$  და სხვ.

რადონის კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში შეადგენს  $0,3 \cdot 10^{-12}$  კ/ლ-ს; ხოლო თორონისა  $-0,5 \cdot 10^{-13}$  კ/ლ-ს. რადონი და თორონი ატმოსფეროში წარმოიქმნება ნიადაგში არსებული რადიუმისა და თორიუმის დაშლის შედეგად. ისინი ატმოსფერულ ჰაერში ნიადაგის ჰაერიდან გადადიან, ხოლო ნიადაგის ჰაერში მათი რაოდენობა დამოკიდებულია არა მარტო რადიუმისა და თორიუმის რაოდენობაზე, არამედ ნიადაგის აგებულებაზეც.

რადონის კონცენტრაცია ნიადაგში სიღრმის ზრდასთან ერთად მატულობს, ამიტომ ცუდი ნენტილაციის მქონე სარდაფებში მისი კონცენტრაცია დიდია. მაგალითად, თუ ატმოსფერულ ჰაერში რადონის კონცენტრაცია  $0,3 \cdot 10^{-12}$  კ/ლ-ს უდრის, სარდაფებში შეიძლება  $2 \cdot 10^{-10}$  კ/ლ-ს აღწევდეს. 5 მეტრის სიღრმის შემდეგ რადონის კონცენტრაცია ნიადაგში მუდმივია.

რაიონებში, რომლებიც მდიდარია რადიოაქტიური საბადოებით, რადონისა და თორონის კონცენტრაცია ატმოსფერულ ჰაერში მაღალია, და პირიქით, იმ რაიონებსი, რომელთა ნიადაგები ღარიბია რადიოაქტიური ელემენტებით, რადონის კონცენტრაცია დაბალია.

რადონის კონცენტრაცია ხმელეთის ჰაერში უფრო მეტის, ვიდრე ოკეანის ატმოსფერულ ჰაერში.

ატმოსფერულ ჰაერში რადონის და თორონის კონცენტრაციის ზრდა ურბანიზაციის პროცესზეცაა დამოკიდებული, რაც უფრო მეტადაა განვითარებული მრეწველობა, მით უფრო მატულობს ატმოსფერულ ჰაერში აირების კონცენტრაცია. 24-ე ცხრილიდან ჩანს, რომ დიდი ქალაქებისა და, მამასადამე, მრეწველობის განვითარებას თან სდევს რადონისა და თორონის კონცენტრაციის ზრდა ატმოსფერულ ჰაერში.

**რადონისა და თორონის საშუალო წლიური კონცენტრაცია დედამიწის სხვადასხვა რაიონის ჰაერში (კონცენტრაცია ჰაერში X 10 - 15გ/ლ)**

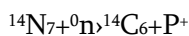
ადგილმდებარეობა	რადონი	თორონი	მათიდაშლისპროდუქტები
ვაშინგტონი	172	2.3	2.1
იოკაზიკა (იაპონია)	54	54	0.66
კოდაიკი (ალაისკა)	7.3	7.3	0.16
ანტარქტიდა	1.5	1.5	0.019

შენობებში, რომელთა განიავება ცუდად ხდება, შესაძლებელია რადონისა და თორონის კონცენტრაცია, ატმოსფერულ ჰაერთან შედარებით, უფრო მეტი იყოს. ამის მიზეზი შენობის კედლებია, რომლებიც შეიცავს რადიუმისა და თორიუმის და რომელთა დაშლის შედეგად წარმოიქმნება ეს ელემენტები. როგორც ცნობილია, ყველაზე დიდი რაოდენობით რადიოაქტიურ ელემენტებს შეიცავს გრანიტი და, ბუნებრივია, რომ მისგან ნაგები შენობების ჰაერში ემანაციების კონცენტრაცია ყველაზე მაღალი იქნება. მომდევნო ადგილი უკავია ბეტონისა და აგურის შენობებს. სულ ბოლო ადგილზეა ხის შენობები.

აღსანიშნავია, რომ რადონი და თორონი, გარდა ორგანიზმის გარეგანი დასხივებისა, მონაწილეობს შინაგანი დასხივების პროცესშიც. ეს აირები ინერტულია.

რადონისა და თორონის დაშლის შედეგად წარმოქმნილი მყარი ელემენტები ძირითადად ალფა-და ბეტა-გამომსხივლებლებია და არსებობის მცირე ხანგრძლივობა ახასიათებს.

როგორც აღვნიშნეთ, ატმოსფეროს გამოსხივებაში მონაწილეობს რადიოაქტიური ნახშირბადიც  $^{14}\text{C}$ . იგი წარმოიქმნება კოსმოსური ნეიტრონული გამოსხივების ატმოსფერულ აზოტზე მოქმედების შედეგად. რეაქცია შემდეგნაირად მიმდინარეობს:



ვინაიდან ჰაერში არის  $^{14}\text{C}$ , ამიტომ გარკვეული რაოდენობით შეიცავს ატმოსფერული ნახშირორჟანგი. რადიოაქტიური ნახშირბადის  $^{14}\text{C}$  რაოდენობა ატმოსფერულ ჰაერსა და, აგრეთვე, ორგანულ ნაერთებში მუდმივია, ვინაიდან კოსმოსური გამოსხივების ინტენსივობა ბუნებაში მუდმივია და ერთგვარი წონასწორობა ჰაერში  $^{14}\text{C}$  კონცენტრაციასა და ნახშირბადოვანი ნაერთების შემცველ ნივთიერებებს შორის, რომლებიც მიმდინარეობს ნივთიერებათა, კერძოდ, ნახშირბადის ცვლა.

სამრეწველო ქალაქების ჰაერში  $^{14}\text{C}$ -ის შეფარდებითი რაოდენობა უფრო ნაკლებია, ვიდრე სოფლად, ვინაიდან ქალაქებში გამოყენებულია წიაღისეული საწვავი, რომელშიც რადიოაქტიური ნახშირბადის -  $^{14}\text{C}$  რაოდენობა მისი ბუნებრივი დაშლის გამო შემცირებულია.

ჰაერში მოიპოვება სხვა სახის რადიოაქტიური ელემენტებიც: კალიუმი, ურანი, და სხვ., რომლებიც მასში ნიადაგიდან ხვდებიან ქარის მოქმედებით, აგრეთვე, სხვადასხვა სახის საწვავი მასალის დაწვით წარმოქმნილი ბოლის ატმოსფეროში გაშვების შედეგად. მათი რაოდენობა ატმოსფერულ ჰაერში იმდენად მცირეა, რომ არსებითი ჰიგიენური მნიშვნელობა არ აქვს.

რადიოაქტიური ელემენტების რაოდენობა ჰაერში იცვლება ადგილისა და დროის მიხედვით.

ცხრილი 8

**რადიაციის ბუნებრივი წყაროებისაგან წარმოქმნილი საშუალო წლიური დოზები (გარეგანი დასახივება)**

წყარო	დოზა, გონადებზე, მრბე	მთელისხეულის მიერ შთანთქმული ინტეგრალური დოზა/რად
კოსმოსური გამოსხივება	25-40	1700-2800
ნიადაგსა და საშენ მასალაში არსებული რადიოაქტიური ნივთიერებები	40-60	2800-4200
ატმოსფეროს რადიოაქტიური ნივთიერებები	1	70
$^{40}\text{K}$	20	1300
$^{14}\text{C}$	1-2	70-140
$^{222}\text{Rn}$ და $^{220}\text{Tn}$	2	50
$^{226}\text{Ra}$	-	10-50
ჯამური დოზა	100	7000

ამგვარად, რადიოაქტიური ფონის გარეგანი დასახივების კომპონენტები ქმნის დასახივების გარკვეულ დოზას. 25-ე ცხრილში მოცემულია ამ კომპონენტების მოქმედების შედეგად გონადების მიერ შთანთქმული დოზა, აგრეთვე მთლიანი ორგანიზმის მიერ შთანთქმული ინტეგრალური დოზები. ეს ცხრილი ნათლად მეტყველებს, რომ ორგანიზმის დასახივება ძირითადად ხდება ნიადაგის და საშენი მასალების რადიოაქტიური ელემენტების, აგრეთვე, კოსმოსური გამოსხივებით.

**ზოგიერთ საკვებ პროდუქტში საერთო კალიუმისა და რადიოაქტიური 40 K-ის შემცველობა**

პროდუქტისდასახელებ	კალიუმისსაერთო თორაოდ. (მგ % )	<sup>40</sup> K რაოდ. X 10 <sup>-9</sup> კ/კგ	პროდუქტისდასახელებ	კალიუმისსაერთო თორაოდ. (მგ % )	<sup>40</sup> K რაოდ. X 10 <sup>-9</sup> კ/კგ
ფქვილი			ბოსტნეული		
			კარტოფილი	449	3.4
ხორბლისცეხვილი	243	1.98	კომბოსტო	210	1.7
ხორბლის 1 ხარისხ.	139	1.13	ჭარხალი	353	2.9
ხორბლის 2 ხარისხ.	191	1.56	სტაფილო	287	2.3
ჭვავის	340	2.78	ხახვი	151	1.2
			კიტრი, პომიდორი	337	2.7
			ტომატი	310	2.5
პურიდაპურისნაწარმი			მუხუდო	1229	10
			ლობიო	1144	9.4
			სოიისფქვილი	2250	18
ხორბლისპური			კარტოფილისფქვილი	129	1
ფორმის, ცეხვილიფქვილიდან	153	1.125			
ფორმის, 1 ხარისხ. ფქვილიდან	96	0.78	ხილი		
ფორმის 2	129	1.06			
ჭვავისპური			ჩირი	300	2.4
ფორმის, ცეხვილიფქვილიდან	235	1.92	ვაშლი	127	1
ძირის, ცეხვილიფქვილიდან	242	1.98	მსხალი	132	1.1
უბრალობატონი 1 ხარ. ფქვილიდან	100	0.82	გარგარი	248	2
ფქვილისსაკონდიტრონაწარმი			ლიმონი	175	1.4
ნამცხვარი "პოხოდ"	63	0.52	შტოში	149	1.2
ნამცხვარი "სპორტი"	116	0.95	ხილისწვენი	106	0.8
ნამცხვარი "ნაღების"	83	0.68			
			კონსერვები		

ბურღულისადამაკარონ ისნაწარმი			ხორცის		
			ცხვრისჩათუთქუ ლი	312	2.55
მაკარონი	130	1.1	ღორის	253	2.07
ბურღულიწიწიბურას	130	1.1	საქონლის	230	1.78
ბურღულიქერის	344	2.8	საქონლისმოხარშ ული	316	2.58
ბურღულიშვრის	241	1.9	შემწვარიხორცი	161	1.32
ბრინჯი	70	0.6	შესქელებულირძე შაქრით	314	2.57
			ღურკანასაკუთარ წვენში	260	2.12
ხორცისადათევზისნაწა რმი:			კეტა	334	2.72
			თართი	262	2.16
ხორცი	274	2.2			
საქონლის	338	2.3	ბოსტნეული		
ღორის	109	0.9			
ღორისქონი	169	1.4	მწვანემუხუდო	135	1.1
თევზი	262	2.1	წიწაკაფარშირებუ ლი	137	1.41
ხიზილალა	422	3.4	პომიდორი	260	2.12
			პომიდვრისწვენი	286	2.34
რძედარძისპროდუქტებ ი					
			ხილ- კენკროვანი		
ძროხისრძე	127	1.04			
კარაქი	14	0.1	ყურძნისწვენი	312	2.55
ხაჭო	372	3	შავიმოცხარისწვე ნი	133	1.08
არაჟანი	126	1.1	მსხლისკომპოტი	86	0.7
ყველი	89	0.7	გარგარისკომპოტ ი	183	1.5

მცენარეთა და ცხოველთა რადიოაქტივობა. ერთი მხრივ, გარემო სამყაროს, მეორე მხრივ, კი მცენარეთა და ცხოველთა შორის გამუდმებით ხდება ნივთიერებათა ცვლა , რაც იწვევს მცენარეებსა და

ცხოველებში რადიოაქტიური ელემენტების დაგროვებას. ცხოველთა და მცენარეთა რადიოაქტივობას ძირითადად განსაზღვრავს კალიუმი-40, რადიუმი-226, ნახშირბადი-14, წყალბადი-3, ურანი 238.

რადიოაქტიურ ელემენტთა რაოდენობა სხვადასხვა მცენარეში სხვადასხვაგვარია. შედარებით დიდია მათი შემცველობა პარკოსნებში, ხოლო მარცვლოვნებში რადიოაქტივობა ნაკლებია. მცენარეებსა და ცხოველებში რადიოაქტიური კალიუმის საშუალო შემცველობა  $2,4 \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ია.

ასევე ცვალობადობს რადიუმის ( $^{226}\text{Ra}$ ) შემცველობა. საშუალოდ მიღებულია, რომ მცენარეების ქსოვილები მას შეიცავს  $10^{-120}\%$ , ხოლო ცხოველთა ქსოვილები--  $10^{-130}\%$  რაოდენობით. მცენარეების მიერ რადიუმის კუმულაციაზე გავლენას ახდენს ნიადაგი, რომელზეც მოჰყავთ ესა თუ ის კულტურა. ერთი და იგივე მცენარე შესაძლებელია შეიცავდეს რადიუმს სხვადასხვა რაოდენობით იმისდა მიხედვით, თუ რადიუმის როგორი შემცველობის ნიადაგზეა მოყვანილი.

ცხრილი10

**ზოგიერთ საკვებ პროდუქტში  $^{226}\text{Ra}$  შემცველობა**

პროდუქტისდასახე ლება	რადიუმის $^{226}\text{Ra}$ შემცველობა ( $10^{-12}$ კ/კგ)
ხორბალი	2.0-2.6
კარტოფილი	6.7-12.5
კომბოსტო	2.4
ძროხისრძე	3.75
საქონლისხორცი	0.8
ღორისხორცი	0.8
თევზი	4

$^{40}\text{K}$ -სა და  $^{226}\text{Ra}$ -ს ცხოველთა ქსოვილებში სხვადასხვაგვარი განაწილება ახასიათებთ; რადიუმი გროვდება ძირითადად ძვლებში, კალიუმი კი განაწილებულია რბილ ქსოვილებში. რბილი ქსოვილებიდან ყველაზე მეტად დეკონირდება კუნთებსა და ერიტროციტებში. შედარებით ნაკლებია მისი რაოდენობა ღვიძლში, ფილტვებში, ყველაზე ნაკლებია ძვლებში.

26-ე და 27-ე ცხრილებში მოცემულია ზოგიერთ საკვებ პროდუქტში  $^{40}\text{K}$ -ისა და  $^{226}\text{Ra}$ -ის შემცველობა.

შინაგანი დასხივების წყაროა ის რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებიც ადამიანის ორგანიზმის შემადგენელია. ასეთ რადიოაქტიურ ელემენტებს ეკუთვნის :1. ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებსაც შეიცავს  $^{238}\text{U}$  და  $^{232}\text{Th}$  ოჯახები.; 2. ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები, რომლებსაც რადიოაქტიური ოჯახები არ შეიცავს. ასეთებია  $^{40}\text{K}$  და  $^{87}\text{Rb}$ .; 3. ბუნების მიერ "ხელოვნურად" შექმნილი რადიოაქტიური ელემენტები  $^{14}\text{C}$  და  $^3\text{H}$ .

28-ე ცხრილში მოცემულია ადამიანის ორგანიზმში არსებული ძირითადი ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები და მათი ჯამური აქტივობა.

ორგანიზმის შინაგანი დასხივების ძირითადი წყაროა რადიოაქტიური კალიუმი  $^{40}\text{K}$ . კალიუმი, როგორც ეს ზემოთმოყვანილ თავში ჩანს, ფართოდაა გავრცელებული ბუნებაში. მას საკმაო რაოდენობით შეიცავს აგრეთვე მცენარეული და ცხოველური პროდუქტები. ყველა ამ წყაროდან კალიუმი ხვდება ადამიანის ორგანიზმში.

ცხრილი 11

**ადამიანის ორგანიზმში შემავალი ბუნებრივი რადიოაქტიური ელემენტები**

იზოტოპის დასახელება	აქტივობა (კიური)
$^{40}\text{K}$	$6 \cdot 10^{-7}$
$^{14}\text{C}$	$8,9 \cdot 10^{-8}$
$^{87}\text{Rb}$	$4,6 \cdot 10^{-10}$
$^3\text{H}$	$7,6 \cdot 10^{-11}$
$^{235}\text{U}$	$1,1 \cdot 10^{-11}$
$^{232}\text{U}$	$7,9 \cdot 10^{-12}$
$^{238}\text{U}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$

ცნობილია, რომ ბუნებრივი კალიუმი შეიცავს 0,0119%  $^{40}\text{K}$ -ს, ანუ კალიუმის თითოეული გრამი შეიცავს  $^{40}\text{K}$ -ის 8,7.10 კიურის. ადამიანი საკვებთან ერთად ყოველდღიურად ღებულობს ბუნებრივი კალიუმის დაახლოებით 2-3 გ-ს, რაც შეესაბამება აქტიური კალიუმის 1,6.10-2,4.10 კიურის.

ცხრილი 12

**რადიოაქტიური კალიუმის  $^{40}\text{K}$  -ის შემცველობა ადამიანის სხვადასხვა ორგანოსა და ქსოვილში**

ორგანო	<sup>40</sup> K- ისხვედრითიაქტივობა (X10 <sup>-9</sup> კ/კგ)
კუნთები	2,9
თავისტვინი	2,4
ღვიძლი	1,7
ფილტვები	1,2
ცხიმოვანიქსოვი ლი	0,5
ძვლოვანიქსოვი ლი	0,5

ცხრილი 13

**<sup>226</sup>Ra -ის შემცველობა ადამიანის ორგანიზმის ზოგიერთ ორგანოსა და ქსოვილში**

ორგანო, ქსოვილი	<sup>226</sup> Ra-ისხვედრითიაქტივობა (X10 <sup>-9</sup> კ/კგ)
ძვალი	5,4 - 9,7
ღვიძლი	2,0 - 3,4
ფილტვები	1,2 - 3,5
კუნთები	1,4 - 2,5
თირკმელები	0,9
საკვერცხეები	0,3 - 2,6

ორგანიზმში კალიუმის კონცენტრაცია 0,2% (0,11%-დან 0,3%-მდე), ე.ი. დაახლოებით 140 გ. მამასადამე, ორგანიზმში <sup>40</sup>K ტოფილა 0,0167 გ-ის რაოდენობით.

კალიუმის რაოდენობა იცვლება სქესის, ასაკის, ფიზიკური განვითარების, პათოლოგიური პროცესისა და სხვა ფაქტორების შესაბამისად. მაგალითად, კალიუმის რაოდენობა ქალებში, მამაკაცებთან შედარებით, მცირეა, ვინაიდან მათ შედარებით ნაკლებად აქვთ განვითარებული კუნთოვანი ქსოვილი, ხოლო ცხიმოვანი ქსოვილი, რომელიც ქალებს უფრო მეტი აქვთ, უმნიშვნელო რაოდენობით კალიუმს შეიცავს.



დადგენილია, რომ ფუნქციურად აქტიური ქსოვილისათვის კალიუმი, კერძოდ  $^{40}\text{K}$ , მეტად მნიშვნელოვანი ელემენტია.

რუბიდიუმს- $^{87}\text{Rb}$ , როგორც  $^{40}\text{K}$ -ს არ შეიცავს რადიოაქტიურ ოჯახთა ჯგუფი.. იგი ორგანიზმში ძლიერ უმნიშვნელო რაოდენობითაა, ამიტომ მის მიერ შექმნილ დოზასაც არსებით მნიშვნელობას არ ანიჭებენ.

ორგანიზმში არსებული რადიუმის 99% ლოკალიზდება ძვლებში, ამიტომ დოზას, რომელიც წარმოიქმნება რადიუმის გამოსხივების შედეგად, ძირითადად ძვლები შთანთქავს. ადამიანის ძვლებში რადიუმის კონცენტრაცია დამოკიდებულია იმ გეოგრაფიულ ზონაზე, რომელშიც ადამიანი ცხოვრობს. თუ ნიადაგში რადიუმის კონცენტრაცია მაღალია, შესაბამისად მაღალი იქნება იგი ცხოველურ, მცენარეულ პროდუქტებშიც, აგრეთვე სასმელ წყალში, შესაბამისად მაღალი იქნება მისი კონცენტრაცია ადამიანის ორგანიზმშიც.

ურანისა და თორიუმის ოჯახთა რიგის წარმომადგენლებია რადონი და თორონი, რომლებიც აგრეთვე მონაწილეობენ შინაგანი ფონის შექმნაში. რადონი და თორონი ორგანიზმში ხვდება არა მარტო ატმოსფერული ჰაერის შესუნთქვით, არამედ წარმოიქმნება ძვლებში დეკონირებული რადიუმისა და თორიუმის დაშლის შედეგადაც. რადონის და თორონის მოქმედების კრიტიკული ორგანოა ფილტვები.

ადამიანი ყოველდღიურად ღებულობს 400გ-მდე ნახშირბადს, რაც შეიცავს  $3 \cdot 10^{-9}$  კიური  $^{14}\text{C}$ -ს. ადამიანის ორგანიზმის წონის 18% ნახშირბადია,  $^{14}\text{C}$ -ს რაოდენობა კი აღწევს  $1,3 \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ს. რადიოაქტიური ნახშირბადის ნორმალური კონცენტრაცია ორგანიზმში იწვევს მის დასხივებას  $1,4$  მრადი/წელიწადში.

ამგვარად, ორგანიზმი შეიცავს გარკვეული რაოდენობით რადიოაქტიურ იზოტოპებს, რომლებიც იწვევენ მის დასხივებას ალფა-, ბეტა-,გამა-სხივებით. ალფა გამოსხივების  $^{40}\text{K}$  და  $^{14}\text{C}$ , ხოლო ორგანიზმის დასხივება გამა-სხივებით ძირითადად ხდება  $^{40}\text{K}$ -ს ხარჯზე. ადამიანის მთელი სხეულია რადიოაქტიური გამოსხივების გაზომვა შესაძლებელია სპეციალური ტყვიის კამერებით.

რადიოაქტივობის საშუალო სტანდარტული კონცენტრაცია ადამიანის ორგანიზმში უდრის  $n \cdot 10^{-9}$  კ/კგ-ს.  $n$  ცვალებადობს ერთეულის ნაწილებიდან რამდენიმე ათეულამდე.

ამგვარად, მაიონიზებული გამოსხივების გარეგანი და შინაგანი დასხივების ბუნებრივი წყაროების ხარჯზე ადამიანი განიცდის სისტემატურ ზეგავლენას. დოზა, რომელსაც ადამიანი ღებულობს ბუნებრივი წყაროებიდან, მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, კერძოდ, რა სიმაღლეზეა იგი ზღვის დონიდან, როგორი შედგენილობისაა ნიადაგი სადაც იგი ცხოვრობს, რა რაოდენობით ხვდება რადიოაქტიური ელემენტები მის ორგანიზმში ჰაერიდან, წყლიდან და საკვებიდან.

ადამიანზე მოქმედი ბუნებრივი გამოსხივების დოზის 70-80% მოდის გარეგანი დასხივების ხარჯზე, დანარჩენი კი - შინაგან დასხივებაზე.

31-ე ცხრილში მოცემულია ბუნებრივი გამომსხივებელი წყაროებისაგან კრიტიკული ორგანოების მიერ შთანთქმული დოზების სიდიდეები.

**ბუნებრივი წყაროებით ადამიანის დასახევის დონე**

გამოსხივებისწყარო	დოზაწელიწადში (მრადი) შესაბამისორგანოზე		
	გონადები	ძვლისზედაპირულიუჯრე	ძვლისტვინ
	ი	დები	ი
გარეგანიდასხივება			
კოსმოსურისხივები:			
მაიონიზებელინაწილაკები	28	28	28
ნეიტრონები	0,7	0,7	0,7
ნიადაგისგამოსხივება (ჰაერისჩათვლით)	50	50	50
შინაგანიდასხივება			
<sup>40</sup> K	20	15	15
<sup>87</sup> Rb	0,3	0,3	0,3
<sup>14</sup> C	0,7	1,6	1,6
<sup>226</sup> Ra	-	0,6	0,03
<sup>228</sup> Ra	-	0,7	0,03
<sup>210</sup> Po	0,3	2,1	0,3
<sup>222</sup> Rn(ქსოვილებშიგახსნილი)	0,3	0,3	0,3
სულ	~ 100	~ 99	~ 96
α- ნაწილაკებისადანეიტრონებისდოზა, % საერთოდოზიდან	1,3	4,4	1,4

**3. ბუნებრივი რადიაციული ფონის მნიშვნელობა**

ადამიანის ცხოველმყოფელობისათვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია მაიონიზებული გამოსხივების ბუნებრივი ფონი. ჯერ კიდევ არ არის სრულად შესწავლილი ამ ფონის გავლენა ცოცხალ სამყაროზე, მისი ბიოლოგიური მოქმედება და მნიშვნელობა, მაგრამ ერთი უდავოა, ბუნებრივი რადიაცია ერთ-ერთი აუცილებელი კომპონენტია ორგანული სამყაროს კანონზომიერი განვითარებისათვის.

მაიონიზებული გამოსხივება, როგორც ადამიანსა და, საერთოდ, ცოცხალ სამყაროზე მოქმედი ფაქტორი ახალი არ არის. იგი სიცოცხლის დასაბამიდანვე და უფრო ადრეც არსებობდა დედამიწაზე და ევოლუცია მისი მოქმედების ფონზე მიმდინარეობდა.

ბუნებრივი რადიაციული ფონის ზოგადბიოლოგიური, ზოგადფიზიოლოგიური მნიშვნელობა ჯერ კიდევ ყველაზე ნაკლებად შესწავლილია. ადრე მეცნიერება ამ საკითხით დაინტერესებული არ იყო, ვინაიდან იმ გეოგრაფიულ რეგიონებში, სადაც აღინიშნებოდა გადიდებული რადიაციული მოქმედება, რაიმე ჰიგიენური დისკომფორტი შემჩნეული არ ყოფილა.

მეცნიერებისათვის დღეისათვის ნათელია, რომ ბუნებრივი მაიონიზებული რადიაცია ერთ-ერთი აუცილებელი კომპონენტია ორგანული სამყაროს კანონზომიერი განვითარებისათვის.

ბუნებრივი რადიაქტიური ელემენტები შთაინთქმება ორგანიზმში და გარდა ქიმიური მოქმედებისა, ფიზიოლოგიურადაც მოქმედებს. ისინი გროვდება უჯრედებში,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  სხივების სახით იწვევენ მასში შემავალი ატომებისა და მოლეკულების იონიზაციას, რაც, თავის მხრივ, იწვევს აქტიური რადიკალების წარმოქმნას, ცოცხალი ნივთიერების გააქტივებას, რასაც ძირითადი მნიშვნელობა ენიჭება უჯრედის ცხოველმყოფელობისა, განსაკუთრებით კი ნივთიერებათა ცვლისათვის.

დადგენილია, რომ გამოსხივების ბუნებრივი წყაროები გარკვეულ როლს ასრულებს ატმოსფერული ჰაერის იონიზაციის პროცესში, ხოლო ამ უკანასკნელს სერიოზული ჰიგიენური მნიშვნელობა აქვს ადამიანის ნორმალური ცხოველმყოფელობისათვის. აქვე შეიძლება აღვნიშნოთ ბუნებრივი რადიაქტიური წყლის მნიშვნელობა ამა იმ სომატური დაავადების მკურნალობაში.

ადამიანის რეპროდუქციული პერიოდის ხანგრძლივობა 30 წელია, ე.ი. 1000-ჯერ უფრო ხანგრძლივი, ვიდრე დროზოფილს. სპონტანური მუტაციების სიხშირე ადამიანში 5-ჯერ უფრო მეტია, ხოლო რადიომგრძობელობა -10-15-ჯერ უფრო მაღალი.

## 4. რადიაციის სახეები

1.  $\alpha$  - გამოსხივება წარმოადგენს ჰელიუმის ბირთვებს, რომლებიც გამოსხივდებიან ტყვიაზე მძიმე ელემენტების რადიოაქტიური დაშლის ან ბირთვული რეაქციები სშედეგად.

2.  $\beta$  - გამოსხივებაესარისელექტრონებიდაპოზიტრონები, რომლებიცწარმოიქმნებიანცალკეულიელემენტების (დაწყებულიყველაზემსუბუქიდან–ნეიტრონი, დამთავრებულიყველაზემძიმეელემენტით)  $\beta$ -დაშლისდროს.

3. კოსმოსურიგამოსხივება , რომელიცმოდისკოსმოსიდანდამისშემადგენლობაშიამირითადადპროტონებიდაჰელიუმისბირთვები. უფრომძიმეელემენტებიშეადგენენ 1%-ზენაკლებს. ატმოსფეროსსიღრმეშიკოსმოსურისხივებიურთიერთქმედებენატმოსფეროსშემადგენლობაშიშემაჯალბირთვებთანდაწარმოქმნიანმეორადინაწილაკებისნაკადებს (მეზონები, $\gamma$ -კვანტები, ნეიტრონებიდასხვა).

4. ნეიტრონებიწარმოიქმნებაბირთვულრეაქციებში (ბირთვულრეაქტორებშიდასხვასაწარმოოდასამეცნიეროდანადგარებში, ასევებირთვულიაფეთქებებისდროს).

5. დაშლისპროდუქტები, რომლებსაცშეიცავსბირთვულირეაქტორებისგადამუშავებულისაწვავისნარჩენები.

6. პროტონები, იონები–ძირითადადმძიმეაამაჩქარებლებში.

E ელექტრომაგნიტურიგამოსხივებაწარმოიქმნებასხვადასხვაწყაროებიდან: ატომბირთვების $\gamma$ -გამოსხივება, აჩქარებულიელექტრონებისდამუხრუჭებისგამოსხივება, რადიოტალღებიდასხვა.

## M

მაიონებელიგამოსხივებისრაოდენობრივიშეფასებისათვისგამოიყენებაშემდეგიძირითადიცნებებიდაერთეულები:

რადიონუკლიდისაქტიურობა.

აქტიურობაესარისწყაროშიდროისმცირეინტერვალშიმოცემულიენერგეტიკულიმდგომარეობიდანსპონტანურიბირთვულიგარდაქმნებისმოსალოდნელირიცხვის - შეფარდება, ამდროისინტერვალთან - :

$$A = \frac{dN}{dt}$$

აქტიურობისერთეულადში –სისტემაშიმიღებულიაბეკერელი(bk)

ერთიბეკერელი - ესარისერთიდაშლაერთწამში, 1 bk = 1 დაშლა/წმ

აქტიურობისსისტემისგარეშეერთეულადგამოიყენებაკიური(ki).

ერთიკიური - ესარისერთიგრამი  $^{226}\text{Ra}$ - ისაქტიურობა 1ki =  $3,7 \cdot 10^{10}$  bk

ექსპოზიციურიდოზა.

რენტგენისადაგამაგამოსხივებისრაოდენობრივიზომადმიღებულიაექსპოზიციურიდოზა,

რომელიც განისაზღვრება გამოსხივების შემოქმედების შედეგად მცირე მოცულობის მქონე ჰაერის  $dm$  - მასაში წარმოქმნილი მეორადი ნაწილაკების  $dQ$  - მუხტით:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

ექსპოზიციური დოზა იზომება სისტემის გარეშე ერთეულით - რენტგენი ( $r$ ).

ერთი რენტგენი - ეს არის რენტგენის ან  $\gamma$  კვანტებით დასხივების ისეთი დოზა, რომლის დროსაც 1 სმ<sup>3</sup> მშრალ ატმოსფერულ ჰაერში 0 °C - ის და 760 მმ. ვწყ. სვ. წნევის დროს წარმოიქმნება 1 CGSE ჯამური მუხტის მქონე ერთი იონის მატარებელი იონები. 1r ექსპოზიციური დოზას შეესაბამება  $2,08 \cdot 10^9$  წყვილი იონი. თუ ჩავთვლით, რომ ჰაერში ერთი წყვილი იონის წარმოქმნისათვის საჭირო ენერგია  $\approx 33,85$  ევს, მაშინ 1r ექსპოზიციური დოზის დროს 1 სმ<sup>3</sup> ჰაერს გადაეცემა ენერგია:  $2,08 \cdot 10^9 \times 33,85 \times \frac{1}{4,8 \times 10^{-10}} =$

$$0,133 \text{ ergi, ხოლო } 1 \text{ ჰაერს გადაეცემა: } \frac{0,133}{\rho_H} = \frac{0,113}{0,00129} = 87,3 \text{ ergi, სადაც } \rho_H \text{ - ჰაერის სიმკვრივეა.}$$

M მაიონებელი გამოსხივების ენერგის შთანთქმას წარმოადგენს პირველად პროცესს, რომელიც საწყისია ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნებისა და დასხივებულ ქსოვილში დარომელსაც მივყავართ და კვირვებად რადიაციული ეფექტამდე. ამიტომ, ბუნებრივია, აღნიშნული რადიაციული ეფექტი შევადაროთ შთანთქმულ ენერგიას ან შთანთქმულ დოზას.

შთანთქმული დოზა -

ეს არის ძირითადი დოზის მეტრიული ერთეული და იგი ტოლია მაიონებელი გამოსხივების მიერ ელემენტარულ მოცულობაში არსებულ ნივთიერების ადმიგადაცემული  $dE$  - საშუალო ენერგის ფარდობის ან ნივთიერების  $dm$  - მასასთან:

$$D = \frac{dE}{dm}$$

შთანთქმული დოზის ერთეულად SI- სისტემაში მიღებულია გრეი ( $gr$ ),

$$1 \text{ gr} = 1 \text{ j/kg}$$

შთანთქმული დოზის სისტემის გარეშე ერთეულად გამოიყენება რადი ( $rad$ )

$$1 \text{ radi} = 100 \text{ ergi/g, რადგან } 1 \text{ j} = 10^7 \text{ erg, ამიტომ } 1 \text{ gr} = 100 \text{ rad}$$

ბიოლოგიური ორგანიზმზე გამოსხივების შემოქმედების დახასიათებისას მნიშვნელოვანია არამარტომისთვის გადაცემული ენერგის რაოდენობა, არამედ ამ ენერგის გადაცემის გზა, გამოსხივების გვარობა, ენერგის დიაპაზონი. სხვადასხვა სახის გამოსხივებასა და ხასიათებს სხვადასხვა ბიოლოგიური ეფექტურობა, რაც დაკავშირებულია მათ შელწევს უნარიანობასთან და დამოკიდებულია ცოცხალ ორგანიზმსა და ობიექტზე ენერგის გადაცემის ხასიათსა და პირობებზე. მზგალითად,  $\alpha$ -

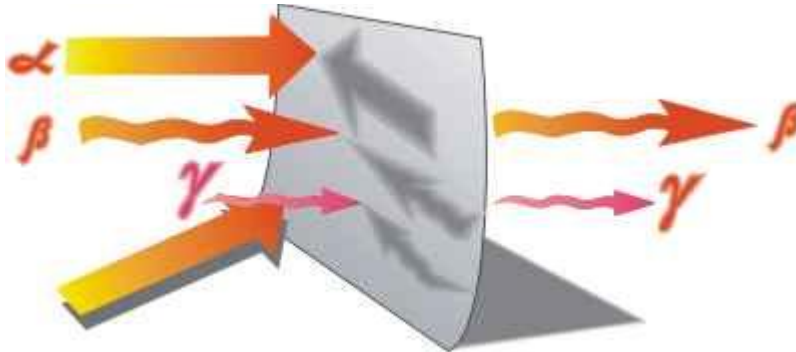
გამოსხივებასაქვსმცირეგანარბენიდახასიათდებამცირეშელწევისუნარიანობით.

ჩვეურობისსაშუალოგანარბენი , 4მევენერგისდროს, შეადგენს $2,5$  სმ–ს,

ხოლობიოლოგიურქსოვილებშიმხოლოდ  $31$  მკმ–ს.  $\alpha$ -

გამოსხივებავერაღწევსადამიანისკანში(Mმისი“შეჩერება”შეუძლიაქალაქისფურცელსაცკი). თუმცა,  $\alpha$ -

გამოსხივებადინუკლიდებიძალიანსაშიშიაორგანიზმისშიგნითმოხვედრისშემთხვევაში.

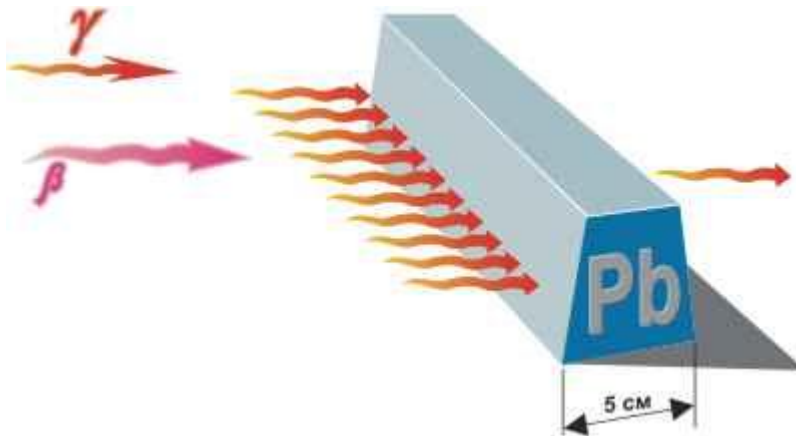


$\beta$ -გამოსხივებასაქვსმეტიშელწევისუნარი. ჩვეურობითივე

4მევენერგისელექტრონებისსაშუალოგანარბენიარის  $17.8$  მ, ბიოლოგიურქსოვილებშიკიმხოლოდ  $2,6$  სმ.

$\gamma$ -გამოსხივებასვერაღმეტიშელწევისუნარიანობააქვს. მმაგალითად, კობალტის $\gamma$ -გამოსხივების ( $E=1,17$ მევა და  $E=1,33$ მევა)  $10$  \_ჯერშესამცირებლადსაჭიროა  $5$ სმსისქისტყვიის ფენა.

მისიზემოქმედებითმიმდინარეობსმთელიორგანიზმისდასხივება.



ამდენად,

ბიოლოგიურორგანიზმზესხვადასხვასახისგამოსხივებისზემოქმედებისშესაფასებლადშემოაქვთწილით იანუხარისხისკოეფიციენტები.

ხარისხისკოეფიციენტებისმნიშვნელობებისგამოყენებითშეიძლებადავწეროთმიღებულიდოზის იდიდებიოლოგიურორგანიზმზესხვადასხვასახისგამოსხივებისზემოქმედებისთავისებურებათაგათვალ ისწინებით. ამდოზასწოდებაექვივალენტური.

ექვევალენტური დოზატორია ორგანოს ანქსოვილის მიერ შთანთქმული დოზის ნამრავლის ამოცემ ულისახის გამოსხივების შესაბამის ხარისხის კოეფიციენტზე:

$$H_{TR} = W_R \cdot D_{TR}$$

სადაც  $D_{TR}$  – საშუალო შთანთქმული დოზა  $T$  ორგანოში ანქსოვილში,  $W_R$  ხარისხის კოეფიციენტია  $R$  გამოსხივებისათვის. (ცხრ. #1).

**ცხრილი # 1. ხარისხის კოეფიციენტი  $W_R$  გამოსხივების სხვადასხვა სახეებისათვის**

სამოსხივების სახე	$W_R$
ნებისმიერი ენერგიის ფოტონები	1
ნებისმიერი ენერგიის ელექტრონები და მიუნონები	1
ნეიტრონები ენერგიებით ნაკლებით 10 კევ.-ზე	5
10 კევ. –დან 100 კევ. _მდე	10
100 კევ. _დან 2 მევ. _მდე	20
2 მევ. _დან 20 მევ. _მდე	10
20 მევ. _ზე მეტი	5
პროტონები ენერგიებით მეტით 2 მევ. _ზე	5
$\alpha$ _ ნაწილაკებით, დაყოფის ნამსხვრევები, მძიმე ბირთვები	20

თუ გამოსხივების ველი შედგება რამდენიმე სახის  $R_i$  გამოსხივებისაგან, მაშინ:  $H_T = \sum_i H_{TR_i}$

,სადაც  $i$  სიმბოლოთია აღნიშნული აცალკეულისახის გამოსხივება.

SI - სისტემაში ექვივალენტური დოზის ერთეულად მიღებულია ზივერტი (რ. ზივერტი \_ შვედი ფიზიკოსი, 1896 \_ 1966).

$$1 \text{ zv} = 1 \text{ j} / \text{kg} = 10^4 \text{ erg} / \text{g} .$$

ექვივალენტური დოზის სისტემის გარეშე ერთეულია ბერი (  $1 \text{ zv} = 100 \text{ ber}$  ).

რადგან აცვანს ხვავებულორგანოებს ადაქსოვილებს გამოსხივების ადმისხვადასხვამგრძნობიარობა ახასიათებთ, დიდი მნიშვნელობა ენიჭება იმას, თუკერძოდ რომელიორგანომოხვდამაიონებელი ზემოქმედების ქვეშ. რადიაციის მიმართ განსაკუთრებით მგრძნობიარე ასის ხლმზადიორგანოები, გონადები, ფილტვები, ფარისებრი ჯირკვალი, კუჭი.

სიდიდეს,

რომელიც ახასიათებს ადამიანზე გამოსხივების ზემოქმედების ზომას E მისიორგანოების რადიომგრძნობელ ობის გათვალისწინებით ეწოდება ექვივალენტური დოზა.

იგიწარმოადგენს ორგანოებს ადაქსოვილებში ექვივალენტური დოზების შესაბამის ხარისხის კოეფიციენტებზე ნაშრომების ჯამს:  $E = \sum_T W_T \cdot H_T \text{ BA}$ ;

სადაც  $H_T$  \_ ექვივალენტური დოზაა T ორგანოს ან ქსოვილში,  $W_T$

კიამორგანოს ან ქსოვილისათვის ხარისხის კოეფიციენტი (ცხრ. #2). ექვივალენტური დოზის ერთეულია \_ ზივერტი (ზვ).

**ცხრილი # 2. ხარისხის კოეფიციენტები  $W_T$  ქსოვილებისა და ორგანოებისათვის**

Q ქსოვილი ან ორგანო	$W_T$
ძვლისწითელი ტვინი	0,12
ფილტვები	0,12
კუჭი	0,12



ფარისებრიჯირკვალი	0,05
კანი	0,01

დოზიმეტრიაშიერთ-ერთარსებითსიდიდესწარმოადგენსდოზისსიმძლავრე. დოზისსიმძლავრეარისდოზა, მიღებულიდროისგარკვეულშუალედში (საათში, დღე-ღამეში, წელიწადში).

## 5. რადიაციის ბიოლოგიური ეფექტი

ყველატიპისსხივებიცოცხალიორგანიზმისუჯრედებზემოქმედებენდაგენეტიკურაპარატშიცვლილებებს იწვევენ. ფაქტორებს, რომლებსაცგენეტიკურიმასალისსეთირაოდენობრივიდახარისხობრივიცვლილებებისგამოწვევამუქლ ია, რომელიცუჯრედიდანუჯრედზედაორგანიზმიდანორგანიზმზეგადადის, მუტაგენებსუწოდებენ. 1946 წელსცნობილამერიკელგენეტიკოსსჰერმანმელერსნაშრომისათვის „მუტაციისწარმოქმნარენტგენისსხივებისზეგავლენით“ ფიზიოლოგიისადამედიცინისდარგშინობელისპრემიამიენიჭა.

მაიონებელირადიაციისბიოლოგიურმოქმედებასაფუძვლადელექტრონებისადამიკროსამყაროსს ხვანაწილაკებისცოცხალინივთიერებისატომებსადამოლეკულებთანურთიერთქმედებაუდევს. ბიოლოგიურიეფექტიიონიზაციისსიმკვრივეზეადამოკიდებული. მისმატებასთანერთად, ეფექტიციზრდება. გარდაამისა, ერთიდაიმავეორგანიზმისსხვადასხვაორგანოებიდასხვადასხვაუჯრედებიგანსხვავებულირადიომგრძნობლობითხასიათდება. ყველაზეადვილადსწრაფადგაყოფადიდანაკლებადსპეციალიზირებულიუჯრედებიდაქსოვილებიზიანდება. დასხივებისმიმართგანსაკუთრებითმგრძნობიარეძვლისტვინიდაფარისებრიჯირკვალია, ყველაზენაკლებადმგრძნობიარეკინერვულიქსოვილი.

საბოლოოეფექტისათვისდიდიმნიშვნელობააქვსმიღებულდოზას, თუმცაისგადამწვეტიმაინცარაა. 1936 წელსგამოქვეყნებულმონოგრაფიაში „რადიაციისზემოქმედებაცოცხალუჯრედებზე“, ინგლისელმაფიზიკოსმად. ლიმაჩვენა, რომბიოლოგიურიეფექტიდოზისგარდადამოკიდებულიაგამოსხივებისტიპსადაზემოქმედებისხანგრძლივობაზე. ამასმოგვიანებითე. წ. „სამიზნისთეორიაც“ დაემატა. მეცნიერებსდიდიხნისმანძილზეაინტერესებდათსაკითხი, თუროგორშეეძლოასეთმცირენერგიასამხელაეფექტისგამოწვევა. მაიონებელიგამოსხივებასაკუთარენერგიასგასცემს. მაგრამრაენერგიას?

რადიაციის თვითმომაკვდინებელი დოზის ენერგია ციკლიქაწყლის გასაცხელებლად არიკმარება. მეორეს მხრივ, ჭიქაწყალს ვერცასანთის ღერით გააცხელებ, მაგრამ მან შეიძლება თითის ედაგწვით, რომ ეს ორგანიზმისთვის სერიოზულ ტრავმად იქცეს. „სამიზნის თეორია“ სწორედ ამ შემთხვევაში მომარაგებს. მისთანხმად, ბიოლოგიური ეფექტი მგრძობიარეობი ექტების დაზიანებაზე ადამოკიდებულია. ბიოლოგიურ სტრუქტურაზე მაიონებელი რადიაციის ეფექტის შესწავლარამდენიმე თვალსაზრისით აამნი ვნელოვანი:

- წარმოდგენას იძლევა უჯრედის სიკვდილის ფუნდამენტურ ბიოლოგიურ მექანიზმებზე;
- უბედური შემთხვევების ასაშუალებას იძლევა განისაზღვროს მიღებული დოზა და დასახივების ხარისხი;
- სიმსივნეების დასახივების ასაშუალებას იძლევა, განისაზღვროს ეფექტი ჯანმრთელ ქსოვილებზე, განხორციელდეს სიმსივნეზე კონტროლი, მოხდეს მალიგნიზირებული უჯრედების პროლიფერაციული აქტივობის ინჰიბირება;

• შემუშავდეს რადიოდაცვის მექანიზმები.

ცოცხალ უჯრედზე მაიონებელი რადიაციის ზემოქმედების მექანიზმში გასარკვევად წარმოდგენა უნდა გვქონდეს უჯრედის შენებაზე, მის მოლეკულურ შემადგენლობაზე, სხვადასხვა დოზების ასწარმოქმნილ დაზიანებებზე, დასახივების სხვადასხვა ტიპებზე და რადიაციის ზემოქმედების თავისებურებებზე (ერთჯერადი, ქრონიკული, წყვეტილი).

გენეტიკური ინფორმაციის მატარებელი პრომოსომები, რომლებიც უჯრედის ბირთვში ამოთავსებულია, პრომოსომების მთავარი სტრუქტურული კომპონენტია დნმ – მოლეკულარო მელიცერთმანეთზე ორმაგის სპირალის სახით შემოხვეული ორი პოლინუკლეოტიდური ჯაჭვის განშედგება.

დნმ-

ის ორ სპირალიანობა დამისი ჯაჭვების კომპლემენტარულობა გენეტიკური მასალის რეპლიკაციის სტრუქტურული საფუძველია. რეპლიკაციის პროცესის სპირალიის ხსენება და თითოეულ ჯაჭვზე (როგორც მატრიცაზე) შვილელი ჯაჭვი ეწყობა. ყოველი პრომოსომა დნმ-

ის ერთუწყვეტორმაგაფსში იცავს. დნმ-

იპისტონებთან ადაკავშირებული და პრომოსომის ძირითად სუბსტრატს – ქრომატინს ქმნის.

სხვადასხვა ფაქტორით,

მათ შორის მაიონებელი რადიაციით გამოწვეული დაზიანებები შეიძლება პრომოსომის სხვადასხვა უბანს შეეხოს და დაზიანოს ქრომატინის სხვადასხვა ტიპი, რაც თავისთავად განსხვავებული ეფექტის იძლევა.

ეს ორი ფაქტორითაა განპირობებული:

- ენერგის უშუალოდ დნმ-პროტეინის კომპლექსზე განაწილებით (პირდაპირი ეფექტი) . მეზობელი წყლის მოლეკულების ლიზისით დასხვადასხვა მუხტიანი რადიკალების წარმოქმნით, რომლებიც დნმ-პროტეინის კომპლექსსა დაზიანებენ (არაპირდაპირი ეფექტი).

ორივე ფაქტორს შეუძლია დნმ-ის ერთი, ან ორივე სპირალის გაწყვეტა. სწორედ ამ ახედამოკიდებული დაზიანების ტიპი.

ერთიდაფისდონეზეგანხორციელებულიეფექტიპირველადდაზიანებადგანხილებადაისადვილადადგება – რეპარირდება. ასეთდროსქრომოსომასშიედლებანორმალურიშესახედაობაჰქონდეს. მაგრამთურეპარაციარმოხდა, ყალიბდებაქრომოსომულიგარდაქმნები – ქრომოსომულიაბერაციები. აბერაციისტიპიპირველადიდაზიანებებისრიცხვსადარეპარაციისკინეტიკაზეადამოკიდებული. დიდიმნიშვნელობააქვსდაზიანებისწარმოქმნისმომენტს, ანუუჯრედულიციკლისრომელსტადიაშიმოხდაზემოქმედება.

ციკლისსხვადასხვასტადიაშიქრომოსომასსხვადასხვააგებულებააქვს. ასემაგალითადინტერფაზისდასაწყისშიისერთიდაფით – ერთიქრომატიდიტააწარმოდგენილი. მოგვიანებით, S და G2 სტადიებში, როდესაცდნმუკვერეპლიცირებულია, ქრომოსომარიქრომატიდისგანშედგება. თუგაწყვეტაიმსტადიისასმოხდა, როდესაცქრომოსომაერთიდაფიანია, რეპლიკაციისშემდეგდაზიანებაორივექრომატიდშიგამოვლინდება. ესქრომოსომულიტიპისაბერაციაა. თუგაწყვეტაორიდაფიანსტადიაზემოხდა, მაშინ შეიძლებაძოლოდერთიქრომატიდიდაზიანდეს. ქრომოსომისგასაწყვეტადერთიონიზაციაარკმარა. დასხივებისასყველაზეშირიქრომოსომებისსეთიდაზიანებაა, როდესაცფრაგმენტებისმოწყვეტახდება. რამოდენიმედაზიანებისშედეგადქრომოსომულიგარდაქმნებიყალიბდება. რადიაციისთვისსპეციფიურიქრომოსომულიაბერაციებია: დიცენტრულიდარგოლისებრიქრომოსომები, რომელთააღრიცხვაზეცაადადამყარებულიორგანიზმისმიერშთანთქმულიდოზისგანსაზღვრისბიოლოგიურიმეთოდი. ცოცხალორგანიზმზეგანხორციელებულისაბოლოოეფექტისთვისმთავარისწორედშთანთქმულიდოზაა.

წარმოქმნილიქრომოსომულიაბერაციებირღვევსუჯრედისასიცოცხლოციკლს, ცვლისმიგენეტიკურბალანსსდამომდევნოგაყოფებისასისილუპება. მაღალიდოზებითდასხივებიდანრამდენიმესაათშიწყდებაუჯრედისფუნქციონირება, ხდებამისიმემბრანისადაბირთვისლიზისი. უჯრედიშლებადაქრება. ესდაუყოვნებელისიკვდილია. ნაკლებიდოზებისასუჯრედსნორმალურიშესახედაობააქვსდაგაყოფისრამოდენიმეციკლისგავლაცშუქმლია, მაგრამდევნოგაყოფებისასთავსიჩენსდარღვევები, უჯრედიკარგავსპროლიფერაციულუნარსდათანდათანკვდება.

უჯრედზერადიაციისბიოლოგიურიეფექტისშესწავლასაშუალებასიმღვეაიხსნასმაიონებელირადიაციისმთელიორგანიზმზეემოქმედებისმექანიზმიდანათელსჰფენსსხივურიდაზიანებებისპათოგენეზის. რადიაციისდამანგრეველიძალისშეცნობამდაშესაძლებლობისამებრმისგანთავდაცვისგზებისშემუშავება მადამიანსმაიონებელირადიაციისყოველდღიურცხოვრებაშიგამოყენებისშესაძლებლობამისცა. დღესცხოვრებაამსხივებისგარეშემძელიწარმოსადგენია. ატომურიენერგოსადგურებიელექტროენერგიისერთ-ერთიუმთავრესიწყაროებია. ალბათ, არარსებობსადამიანი, რომელსაცცხოვრებაშიერთხელმანცარჰქონდესჩატარებულირენტგენოლოგიურიგამოკვლევა. ატომურიენერგიისსაერთაშორისოსააგენტოს (IAEA) მონაცემებითყოველწლიურად 2 000 მილიონირენტგენოლოგიურიგამოკვლევადა 32 მილიონისეთიპროცედურატარდება,

რომლის დროსაც ადამიანი სორგანიზმში სამედიცინო რადიო-იზოტოპები შეჰყავთ.  
ხუთმილიონამდე სივნით დაავადებული კისხვიური თერაპიის წყალობით ცოცხლობს.  
სოფლისმეურნეობაში მაიონებელის ხივები მავნებლებთან ბრძოლისათვის და პროდუქტების სტერილიზაციისას გამოიყენება.  
ხელოვნებაში ცვიმველი შედეგების რესტავრაციისას და თარიღის დადგენისას რენტგენო-სტრუქტურული დარადიო-იზოტოპური ანალიზი ტარდება. მაიონებელის ხივების სამშვიდობო მიზნებით გამოყენების სფერო ყოველწლიურად მატულობს.

ამგვარად, ისმცირე მონაცემებიც კი, რომლებიც დღეისათვის აქვს მცენიერებას, ნათლად მიუთითებს ბუნებრივი რადიაციული ფონის უდიდეს მნიშვნელობაზე დედამიწაზე მიმდინარე ბიოლოგიურ პროცესებში.

## გამოყენებული ლიტერატურა

1. „გლობალური ეკოლოგია“ ელიზბარ ელიზბარაშვილი, ნიკოლოზ სულხანიშვილი. თბილისი 2009
2. „საქართველოს კლიმატური რესურსები“ ელიზბარ ელიზბარაშვილი, თბილისი 2007
3. <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Radiation-and-Health/Nuclear-Radiation-and-Health-Effects/#.UdXiDTuLCPx>
4. <http://ka.wikipedia.org/wiki/%E1%83%A0%E1%83%90%E1%83%93%E1%83%98%E1%83%90%E1%83%AA%E1%83%98%E1%83%90>
5. <http://www.hps.org/>
6. <http://www.radiationandreason.com/>
7. <http://www.riskworld.com/Nreports/1999/jaworowski/NR99aa01.htm>
8. <http://www.radiationandreason.com/>
9. [http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add\\_edexcel/radioactive\\_materials/radioactiveproblemsrev1.shtml](http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_edexcel/radioactive_materials/radioactiveproblemsrev1.shtml)